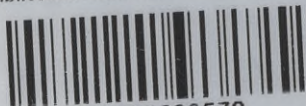


~~5381796~~ X
5381796

24721150

247 2/2 11

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299578

xxx

432

Die Festigkeits-Eigenschaften

von

Eisen und Stahl.

Die
Festigkeits - Eigenschaften
von
Eisen und Stahl

von
Knut Styffe,
Direktor des Königl. Technologischen Instituts zu Stockholm.

Nach C. Sandberg's englischer Ausgabe des Werkes

deutsch von

C. M. Freih. von Weber.

Mit einer Einführung von

M. M. Freih. von Weber,
Ingenieur,
K. S. Finanz-Rath und Staats-Eisenbahn-Direktor etc.

Journal des Savants. T. I. No. 359.

Nebst Atlas,
enthaltend 9 Planotafeln.

Weimar, 1870.

Bernhard Friedrich Voigt.

xxx
432



70807
II

Handwritten signature in cursive script, likely reading "Józef P. ..."

Akc. Nr. 5164 / 51

Einführung.

Die Natur giebt immer klare Auskünfte auf klar an sie gestellte Fragen. Das Experiment ist die Frage des Technikers an die Natur und Göthe, der für Wahrheiten immer den deckenden Ausdruck fand, durfte daher das Experiment die „direkteste willkürliche Vermittelung zwischen Subjekt und Objekt“ nennen.

Aber es ist Sache des Talents und des Genies, die Form der Frage, die Anordnung des Experiments zu finden, welche die Natur geneigt macht, ohne dunkle Orakelsprüche zu antworten.

Der gebildete Techniker ist sich bewusst, dass der ganze Bereich seiner Thätigkeit eigentlich fast nur aus ungelösten Fragen besteht, dass die Zahl derer überaus klein ist, welche die Wissenschaft als erledigt registriren kann, und dass er bei seinen wichtigsten Arbeiten fast stets mit halbbekanntem Faktoren rechnet. Nur die Beschränktheit hält ihr Meinen für Wissen.

Blos unablässiges vielseitiges Prüfen, Beobachten, Experimentiren und gründliches Studium der gerade vorliegenden Fragen, redliches, ungefälschtes, nicht *a priori* gefassten Meinungen huldigendes Darlegen der erhaltenen Resultate, kann die Technik aus einer Entwicklungsperiode herausführen, in der praktisches Gefühl und Tatonnement noch eben so laut das Wort führen dürfen, wie die wissenschaftliche Folgerung.

Das Maass des Geistes, welcher der Verwaltung einer technischen Institution oder Branche beiwohnt, lässt sich daher eben so sicher an ihrem Etat für das Studium der Fragen ermes sen, wie man eine Temperatur am Thermometer abliest.

Wir kennen grossen Eisenbahnverwaltungen sehr nahe, deren Skala in dieser Hinsicht fast immer Zero zeigt.

Vor Allem gilt es, durch diese allgemeinen Arbeiten die Gränzen einzuschränken, welche die durchaus ungenügende Kenntniss von den Eigenschaften der Materialien in Gestalt von Sicherheitskoefficienten noch allzuweit um die korrekten Dimensionen unserer Konstruktionen zieht.

Unglücklicherweise ist das Material, welches in der Technik der Neuzeit die leitende Rolle spielt, das Eisen, mit seiner Modifikation dem Stahle, von Allen vielleicht dasjenige, dessen physische Natur am schwersten erforschbar, dessen Produktion den meisten Zufälligkeiten unterworfen, dessen Gebahren unter verschiedenen Verhältnissen noch so wenig bekannt und so unberechenbar ist.

Sind wir doch eigentlich noch nicht im Stande, die Gränzen mit Präcision zu bezeichnen, wo ein Material den Namen Eisen zu verlieren und den des Stahls zu erhalten hat; chemisch zu definiren, was den Stahl und seine Eigenschaften charakterisirt. Jede neue Erfindung im Bereiche der Stahl- und Eisenproduktion komplicirt die einschlagenden Erscheinungen.

Die experimentativen Ermittlungen über die Eigenschaften von Stahl und Eisen sind an und für sich schon schwierig durch den Aufwand an Zeit und Beobachtungsentelligenz, die sie erfordern, besonders aber durch die bedeutenden mechanischen Kräfte, die dabei ins Feld geführt werden müssen, wenn die Experimente nicht mit Beobachtungsobjekten ange stellt werden sollen, deren schwache Dimensionen den Werth der erzielten Resultate *a priori* zweifelhaft machen.

Es hängt hiermit die Verwendung starker Apparate zusammen, die sehr kostspielig sind, wenn ihre Stabilität eine genügende sein soll.

Aber die Schwierigkeiten erhöhen sich noch ungemein, sobald die Einflüsse der Temperatur auf das Material bei den

Experimenten mit in Rechnung gezogen werden sollen. Denn wenn schon die Manipulation mit stark erhitzten Experimentobjekten mit grossen Unbequemlichkeiten verknüpft ist, so steigern sich diese in noch kaum zu übersehendem Maasse, wenn es gilt, diesen Objekten eine sehr niedere Temperatur zu ertheilen.

Das Experiment kann nicht darauf warten, bis der nordische Winter diese Bedingung erfüllt, sondern es muss, mit complicirten Apparaten, jene Möglichkeiten zur willkürlichen Erzielung sehr niederer Temperaturen herbeiziehen, welche die neusten Entdeckungen in der Physik und Chemie gewähren.

Die Komplikation des Versuches, die Nothwendigkeit ausserordentlicher Schulung der zusammenwirkenden Experimentatoren steigert sich dann in so ausserordentlichem Maasse, dass die Durchführung grösserer Reihen solcher Versuche nur vom Eintreten besonderer Glücksumstände zu erhoffen ist.

In solche verwandelte sich ein Unfall, der dem Monarchen eines der bestregierten Länder der Erde mit Gefahr bedrohte. Unter dem Salonwagen des Königs von Schweden brach während der Fahrt von Gothenburg nach Stockholm bei hartem Froste eine Axe, deren Bruchfläche das Material derselben als durchaus gesund erwies. Das rege Interesse, welches der edle Fürst an der Erscheinung nahm, wurde Veranlassung, das Studium der Frage über das Verhalten des Eisens und Stahls sofort auf die Tagesordnung der Thätigkeit ausgezeichneter schwedischer Gelehrte und Ingenieure zu bringen und die Mittel zu Bestellung ausgedehnter Experimentreihen und Beschaffung zugehöriger Apparate aus Staatsfonds zu gewähren.

Den unter solchen Auspicien von Thalén, Angström, Cronstrand und Lindell und schliesslich von Knut Styffe mit echt schwedischer Sorgsamkeit ausgeführten, höchst verdienstvollen Arbeiten über die absolute Festigkeit von Eisen und Stahl verschiedenen Ursprungs und verschiedenener Produktionsmethoden, deren Formveränderung unter verschiedenen Belastungsverhältnissen, die Einflüsse des Erhitzens und Abkühlens auf das Material und dessen Elasticitätsmoduls bei gewöhnlichen Temperaturen und endlich über die Festigkeitsverhältnisse des

Eisens und Stahls bei verschiedenen Temperaturen schloss ein talentvoller schwedischer Ingenieur, Christen Sandberg, seine höchst interessanten Beobachtungen über das Verhalten des Eisens bei verschiedenen Temperaturen unter dem Einflusse plötzlicher und heftiger Erschütterungen an.

Die Darlegung dieser kaum genug zu schätzenden Erörterungen, die der Regierung, die sie anordnete, fast eben so viel Ehre machen, als den Männern, die sie mit eisernem Fleisse und grösster Gewissenhaftigkeit durchführten, bildet in übersichtlicher, durch gute Diagramme und Zeichnungen der benutzten Apparate erläuteter Zusammenstellung das vorliegende Buch des als ausgezeichneten Gelehrten bekannten Direktors des Technologischen Instituts zu Stockholm, Knut Styffe.

Indem ich dessen Uebertragung durch meinen Sohn, nach Christen Sandberg's englischer Ausgabe des Werkes, veranlasste, hoffte ich, dass der deutschen Technik ein doppelter Dienst geleistet werden sollte.

Einmal, in dem die unschätzbare Zusammenstellung von bedeutsamen, zum Theil sogar neuen Wahrheiten, die das Werk enthält, dem deutschen Ingenieur bequemer zugänglich gemacht so dann aber auch, indem ein neues Beispiel höchst löblicher Förderung des Studiums wichtiger technischer Fragen, deutschen Regierungen und Verwaltungen technischer Institutionen, lebendig zur Nachfeierung mahnend, näher vor Augen gerückt wurde.

Dresden, 25. März 1870.

M. M. von Weber.

Vorwort.

Kein Gegenstand ist für Civil- und Maschinen-Ingenieure von grösserer Wichtigkeit als die Eigenschaften des Stahles und Eisens, welche dieselben zu nützlichen Zwecken verwendbar und geeignet machen. Zugleich giebt es kaum einen derartigen Gegenstand welcher das Publikum im Allgemeinen näher angeht. Das Leben vieler Tausende von Reisenden auf der Eisenbahn ist im hohen Grade, sozusagen von der Gnade des Stahles und Eisens abhängig, und dasselbe gilt für diejenigen die mit Schiffen, welche aus diesen Materialien gefertigt sind, reisen. Ferner haben in letzter Zeit unsere Architekten Eisen sowohl in Wohn- als auch in öffentlichen Gebäuden vielfach verwendet, und von der Festigkeit der Träger und Säulen hängt die Sicherheit der Inwohnenden und Benutzenden ab.

Trotz der zahlreichen experimentativen Ermittlungen in Bezug auf die absolute Festigkeit des Stahles und Eisens incl. des Gusseisens, die fast in allen Ländern angestellt worden sind, bleibt doch nach dieser Richtung hin noch viel zu thun. Solche Probleme, wie z. B. das der Beziehungen zwischen absoluter Festigkeit und chemischer Zusammensetzung, mechanischer Behandlung und Temperatur, sind bis jetzt nur

sehr unvollständig gelöst worden, und dennoch sind sie von der höchsten praktischen Bedeutung. Es ist gewiss, dass die mechanischen Eigenschaften eines Metalls von der Mischung mit gewissen fremden Stoffen in einigen Fällen, wenn diese nur in sehr kleinen Zusätzen vorhanden sind, bedeutend modificirt werden. Aller Stahl und alles Eisen enthält, wenn sie zu Handelsartikeln verarbeitet sind, mehr oder weniger fremde Stoffe, gewöhnlich Phosphor oder Schwefel, oder auch beides. Die Kohle im Stahl und Eisen ist nicht als fremder Stoff anzusehen, da sie zum Wesen des Stahles oder Guss-eisens gehört. Auch darf sie als solcher im Schmiedeisen nicht betrachtet werden, wenn sie sich in demselben nur in sehr geringer Menge vorfindet.

Alle Metall-Arbeiter wissen sehr wohl, in welch' hohem Maasse die Eigenschaften der Schmiedbarkeit, Dehnbarkeit und Härte von der vorhergegangenen mechanischen Behandlung, wie Hämmern, Walzen oder zu Draht-Ziehen abhängig sind, und die Eigenschaften der Elasticität sowohl als auch die der absoluten Festigkeit werden durch dieselben Verfahren modificirt.

Es ist genügend bestätigt worden, dass die absolute Festigkeit eines Metalles bedeutend mit den Temperaturen zwischen den Grenzen, welche in bewohnbaren Klimaten vorkommen, variire. Vor einigen Jahren ereigneten sich viele Fälle von Eisenbrüchen auf Eisenbahnen während der Dauer eines sehr heftigen Frostes, und man schloss, dass sie der verringerten absoluten Festigkeit des Eisens bei niedrigen Temperaturen zuzuschreiben seien.

Obgleich man Belehrungen über diese Probleme in verschiedenen Büchern und wissenschaftlichen Journalen zerstreut finden kann, so ist ihre Lösung doch bisher nicht so systematisch angestrebt worden, als dies durch den Verfasser der

nachstehenden Abhandlung Herrn Styffe geschehen ist, welcher mehrere Jahre ausdauernder Arbeit an hierauf abzielende Untersuchungen gewandt hat. Schwerlich konnte Jemand zur Erfüllung der Aufgabe besser qualificirt genannt werden, da er sein ganzes Leben der experimentativen Wissenschaft gewidmet hat. Herr Styffe ist Direktor des Technologischen Institutes zu Stockholm und ich hatte das Vergnügen mit ihm als Collegen der Jury für „*Mining and Metallurgical Products*“ der internationalen Ausstellung 1862 persönlich bekannt zu werden. Bei der hohen Stelle, welche er wie ich weiß in der Achtung der Männer der Wissenschaft in Schweden einnimmt, einem Lande, welches für den Fortschritt eines jeden Zweiges der Naturkenntnisse in Europa so viel gethan hat, kann das vollständigste Vertrauen in die Genauigkeit seiner Resultate gesetzt werden, obgleich vielleicht seinen Schlüssen nicht durchweg beizupflichten sein dürfte.

Eine detaillirte Beschreibung des Apparates, welchen Herr Styffe zur Bestimmung der absoluten Festigkeit bei gewöhnlichen und anderen Temperaturen benutzt, sowie die Art und Weise, in welcher die Experimente geleitet wurden, ist nachstehend gegeben. Die Resultate sind in Tabellen zusammengestellt, und zur Bequemlichkeit des Lesers die allgemeinen Schlüsse daraus klar und in kurzen Worten gezogen.

Die Nachforschungen wurden von einer Kommission, welche Se. Majestät der König von Schweden ernannt hatte, hauptsächlich von dem Gesichtspunkte aus unternommen, den relativen Werth verschiedener Eisen- und Stahl-Arten für Eisenbahnzwecke zu bestimmen. Der Autor war Mitglied dieser Kommission, und ihm wurde die Aufgabe zu Theil die nöthigen Experimente auszuführen. Unter den zahlreichen geprüften Proben waren, wie behauptet wird, einige aus gewissen Distrikten Englands, welche zweifellos nicht einmal

die durchschnittliche Qualität des dort gefertigten Eisens repräsentiren.

Die Beobachtungen über „den Einfluss des Phosphors und der Schlacke auf Eisen“ verdienen volle Beachtung. Ein neuer Lehrsatz, betreffs des vortheilhaften Einflusses gewisser Wirkungen der Schlacke auf Eisen, welches viel Phosphor enthält, um des letzteren nachtheilige Wirkung aufzuheben, wird aufgestellt. In Betreff des Einflusses gewisser Quantitäten Phosphors auf die Zähigkeit des Eisens, stimmen die Resultate des Autors mit denen Karsten's ziemlich überein. Der Autor versichert, dass die absolute Festigkeit des Eisens durch die Anwesenheit von 0,2 oder 0,3 Procent Phosphor nicht vermindert wird, vorausgesetzt, dass das Metall, nachdem es gewalzt oder durch eine andere Manipulation gestreckt worden ist, nicht stark erhitzt worden sei. Von Wichtigkeit ist aber, dass die Fügigkeit der Ausdehnung (*facility of extension*) oder wie es ausgedrückt ist, die Ausdehnbarkeit (*extensibility*) durch Phosphor verringert wird. Auch wird bestätigt, dass die Anwesenheit, selbst einer bedeutenden Menge von Schlacke oder Asche in phosphorhaltigem Eisen, dadurch vortheilhaft wirkt, dass es die grobkörnige krystallinische Struktur verhindert, welche sonst durch das benannte Element herbeigeführt werden würde.

Es findet sich eine Behauptung des Inhaltes vor, „dass von den verschiedenen Arten von Englischem Eisen, welche geprüft wurden, nur das von Lowmoor sich für Schmiedearbeit eigne“. So geeignet nun auch das Lowmoor-Eisen für Schmiedearbeit sein mag, so ist doch sicher, dass noch andere Arten Englischen Eisens für diesen Zweck ebenso tauglich sind, weshalb die Bemerkung hier am Platze ist, dass von dieser Klasse von Eisenarten nur Lowmoor-Eisen geprüft worden ist.

In Bezug auf den Grund des häufigen Bruches von Eisenobjekten bei harter Kälte, entwickelt der Autor Ansichten, welchen sicherlich von vielen Ingenieuren unseres Vaterlandes widersprochen werden wird, und darum auch vom Uebersetzer ins Englische Herrn Sandberg, energisch entgegengetreten wird, auf Grund der Resultate von Experimenten, welche auf seine Anregung und von ihm selbst in grossem Maassstabe in Stockholm während des Winters angestellt und zum grössten Theile auch geleitet worden sind. Die hier erzielten Resultate scheinen von grosser Wichtigkeit zu sein, und die Frage praktisch gegen den Autor zu entscheiden. Sie sind in ihrem ganzen Umfange in einem Anhange des Uebersetzers gegeben.

Der Autor spricht eine ganz entschiedene Ansicht über den schädlichen Einfluss des Phosphors auf Stahl aus, und wenige Techniker in Europa sind durch eigene lange und genaue Beobachtung berechtigt, sich mit grösserer Autorität über diesen Punkt zu äussern. Der Autor sagt „er kenne keinen verbürgten Fall, dass die Beimischung von Phosphor in Stahl, den man gut nennt, mehr betragen habe, als 0,047“. Doch ist es erforderlich, seine weitere Ansicht hinzuzufügen „dass betreffs des Einflusses des Phosphors auf Stahl zur Zeit unsere Kenntnisse noch unvollständiger sind als betreffs desjenigen auf Eisen“.

Das vorliegende Werk enthält, obgleich von verhältnissmässig geringem Umfange eine grosse Menge von Thatsachen, welche auf sorgfältigen und, ich bezeuge es gern, durchaus zuverlässigen Experimenten fundirt sind. Es ist erfreulich, dass seine Uebersetzung ins Englische einem Schweden zugefallen ist, meinem Freunde Herrn C. P. Sandberg, welcher sich viele Jahre in England aufgehalten hat, in Schweden als Metallurg erzogen worden ist und in Allem was sich auf die

Zubereitung von Stahl und Eisen besonders zum Zwecke der Fabrikation von Schienen und Eisenbahnmaterial bezieht, grosse Erfahrung besitzt.

Das Buch ist mit zahlreichen Tafeln und Tabellen versehen, unter welch' letzteren einige besonders sorgfältiges Studium verdienen. Ich meine diejenigen, auf welchen die Beziehungen zwischen Zusammensetzung und absoluter Festigkeit graphisch dargestellt sind, und sicherlich eine der überraschendsten und interessantesten ist die vom Uebersetzer zusammengestellte, in welcher die relativen Werthe von Stahl und Eisen neben einander dargelegt sind.

London im März 1869.

John Percy.

Inhalt.

	Seite
Einführung	v
Vorwort	ix
Einleitung	xv

I. Kapitel.

Versuche über Streckung des Eisens und Stahls bei gewöhnlicher Temperatur.

1. Beschreibung des Prüfungs-Apparates	1
2. Bestimmung der Konstanten des Prüfungs-Apparats und der Genauigkeit, mit welcher die Ausdehnung der gestreckten Stange gemessen wird	4
3. Art und Weise, die Probestangen in den Apparat einzuspannen	7
4. Eintheilung der Probestangen in Fusse und Messung ihres Querschnittes	10
5. Messung der Ausdehnung der Probestangen durch Streckung	11
6. Experimente über Dehnung, ihr Zweck und die verschiedenen Arten, auf welche sie aufgeführt wurden	15
7. Berechnung des Fehlers bei der Längenmessung, welcher aus der Ungeradheit der Stange erwächst	19
8. Prüfung verschiedener Stahl- und Eisenarten	22
9. Erklärung der Tabellen I bis V und der Tafeln III bis V	25
10. Elasticitätsgrenze nach der gewöhnlichen Definition	28
11. Die Elasticitätsgrenze nach Wertheim's u. A. Definitionen	—
12. Neue Definition der Elasticitätsgrenze	30
13. Höherlegung der Elasticitätsgrenze durch Streckung und andere mechanische Mittel	37
14. Wirkung der wiederholten Streckung mit demselben Gewichte, oder mit geringerem als das vorher angewandte	38

	Seite
15. Untersuchung der Kurven der permanenten Ausdehnung . . .	39
16. Bestimmung der absoluten Festigkeit und Ausdehnbarkeit . . .	40
17. Das brecheude Gewicht pro Einheit der Bruchfläche . . .	42
18. Verschiedene Einwirkungen des Ausglühens und der mechanischen Behandlung auf die Elasticität, Ausdehnbarkeit und absolute Festigkeit von Stahl und Eisen	43
19. Mittlere Ausdehnung zwischen der Elasticitätsgrenze und dem Bruche für eine Gewichtszunahme von 6862 Pfd. pro Quadrat Zoll	45
20. Elasticitätsgrenze, absolute Festigkeit und Ausdehnbarkeit von dem Kohlenzusatze abhängig	47
21. Einfluss des Phosphors und der Schlacke auf das Eisen	49
22. Einfluss des Phosphors auf Stahl	53
23. Einfluss der Härtung auf die Elasticitätsgrenze, Ausdehnbarkeit und absolute Festigkeit von Stahl und Eisen	—
24. Der Elasticitätsmodul; verschiedene Bestimmungen seines Werthes	55
25. Formel für die Berechnung des Elasticitätsmoduls	57
26. Beschreibung des zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls benutzten Apparates	58
27. Korrektur der gemessenen elastischen Ausdehnungen	60
28. Messung des Querschnittes	63
29. Wahrscheinliche Fehler in den für den Elasticitätsmodul erhaltenen Werthen	64
30. Beispiel einer Bestimmung des Elasticitätsmoduls	65
31. Gründe der Beeinträchtigung des Elasticitätsmoduls	71
32. Resumé der Resultate	75

II. Kapitel.

Verwendung der Resultate zur Bestimmung der relativen Werthe von Stahl und Eisen und deren Varietäten zu verschiedenen Zwecken.

1. Vorzug des Stahls vor Eisen zu solchen Zwecken, welche sowohl Stärke als Leichtigkeit erfordern	79
2. Vorzug des Stahles vor Eisen zu solchen Zwecken, welche Stärke und Härte bedürfen, um Abnützung zu widerstehen	80
3. Wichtigkeit der Dehnbarkeit des zur Konstruktion von Maschinen und Gebäuden verwandten Materials	83
4. Relative Fähigkeit des Stahles und Eisens, plötzliche Stösse auszuhalten	86
5. Das beste Material für Gegenstände, welche zeitweilig starke Stösse auszuhalten haben	91

	Seite
6. Wahl des Materials für Gegenstände, welche für gewöhnlich leichten Stössen oder Vibrationen ausgesetzt sind	92
7. Der passendste Härtegrad des Stahles für Radreifen, Axen u. s. w.	93
8. Verwendung von Eisen, welches durch mechanische Behandlung steif geworden ist	94
9. Verwendung von phosphorhaltigem Eisen	95
10. Verwendung von schlacke- oder phosphorhaltigem Eisen	96
11. Vortheile der Reinheit des Eisens beim Schmieden	97

III. Kapitel.

Experimente über Zugfestigkeit bei hohen und niedrigen Temperaturen.

1. Einleitung	98
2. Experimente über Zugfestigkeit bei grösster Kälte: Beschreibung des Apparates	99
3. Beschaffenheit der bei den Experimenten über Zugfestigkeit bei niedrigen Temperaturen verwendeten Probestangen	104
4. Vergleichende Experimente über Zugfestigkeit bei 16° C. (gewöhnliche Temperatur)	105
5. Experimente über Zugfestigkeit bei hohen Temperaturen	106
6. Resultate der Experimente über Zugfestigkeit bei verschiedenen Temperaturen	109
7. Experimente über Elasticitätsmodul und Elasticitätsgrenze des Eisens und Stahles bei verschiedenen Temperaturen: Beschreibung des dabei benutzten Apparates	111
8. Experimente über die Lage der Elasticitätsgrenze bei verschiedenen Temperaturen	115
9. Experimente über die Veränderung des Elasticitätsmoduls bei verschiedenen Temperaturen	120
10. Resumé der Resultate der Experimente über Zugfestigkeit bei verschiedenen Temperaturen	121
11. Gründe des häufigen Bruches gewisser eiserner Gegenstände bei grosser Kälte	122

IV. Kapitel.

Flexions-Experimente bei verschiedenen Temperaturen.

1. Einleitung	126
2. Beschreibung des bei den Flexions-Experimenten benutzten Apparates	—
3. Experimente über die verschiedenen Grade der Steifigkeit des Eisens bei verschiedenen Temperaturen	129
4. Bestimmung des Elasticitätsmoduls bei der Biegung	—

5. Mittel, durch welche der Werth des Elasticitätsmoduls verändert werden kann	131
6. Experimente über den Einfluss der Temperatur auf den Elasticitätsmodul bei der Flexion	132
7. Resumé der Resultate der Flexions-Experimente	134

Anhang von C. P. Sandberg.

1. Einleitung	—
2. Experimente mit Eisen, welches bei verschiedenen Temperaturen plötzlichen Stößen ausgesetzt wird, bei gleichmässiger oder doch annähernd konstanter Elasticität der Unterlagen	139
3. Resultate der Experimente	141
4. Schlüsse hieraus	143
5. Wahrscheinliche Ursachen dieser Resultate	144
6. Stahl <i>versus</i> Eisen	145
Tabellen, auf welche im Vorhergehenden Bezug genommen ist	149
Tabelle zum Anhang	174

Druckfehler-Verzeichniss.

- Pag. 4 Zeile 8 v. u. statt „des Konstanten“ lies „der K.“
- „ 5 „ 6 v. o. statt „G und D“ lies „G und B“
- „ 5 „ 12 v. o. statt „A“ lies „B“
- „ 6 „ 3 v. o. lies $\frac{1}{\cos \alpha}$
- „ 6 „ 15 v. o. statt $(T_r - T)$ lies $(T_r - \bar{T})$
- „ 27 „ 1 v. u. statt $f'''(x) \cdot (1 + \overline{f(x)})^2$ lies $f'''(x) \cdot (1 + \overline{f(x)})^2$
- „ 28 „ 9 v. u. statt $\overline{f\left(\frac{x}{m}\right)^2} = 0$ lies $\overline{f''\left(\frac{x}{m}\right)^2}$
- „ 88 „ 6 v. u. statt Kizkaldy lies Kirkaldy.

Einleitung.

Seitens der Kommission, welche von Sr. Majestät dem König von Schweden zu dem Zwecke, die Eisenbahnmateriale heimischer Fabrikation und die Geeignetheit des schwedischen Eisens zu dessen Herstellung zu prüfen, ernannt war (zu welcher Kommission auch der Autor gehörte), wurde während der letzten Jahre eine ziemlich lange Reihe von Experimenten angestellt, um die Elasticität, Dehnbarkeit und absolute Festigkeit verschiedener Stahl- und Eisensorten zu ermitteln.

Da die Eigenschaften des Eisens und Stahles in ziemlich hohem Grade von der Behandlung abhängig sind, welche das Metall während des Processes des Schweissens und Walzens erfahren, so ist es natürlich, dass die Schwierigkeit der Ermittlung: ob seine Geeignetheit für gewisse Zwecke von den Eigenschaften des Rohmaterials herrühre, mit der Anzahl der Manipulationen wächst, denen es bis zur Vollendung des betreffenden Gebrauchsobjectes unterworfen worden ist.

Da nun diese Umstände bei Aeusserung eines Urtheils über ein neues von unerfahrenen Arbeitern hergestelltes Produkt nicht ausser Augen gelassen werden dürfen, so war die Kommission der Ansicht (die sie auch in dem Sr. Majestät am 13. Februar 1863 überreichten Berichte darlegte*), dass

*) Siehe „Jernkontorets Annaler“ 1864 pag. 17.

eine Untersuchung der Eigenschaften, welche verschiedene Stahl- und Eisenarten, wie sie in Form von gewalzten und geschmiedeten Barren vorkommen, zeigen, von grösster Wichtigkeit bei Bestimmung dieser Materialien zu Herstellung von Eisenbahnobjekten sein müsste, ja in gewissen Fällen sogar zweckmässiger wäre, als die Untersuchung fertiger aus diesen Materialien hergestellter Artikel.

Die Nachforschungen wurden vom Professor Angström begonnen, dann, da er schon frühzeitig zur Aufgabe des Unternehmens gezwungen wurde, einige Zeit von Herrn R. Thalén von der Universität Upsala und vom Ingenieur R. Cronstrand fortgesetzt, und endlich seit Anfang 1863 entweder unter des Autors unmittelbarer Aufsicht oder von ihm persönlich, besonders unter Beihülfe der Ingenieure R. Cronstrand und P. Lindell fortgeführt. Unter diesen Umständen ersuchte die Kommission den Autor einen systematischen Bericht über die ganze Reihe der einschlagenden Untersuchungen zu erstatten.

I. Kapitel

Versuche über Streckung des Eisens und Stahls bei gewöhnlicher Temperatur.

Bei Bestimmung der elastischen Eigenheiten des Stahls und Eisens hat es sich herausgestellt, dass im Allgemeinen das instruktivste Objekt der Untersuchung das Verhalten des Materials unter der Wirkung des Zuges ist, denn die zu prüfenden Probestangen werden alsdann an allen Punkten jeden beliebigen Querschnittes nicht allein in derselben Weise, sondern auch in demselben Grade angespannt. Werden sie hingegen bei anderen Experimenten z. B. gebogen oder gedreht, so gestalten sich die Phänomene complicirter und schwerer verständlich.

I. Beschreibung des Prüfungs-Apparates.

Der Apparat, welcher bei den Untersuchungen über absolute Festigkeit angewendet wurde, war die früher vom Assessor P. Lagerhjelm benutzte, etwas verstärkte und veränderte hydraulische Presse. Obgleich der Apparat in seiner ursprünglichen Form in den *Jernkontorets Annaler* für 1826 beschrieben ist, erscheint es doch für die grössere Klarheit der vorliegenden Denkschrift, und für das Verständniss

Styffe, Eisen und Stahl. 1

derjenigen Leser, welche sich den Einblick in jene wissenschaftlichen Publikationen nicht verschaffen können, förderlich, eine Beschreibung des Apparats in seiner jetzigen Form, wie ihn die beiliegenden Zeichnungen darstellen, zu geben. Auf **Taf. I** ist der ganze Streck- und Messapparat zu ersehen. **Fig. 1** der Aufriss, **Fig. 2** der Grundriss, **Fig. 3** ein Längenschnitt des zum Ausdehnen dienenden Theils des Apparats, **Fig. 4** ein Querschnitt nach XY in **Fig. 2**. In diesen Figuren ist A die hydraulische Presse, die auf zwei gusseisernen Trägern BB ruht, welche im Querschnitt ungefähr die Form eines umgekehrten U haben. Diese Träger sind durch zwei gusseiserne, konkave Platten CC verbunden und liegen auf zwei eichenen Tafeln auf. a ist der Cylinder der hydraulischen Presse, b der Kolben, c das Sicherheitsventil, d ein Hahn, um das Wasser abzulassen, wenn der Druck auf die Probestange nachlassen soll; e und f zwei Pumpen, von denen die grössere e zu Anfang, die kleinere f zu Ende des Pressens in Thätigkeit gesetzt wird, so dass die Ausdehnung so allmählig als möglich erfolgt; g ist ein Kreuzkopf, welcher an den Kolben der Presse und mittelst zweier Schraubenbolzen an einem zweiten solchen, aber behufs des Durchlassens der zu prüfenden Stange in der Mitte durchbohrten Querstücke, befestigt ist. Das andere Ende der Probestange ist an einem ähnlichen Querriegel i festgemacht, welcher seinerseits durch zwei Schraubenbolzen $k k$ mit dem Querriegel l verbunden ist; letzterer steht durch die Schraube m in Verbindung mit der Oese n , deren innere Fläche in der prismatischen Aufbiegung des kurzen vertikalen Armes des Winkelhebels D ruht. Dieser Hebel, welcher dazu dient, den Betrag der Verlängerung während der Ausdehnung zu messen, lässt sich um die Schneide p bewegen, welche an der Presse sehr fest angebracht ist, — und trägt am Ende seines horizontalen Armes eine Oese, welche auf einer scharfen Schneide auf dem Arme des Hebels ruht. Er trägt ferner unter sich einen Haken, in welchen die Wageschale E hineingehängt wird. Wenn die Probestange zwischen die Querriegel h und i eingespannt worden ist, wird die Pumpe in Thätigkeit gesetzt und die Stange so lange gestreckt, bis sie im Stande ist, den horizon-

talen Arm des Hebels D und mit ihm die mit Gewichten beschwerte Schale E in Bewegung zu setzen. Ist dies geschehen und man glaubt der Zug habe lange genug eingewirkt, so wird der Hahn d geöffnet, die Elasticität der Stange drückt das Wasser aus der Presse und der Hebelarm D fällt auf seine Stütze F .

Um sich zu versichern, dass der Hebelarm D immer auf dieselbe Höhe gepumpt worden ist, wurde manchmal ein kleines Gewicht über ihm aufgehangen, so dass, wenn er es berührte, ein grosser Zeiger in Bewegung gesetzt wurde, und man von fern ersehen konnte, ob das Pumpen aufhören sollte. Dann und wann, wenn besondere Genauigkeit vonnöthen war, wurde eine kleine Skala an der Stütze F befestigt und ein Mann dazu gestellt, um die Elevation des Hebels zu beobachten. Die Schneide p , um welche sich der Arm des Winkelhebels D dreht, war etwas zu hoch angebracht worden, so dass sich die Schneide der Oese n bei den meisten Experimenten, welche unter des Autors Aufsicht ausgeführt wurden, ungefähr 5 Linien über die horizontale Axe des Kolbens erhob. Weit entfernt jedoch, dass dieser Umstand nachtheilig gewesen wäre, trug er im Gegentheile insofern zum Gelingen der Experimente bei, als dadurch die Querriegel i und l , nebst ihren Schraubenbolzen, während der Dauer der Spannung gelüftet wurden, also keine Reibung zwischen ihnen und ihren Gleisen stattfinden konnte¹⁾ Da die mittlere Entfernung von der Schneide der Oese bis zum Mittelpunkte des Endes des Pressenkolbens 9 Fuss betrug, konnte die geringere Verdrückung der Probestange während der Anspannung von der Axe des Kolbens (also von der Horizontalen) weder nachtheiligen Einfluss auf die Presse üben, noch, wie wir weiter unten sehen werden,

1) Ursprünglich waren diese Querriegel an den Seiten ausgehöhlt und so zwischen den inneren Kanten der Gleitbahnen BB eingelassen. Doch als sie von der Presse gehoben wurden, entstand, wie schon Lagerhjelm beobachtet hatte, eine beträchtliche Reibung, wodurch die Messung der spannenden Kraft weniger zuverlässig wurde. Der Verfasser entfernte daher den unteren Rand, so dass die Querriegel beim Arbeiten der Presse sich frei bewegen konnten. D. Verf.

wesentlich auf die Messung der Zugkraft, welche durch den Winkelhebel erfolgte, einwirken.

Es könnte scheinen, als ob an dem Hebel anstatt der Vertiefungen, welche den Drehpunkt p und die Schneide der Oese n aufnehmen, besser Schneiden angebracht worden wären, doch würde in diesem Falle die Anwendung des Apparates weniger bequem geworden sein; obendrein stellte sich auf dem Wege des Experiments heraus, dass die Schneiden zu verschiedenen Zeiten ihre Lage nicht merklich änderten, und die so erhaltenen Messungen der Ausdehnung verschiedener Probestangen die nöthige Genauigkeit nicht vollständig erreichten.

Diese Messungen sind durch Rechnung leicht bestimmbar: Möge a und b auf **Taf. I, Fig. 5** die beiden Armlängen des Winkelhebels BAC bezeichnen, p das Gewicht, welches, an den Arm a gehängt, denselben Effekt ausüben würde, wie der Hebel durch seine Schwere, q das Gewicht der Oese und der Wagschale bei C , r die Summe der Gewichte in derselben; α der Winkel, welchen die Probestange während ihrer Streckung zufolge der Stellung der Oese bei B über der Axe des Pressenkolbens mit dem Horizont bildet; T^1 die Ausdehnung der Probestange, so ist

$$(p + q + r) a = T^1 b \cos \alpha$$

Tang. α ist aber ungefähr $1/180$, daher $\cos \alpha = 0,999985$ oder nahezu $= 1$.

$$\text{Folglich } T^1 = (p + q + r) \frac{a}{b} . . . \text{ (I.)}$$

2. Bestimmung des Konstanten des Prüfungs-Apparats und der Genauigkeit, mit welcher die Ausdehnung der gestreckten Stange gemessen wird.

Um die Werthe der Grösse p und des Verhältnisses $\frac{a}{b}$ zu bestimmen und um die Genauigkeit, mit welcher die Ausdehnung der Probestangen vom Apparate gemessen wurde, festzustellen, konstruirte der Verfasser einen starken Winkelhebel DEF , mit zwei gleichen Armen, die rechtwinklig auf

einander standen und mit drei scharfen stählernen Schneiden versehen waren. Dieser Hebel wurde zwischen die beiden gusseisernen Träger BB (Fig. 1 bis 4), ungefähr in der Mitte zwischen dem Arme AB des Hebels und dem Ende G des Kolbens und in einer solchen Höhe angebracht, dass die Schneide D in die Verbindungslinie zwischen G und D zu hängen kam, wie in Fig. 5 unserer Tafel zu ersehen. Die Schneide E ruhte in einer hohlen Pfanne von angelassenem Stahle, welche durch eine eiserne Oese getragen wurde. Auch bei D war eine Oese mit einer angelassenen Stahlpfanne angebracht und durch eine eiserne Stange mit dem Querriegel i , also auch mit dem Hebelarme A , in Verbindung gesetzt. An der Ecke F hing eine ähnliche Oese, um eine Wagschale aufnehmen zu können.

T bezeichnet die Ausdehnung in der Richtung BD , welche durch die Wirkung des Winkelhebels BAC hervorgebracht wird, c und d die resp Längen der Arme DE und EF , g die Summe aller Kräfte, welche bei F wirken, d. h. das Moment des Hebels DEF , dividirt durch d , nebst dem Gewichte der Oese, der Wagschale und der darin liegenden Gewichte.

Wird der Hebel BAC so balancirt, dass AC horizontal liegt, so ist:

$$Tb \cos \alpha = pa \dots (II)$$

ferner

$$Tc \cos \alpha = gd$$

folglich

$$T = g \frac{d}{c \cos \alpha}$$

Da nun c und d ungefähr nur je 0,75 Fuss waren, daher selbst ein geringer Fehler bei ihrer Messung von bedeutendem Einflusse sein musste, wurde der Winkelhebel DEF herumgedreht, so das EF vertikal, DE horizontal gestellt waren, worauf der grosse Winkelhebel wieder wie vorher balancirt wurde. Benennen wir das ganze Gewicht, welches alsdann an D angehängt werden musste, um den kleinen Hebel mit dem grösseren in Gleichgewicht zu bringen, mit g' , so erhalten wir

$$T = g' \frac{c}{d \cos \alpha}$$

mit voriger Gleichung multiplicirt

$$T = \sqrt{g' g} \frac{c}{d \cos \alpha}$$

Wird nun die Oese nebst Wagschale und Gewichte bei C am Arme AC angehängt, deren resp. Gewichte wir vorher mit q und r , die Ausdehnung nach DB mit T_r und das ganze Gewicht bei F mit G bezeichnet, so erhalten wir die Gleichung

$$T_r c \cos \alpha = Gd,$$

Wird der kleinere Hebel wie vorher wieder umgekehrt und dann das bei D nöthige Gewicht mit G^1 benannt, so ist

$$T_r d \cos \alpha = G^1 c.$$

Es ist aber

$$(p + q + r) a = T_r b \cos \alpha$$

und Gleichung II ergibt

$$pa = T b \cos \alpha$$

so ist folglich

$$(q + r) a = (T_r - T) b \cos \alpha$$

also auch:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sqrt{G G^1} - \sqrt{g g^1}}{q + r}$$

Setzen wir diesen Werth von $\frac{a}{b}$ in der Gleichung II ein, so erhalten wir den Werth von p .

Durch mehrfache Experimente, welche in der Weise modificirt waren, dass der grössere Hebel bei C durch eine Wage tarirt wurde, erhielt man die folgenden als die wahrscheinlichsten Werthe:²⁾

$$p = 97,51$$

$$\frac{a}{b} = 20,084$$

2) Herr Thalén bestimmte p durch Wägung des Theiles C in einer Wagschale und erhielt durch direkte Messung das Verhältniss $\frac{a}{b}$. Er fand so $p = 97,55$ und $\frac{a}{b} = 20,018$, welche Werthe er bei Berechnung seiner Resultate der Zugkraft benutzte. Obgleich

Die Wagschale bei D wog mit ihren Oesen 55,97 und so wird Formel (I)

$$T_r = 20,084. (153,48 + r)$$

Was nun die Genauigkeit anlangt, mit welcher die Messung der Ausdehnung der Probestangen durch den Winkelhebel BAC ausgeführt wurde, so stellte sich bei Benutzung des oben erwähnten kleineren Hebels DEF (Taf. I, Fig. 5) heraus, dass, als die Wagschale unter T mit 3000 Pfund belastet war, die Arme AC des grösseren Hebels jedesmal, wenn das Gewicht in der Wagschale um $\frac{1}{2}$ Pfund vermehrt wurde, seine Lage merklich veränderte. Selbst wenn die Empfindlichkeit des Apparats durch die Reibung des Hebels DEF um ein Geringes vermindert wurde, waren die Fehler, welche bei Messung der Zugkraft sich einschlichen, nur sehr unbedeutend im Vergleich zu anderen Quellen des Irrthums.

3. Art und Weise, die Probestangen in den Apparat einzuspannen.

Einer der wichtigsten Punkte bei unsern Experimenten war die Einspannung der Probestange in die Presse. Zu diesem Zwecke spitzten die Herren Thalén und Angström, Lagerhjelm folgend, die Enden der Stangen zu, falteten sie zusammen und hielten sie vermittelst eiserner konischer Keile, welche die Enden einklemmten, in den Löchern der Querstücke fest. Bei dieser Methode stellten sich aber mehrfache Nachtheile heraus. Zunächst benahm die Erhitzung der Stangen im Schmiedefeuer, zum Zwecke der Umfaltung derselben, ihnen einen Theil ihrer Festigkeit, was hauptsächlich bei dem härtesten gepuddelten Stahle der Fall war, wovon die meisten Proben an den Enden oder an den Spitzen abbrachen. Um diesem Uebelstande abzuhelpen, benutzte Herr Thalén starke gusseiserne Schellen, zwischen welchen er die Stangen, die dicht am Befestigungspunkte auf die eben angegebene Weise

diese einfache Methode nicht so genaue Resultate liefern konnte, als die von uns erlangten, war doch die Abweichung so gering, dass es nicht der Mühe werth schien, Thalén's Resultate zu korrigiren, und so sind sie denn in der Form, wie sie uns von ihm mitgetheilt wurden, in den Tabellen I und II gegeben.

D. Verf.

zerbrochen worden waren, einklemmte und festschraubte, um sie von neuem zu zerbrechen. Diese Schellen bestanden aus je zwei gusseisernen, parallelseitigen Platten, in deren einander zugewendeten Flächen harte gussstählerne Prismen mit Feilenzähnen angebracht waren. Die Enden der Stangen wurden zwischen die Prismen gelegt und von den Zähnen derselben festgepackt, wenn sie durch 4 starke Schraubenbolzen zusammengepresst wurden. Es lässt sich nicht läugnen, dass die Anwendung dieser Schellen ziemlich befriedigende Resultate lieferte, doch war sie auf der andern Seite von derartigen Nachtheilen begleitet, dass Herr Thalén meistens seine Stangen in der zuerst angegebenen Weise befestigte, und nur dann seine Zuflucht zu den Schellen nahm, wenn eine Stange nahe am Ende abgebrochen war, und daher die Befürchtung nahe lag, dass die zerbrechende Kraft zu niedrig geschätzt worden sei. Gewöhnlich brach auch die Stange an dem andern Ende ab, und so war man gezwungen, an beiden Seiten Schellen anzuwenden, um dieselbe an einem Punkte zu zerreißen, wo sie von der Hitze nicht geschwächt worden war, und so ihre wirkliche Festigkeit zu ermitteln. Bei Anwendung der Schellen wird das zerbrechende Gewicht nach Thalén für die von ihm geprüften Stangen von Surahammar in Schweden nicht mehr als um 4 bis 5 Proc., um 10 Proc. für den gepuddelten Stahl, gez. N. P. 2, um 14 Proc. für B. 1. und nahezu um 37 Proc. für N. P. 1. erhöht.

Bei der Prüfung von Bessemer Stahl und Gussstahl, der 1 Proc. und mehr Kohle enthält, hat der Autor gefunden; dass Stangen nahe am Ende, wo sie erhitzt worden waren, bei einem um 30 Proc. geringeren Gewichte brachen, als dasjenige war, welches sie trugen, wenn sie, unter Anwendung von Schellen an irgend einem andern Punkte zerbrochen wurden, der von der Hitze bei der unten beschriebenen Behandlung nicht berührt worden war.

Ferner hat die Anwendung der Keile noch den Nachtheil, dass die Stangen nach jeder Streckung nicht wieder ganz freigemacht werden können, ja es kann sogar geschehen, dass die Stange durch das Festkeilen verbogen wird. Werden Schellen angewandt, so kann allerdings die Stange in den

Querriegeln ganz gelöst werden, doch können die schweren Schellen unmöglich so gleichförmig unterstützt werden, dass die Stange nicht eine kleine Biegung erhalte, während andererseits die Schellen nicht gelöst werden können (eine Operation, welche, nach jeder Spannung vorgenommen, die Ursache grosser Nachtheile sein würde) ohne die Gefahr einer permanenten, wenn auch geringen Biegung herbeizuführen.

Nachdem der Verfasser die Nachtheile der angegebenen Befestigungs-Methoden kennen gelernt hatte, liess er die Stangen an den Enden anstauchen, oder mit Kuppen versehen, und legte noch Unterlagsscheiben mit grösserer Oeffnung als die der Querriegel darunter. Am Ende der Stange wurde ein kleiner Kopf geschmiedet, so dass die Unterlagsscheiben nicht von der Stange abgestreift werden konnten, während an das Ende ein Gewinde mit Mutter geschnitten wurde.

Wenn die Stangen beim Stauchen zu sehr erhitzt worden waren, so fand sich, dass der Bruch seltener an dem Theile vorkam, welcher diese Erhitzung erlitten hatte, ausser wenn sie aus kaltbrüchigem Eisen oder hartem Stahl bestanden, denn alsdann hatte die Hitze, soweit sie sich erstreckte, den Umfang der Stange vergrössert.³⁾ Durch diese Einrichtung konnte die Stange augenblicklich frei gemacht werden, und war so keiner anderen Kraft-Einwirkung ausgesetzt, welche sie zu biegen strebte, als ihrer eigenen Schwere, deren Einfluss allerdings bei Messung der absoluten Länge der freien Stange ungünstig influirte, aber doch wenigstens konstant war.

Der Verfasser hat auch gelegentlich die Stange an einem Ende aufgebogen und mit einer Unterlagsscheibe an dem an-

3) Bei der Prüfung von Stahl, der 1 oder 2 Proc. Kohle enthielt, oder von sehr kaltbrüchigem Eisen, fand der Bruch gewöhnlich so nahe an den Enden statt, dass Grund zu der Befürchtung vorlag, dass er durch die Erhitzung herbeigeführt worden sei. Jedenfalls liess der Verfasser einige kaltbrüchige Eisenstangen, so weit sich die Erhitzung beim Stauchen erstreckt hatte, kalt hämmern, und erzielte so den Erfolg, die Enden so zu stärken, dass dort der Bruch nicht mehr erfolgte. Bei der Zerreiessung von harten Stahlstangen jedoch war der Verfasser gezwungen, Schellen anzuwenden.

dern angestaucht, sodass das eine sogleich frei gemacht werden konnte, die Stange also keinem Zuge mehr ausgesetzt war.

Die bequemste Art, die Stange frei zu machen, ist die, die Mutter der Schraube *m* (Taf. I, Fig. 2) mit einem entsprechenden Schlüssel aufzudrehen. Wenn nöthig können auch die Muttern der Schraubenbolzen *kk* gelöst werden.

In der letzten Zeit hat der Verfasser an beiden Enden der Stangen stets Schraubenmuttern angebracht, und um so viel als möglich einem schrägen Zuge zuvorzukommen, wurde die Stange auf ihrer inneren Seite gedreht, mit welcher sie auf den Querriegeln auflag.

4. Eintheilung der Probestangen in Fusse und Messung ihres Querschnittes.

Jede Probestange war auf ungefähr eine Länge von 6 Fuss durch feine Theillinien in annähernd gleichen Distancen von den beiden Enden einwärts so gezeichnet, dass in der Mitte eine Länge von 5 Fuss blieb, die in ganze Fusse getheilt war.⁴⁾ Auf jeder dieser 6 Theillinien wurden die Dimensionen der Stange in zwei rechtwinklig auf einander stehenden Richtungen gemessen, also bei den runden Stangen die Durchmesser, bei den vierkantigen die Seiten. Diese Maasse wurden mittelst einer kleinen Mikrometer-Schraube abgenommen (Palmer's „Blechleere“), mit Schraubengängen von ungefähr 0,03937 Zoll Höhe.⁵⁾ Der Kopf der Schraube war so getheilt, dass Messungen bis auf 0,000937 Zoll abgelesen werden konnten. Trotz dieser ausserordentlichen Präcision des Instruments, mit dem die Querschnitte der Stangen gemessen wurden, ist es

4) Die Probestangen Taf. IV, No. 24 und 25, die von so kaltbrüchigem Eisen waren, dass sie beim Transport zerbrachen, hatten nur ein Mittelstück von 1 Fuss Länge.

5) Bei den ersten 21 Stangen von Surahamar Eisen, die Herr Angström prüfte, und bei denen er Bruchgewicht und Ausdehnung bestimmte, wurde der Querschnitt nur an 3 Stellen gemessen. Die wahre Grösse der Schraubensteigung wurde durch Vergleichung derselben mit einer genau geprüften Schraube im Besitz der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm bestimmt.

doch möglich, dass sich Irrthümer bis zum Betrage von 1 Proc. eingeschlichen haben, welche aus der Unregelmässigkeit der geschmiedeten Stangen resultirten. Obendrein kann vielleicht hie und da das gefundene mittlere Maass des Querschnittes um mehr als 1 Proc. grösser gewesen sein, als das der wirklich dort gebrochenen Stange, da dieselbe mit einer dünnen Schicht von Eisenoxydul überzogen war.

Die Uebereinstimmung bei den verschiedenen gefundenen Maassen war jedoch meistens so genau, dass wahrscheinlich ein so bedeutender Fehler wie 1 Proc. ausserordentlich selten gewesen ist.

5. Messung der Ausdehnung der Probestangen durch Streckung.

Um die Ausdehnung der Stangen bei Streckung zu messen, wurden an den äusseren Theilstrichen nahe den Enden der Stangen zwei kleine, sehr fein getheilte Skalen angebracht, welche also 5 Fuss von einander entfernt waren. Diejenige von beiden Skalen, welche sich zunächst der Presse befand, hiess Index-Skala und hatte nur wenig Theilstriche, die andere Maass-Skala. Um nun diese Skalen an den Stangen zu befestigen, wurden sie an Messingringen angeschraubt, welche die Stangen an drei Seiten umgaben und deren untere Flächen so aufgebogen waren, dass sie einer Klemmschraube Durchgang gestatteten. Indem man die Spitze dieser Schraube auf die Markirlinie drücken liess, hielt man die Skala sicher an ihrer angewiesenen Stelle fest. Die Index-Skala ist auf **Taf. I, Fig. 6** im Grundriss und im Querschnitte zu ersehen. Die Skala war durch eine von Froment konstruirte und der Universität Upsala zugehörige Theilmaschine in 280 gleiche Theile getheilt, deren jeder nach Herrn Thälén's Angabe 0,2048 Millimeter oder 0,06898 Schwedische Decimallinien (oder 0,00786 engl. Zoll) betrug. Genau genommen waren die Theilungen in der Mitte der Skala um 0,0004 Millimeter kürzer als die an beiden Enden, doch war der Irrthum ein zu geringer, als dass er eine Korrektur nöthig gemacht hätte.

Die Messung der Ausdehnung der Stange geschah durch eine grosse Skala von Kiefernholz, (**Taf. I, G, Fig. 1** und **2**) an deren Enden Mikroskope angebracht waren. Um diesen Maassstab vor dem Einflusse der Feuchtigkeit zu schützen, war seine Oberfläche mit Oel getränkt. An beiden Enden des Maassstabes unter den Mikroskopen waren Gleitschienen angebracht, um seitliche Bewegung zu verhindern, wenn er auf den Skalen ruhte. Diejenige Gleitschiene, welche sich zunächst der hydraulischen Presse befand, war mit einer horizontalen Schraube versehen, welche eine kleine Platte *a* (**Taf. I, Fig. 6**) berührte, die durch einen Haken mit der Index-Skala in Verbindung stand, so dass die Maassstange so justirt werden konnte, dass das Faden-Kreuz des Mikroskops, welches zur Index-Skala gehörte, genau über deren Nullpunkt zu stehen kam.

Um die Mikroskope auch in vertikaler Richtung justiren zu können, befand sich an jedem eine Stellschraube, welche auf den Skalen aufstand, wodurch es leicht war, deren Distanz von den Objektiv-Gläsern des Mikroskopes zu reguliren. Ferner trug die Messstange auch noch an dem, der hydraulischen Presse zugekehrten Ende, eine Messing-Axe *t* (**Taf. I, Fig. 2**), welche um die konischen Spitzen der Schrauben *s. s.* beweglich war, die ihrerseits in die ausgehöhlten Enden der Axe eingriffen und an einer messingernen Gabel *r* befestigt waren, die sich um eine horizontale Axe vermittle der beiden Schrauben *uu* drehen liess. Auf einem Holzrahmen waren zwei Metallösen aufrecht befestigt und diese bildeten die Muttern der beiden Schrauben. Der Holzrahmen stand auf drei Stellschrauben auf einer Glasplatte, die wiederum auf einem Holzrahmen ruhte, unter der sich die gusseisernen Gradführungen der hydraulischen Presse befanden. Die obere Holzplatte stand durch eine ziemlich starke Spiralfeder *z*, welche den Maassstab immer nach der Presse zog, mit letzterer in Verbindung, so dass die Schraube der nächsten Gleitbahn gezwungen war, das Plättchen *a* der Index-Skala (**Taf. I, Fig. 6**) zu berühren, und so musste denn der ganze Maassstab den Bewegungen

der Skala folgen.⁶⁾ Vermittelst der eben erwähnten horizontalen Axen konnte der Maassstab leicht gehoben und gesenkt werden, sich aber nicht um seine Längsaxe drehen. Damit er nun nicht auf die beiden Skalen drückte, war er an zwei passenden Stellen an Schnuren aufgehungen, die oben durch Rollen gingen und am andern Ende mit Gewichten beschwert waren, so dass also dem Maassstabe das Gleichgewicht gehalten wurde.

Trotz dieser Maassregeln blieb die Stellung der Index-Skala während des Experiments nicht immer dieselbe, sondern änderte sich bis zu einem gewissen Maasse, wenn die Probe- stange einem Zuge oder sonstiger äusserlichen Einwirkung unterworfen wurde, so dass die Index-Skala bei jeder Messung von neuem justirt werden musste. Hierdurch wurden zwei Beobachter nöthig gemacht, — einer an jedem Instrumente.

Das Mikroskop über der Mess-Skala konnte vermittelst einer Mikrometerschraube auf der ganzen Länge des Maassstabes hin- und herbewegt, die Distanz zwischen den Axen der beiden Mikroskope also immer genau auf 5 Fuss eingestellt werden, ein Maass, welches von einem besonderen eisernen Maassstabe, auf welchem 5 Fuss markirt waren, entnommen wurde.

Bei der Mehrzahl der Experimente wurden Mikroskope des astronomischen Observatoriums der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm, benutzt, in der letzten Zeit aber andere, welche von den Herren Repsold in Hamburg für das Königliche Technologische Institut geliefert worden waren. Alle diese Mikroskope waren, wie jetzt allgemein üblich, mit zwei parallelen Fäden versehen, welche durch Mikrometerschrauben justirt werden konnten, deren Köpfe in 100 oder 120 gleiche Theile getheilt waren, so dass hierdurch die Möglichkeit gegeben war, bei entsprechender Stellung der Fäden Entfernungen bis zu 0,0005 Millimeter abzulesen — ein Maass von Genauigkeit, welches in Wirklichkeit nicht vonnöthen

6) Die eben beschriebene Einrichtung des Messinstruments verdanken wir in der Hauptsache dem früheren Leiter dieser Versuche, dem Professor C. A. Angström. D. Verf.

ist. Die beiden parallelen Fäden mussten so eingestellt werden, dass die Theile der Skalen genau in ihre Mitte kamen, doch war es, wie leicht ersichtlich, nicht immer möglich, gleichmässig genau einzustellen. Da jedoch in keinem der Mikroskope die Entfernung zwischen den beiden Fäden mehr betrug, als 0,035 Millimeter, oder 0,17 eines Theiles der Skala (ja in Repsold's Instrument nur 0,13 eines Theiles) so konnten die Fehler bei Einstellung beider Mikroskope nicht mehr betragen als 0,01 Millimeter oder 0,05 eines Skalatheiles. 7)

Dieser Grad von Genauigkeit ist bei Messung der permanenten Ausdehnung einer Stange aber auch vollständig genügend, da die Grösse derselben in hohem Maasse, nicht nur von der Art und Weise, wie die Streckung erfolgt, (z. B. von der grösseren oder geringeren Sorgfalt, mit welcher gepumpt wird), sondern auch von der Dauer derselben abhängig ist. Hatte die permanente Ausdehnung eine gewisse Grenze überschritten, so erfolgte fast auf jeden Kolbenhub eine neue Verlängerung, obgleich sehr langsam gepumpt wurde. Selbst wenn die Dehnung ganz gleichmässig ist, kann doch eine Stange, die über eine gewisse Gränze gedehnt worden ist, wie wir unten sehen werden (und wie auch schon Hodgkinson gezeigt hat) nach Verlauf einiger Stunden fortfahren, sich merklich zu dehnen. Ein höherer Grad von Genauigkeit als der soeben besprochene ist bloss bei Bestimmung des Elasticitäts-Moduls nöthig.

7) Bei Benutzung der Repsold'schen Mikroskope betrug der Fehler selten mehr als 0,01 eines Skalatheiles, wenn die Stange auch nicht im geringsten gestört, und die grösste Sorgfalt angewandt worden war, um alle Quellen des Irrthums zu entfernen, welche aus dem Temperaturwechsel der Stangen oder Mess-Instrumente, z. B. durch die Einwirkung der strahlenden Wärme von Gasflammen entspringen. Es darf jedoch demzufolge im Allgemeinen keine so grosse Uebereinstimmung zwischen den Messungen einer Stange, welche verschiedene Male gedehnt wurde, erwartet werden, da geringe Abweichungen in der Biegung der Stange nicht zu vermeiden sind und die Schwierigkeit, kleine Temperaturwechsel in Stange und Mess-Instrumenten zu verhindern, sehr gross ist. Ein Temperaturwechsel von $0,25^{\circ}$ C. verursacht eine Veränderung der Länge einer 5fussigen Stange, bis zu 0,02 einer Skalen-Einheit.

D. Verf.

War die Ausdehnung so beträchtlich, dass die Skalen nicht hinreichen, um sie zu messen, oder war die Stange aussergewöhnlich hart, oder nur in geringem Maasse dehnbar, sodass zu fürchten stand, dass sie bald brechen werde, so wurden Skalen und Mikroskope entfernt, und die Messung durch Papier-Skalen, welche an einer hölzernen Stange befestigt und in Zehntellinien getheilt waren, bewerkstelligt.

6. Experimente über Dehnung, ihr Zweck und die verschiedenen Arten, auf welche sie ausgeführt wurden.

Einige der Dehnungs-Experimente wurden ausschliesslich in der Absicht unternommen, die absolute Stärke und Dehnbarkeit der Probestangen festzustellen. Um letztere Eigenschaft zu bestimmen, wurde der in Fusse getheilte Theil der Stange sowohl als die Bruchfläche nach dem Bruche gemessen.⁸⁾ Wegen der unregelmässigen Form der Bruchflächen war es nur möglich, dieselben mit Leeren oder dem Zirkel zu messen. Eine gleiche Genauigkeit wie bei Ermittlung des mittleren Querschnittes zeigte sich also nicht erreichbar, und in diesem Falle auch nicht einmal nöthig.

8) Erfolgte der Bruch zwischen den äussern Theilstrichen, welche 5 Fuss der Stange abtheilten, so zog Herr Thalén nur die Ausdehnung derjenigen Theile der ursprünglichen Länge von 1 Fuss in Betracht, wo der Bruch nicht erfolgt war, und nach dieser Maxime sind auch die Ausdehnungen, welche wir in **Taf. I** und **II** geben, berechnet. Der Autor seinerseits fand es stets nöthig, die Ausdehnung auf die ganze Länge zwischen den beiden Theilstrichen zu rechnen, weil im Allgemeinen dieselbe in der Nähe der Bruchstelle am grössten, und demzufolge bei allen Experimenten mit auf das Maass der permanenten Ausdehnung zu schlagen ist. Bei Befolgung der oben erwähnten Methode kommt es vor, dass der Procentsatz der Ausdehnung nach dem Bruche geringer ist, als der derjenigen dicht vor demselben. Nach der zu zweit angegebenen Methode würden die Resultate der Ausdehnungen der in **Tab. I** und **II** angeführten Stangen etwas höher gestellt werden müssen, als dort geschehen ist.

Brach die Stange ausserhalb der Theilstriche, so wurde sie stets noch einmal zerbrochen, um die Experimente möglichst komparativ zu machen.

D. Verf.

Nahezu mit allen Arten des geprüften Stahls und Eisens wurden besondere Elasticitäts-Experimente vorgenommen, um festzustellen, welches Gewicht zuerst eine permanente Ausdehnung praktisch bemerkbar macht, und in welcher Proportion dieselbe bei Zunahme des Gewichtes wächst. Betreffs der elastischen Ausdehnung, d. h. derjenigen, welche verschwindet, wenn das streckende Gewicht aufhört zu wirken, ist durch Wertheims Experimente mit ziemlicheä Genauigkeit festgestellt worden, dass sie zum mindesten annäherungsweise der streckenden Kraft proportional ist, und dass sie zwischen Stahl und Eisen, oder verschiedenen Arten dieser Metalle nicht bedeutend differirt. Da diese Daten jedoch denen anderer Autoritäten, wie z. B. Redtenbacher, Morin, Reuleaux u. A. direkt widersprechen, sah sich der Verfasser veranlasst, mittelst des vorher angewandten Apparates den Elasticitätsmodul gewisser Stahl- und Eisensorten so genau als möglich zu bestimmen.

Als Herr Thalén seine Experimente begann, legte er der Bestimmung der Elasticitätsgränze verschiedener Stahl- und Eisensorten besondere Wichtigkeit bei, wobei er den Ausdruck Elasticitätsgränze in dem Sinne anwandte, wie ihn Wertheim⁹⁾ und andere definirt haben, d. h. als die Bestimmung des Gewichtes, durch welche eine Stange eine permanente Ausdehnung von 0,00005 ihrer ursprünglichen Länge annimmt. Da er aber bald gewahr wurde, wie schwierig es sei, die Elasticitätsgränze in dem Sinne, wie sie definirt worden, zu bestimmen, und darauf eine Vergleichung zwischen verschiedenen Stahl- und Eisenarten zu basiren, so stellte er durch graphische Darstellung von Kurven, die permanente Ausdehnung der Stangen bei nach und nach vergrösserten Zuggewichten dar, und suchte deren Punkte der grössten Krümmung so nahe als möglich zu bestimmen. Die Ordinaten dieser Kurven stellten die Belastung, in Pfunden ausgedrückt, die Abscissen die permanente Ausdehnung der Stange dar. Der Maassstab ist so angenommen, dass eine Höhe von 10 Linien¹⁰⁾ einem Gewichte

9) Poggendorf's Annalen. Ergänzungsbd. II.

10) 1 Zoll engl. = 8,6 schwed. Linien.

von 100 Pfund pro Quadratlinie und eine Länge von 10 Linien einer Ausdehnung der 5füssigen Probestange von 10 Theilen der Skala = 0,138 Linien pro Fuss entspricht. Grosse Aufmerksamkeit wurde auch auf die permanente Ausdehnung, welche der Nähe der grössten Krümmung bei Kurven von ähnlicher Konstruktion entspricht, verwandt, aus Gründen aber, welche weiter unten angeführt werden sollen, fand man es unrichtig, diese Krümmung als ein Maass der Steifheit der Stange zu betrachten. Daher sah sich denn der Autor veranlasst, eine andere Definition der Elasticitätsgrenze zu geben.

Beim Aufsuchen der Elasticitätsgrenze eines Metalls wurden zu Anfang der Experimente so geringe Gewichte angewandt, dass sie bemerkbare permanente Ausdehnungen nicht hervorriefen; dann wurden beim weiteren Verlaufe meistens immer bloß 10—20 Pfund in die Waagschale am Hebel hineingelegt und jedesmal, wenn ein neues Gewicht aufgebracht worden war, wurde die durch dasselbe hervorgerufene Ausdehnung gemessen. Näherte sich eine Probestange ihrer Elasticitätsgrenze, (— wir brauchen den Ausdruck jetzt in der Weise, die weiter unten definirt werden wird) öder war das Gewicht so gross, dass man annehmen durfte, es werde die Stange bald zerreißen, so wurde das Maass der Vergrößerung des Gewichtes abgeändert, damit man die Füglichkeit erhielt, mit grösserer Sicherheit die Lage der Elasticitätsgrenze, und die absolute Festigkeit des Materials zu bestimmen.

Da Wertheim's und Hodgkinson's Experimente zur Genüge dargelegt haben, dass die Zeitdauer der Einwirkung der Zugkraft, sowohl auf den Betrag der permanenten Ausdehnung — besonders wenn dieselbe schon bedeutend war — als auch auf die Belastung, bei welcher der Bruch erfolgt, von grossem Einflusse ist, so nahmen wir Bedacht darauf, dass die Zugkraft stets ungefähr durch gleiche Zeiträume wirkte. Zwischen den verschiedenen Experimenten wurde so Vergleichung möglich. War der Hebel bis zu einem gewissen Fixirpunkte und dort beinahe zur Ruhe gekommen, so wurde er eine oder zwei Minuten unberührt gelassen, je nach dem Betrage, um welchen das Gewicht vermehrt worden war. Im Allgemeinen galt es für unnöthig, die Zugkraft viel länger

Styffe, Eisen und Stahl. 2

wirken zu lassen, und in der That würde es mit dem bei den Experimenten angewandten Apparate Schwierigkeiten gehabt haben, dies zu thun, da es ein Ding der Unmöglichkeit war, die Dichtungskappen um den Kolben der Presse so hermetisch zu halten, dass nicht durch Leckheiten ein Zurückgehen des Presskolbens eingetreten wäre. Es stellte sich heraus, dass es unmöglich war, genau die Dauer der Kraftereinwirkung festzustellen, da die Presse anfängt, die Stange zu dehnen, ehe sich der Hebel von seinen Stützen erhebt, ein Umstand, der besonders bei sehr stark dehnbaren Stangen eintritt, da diese lange ehe sich der Hebel in Bewegung setzt, schon gestreckt werden.

Die Stangen wurden nicht nach jeder Vermehrung des Gewichtes ganz frei gemacht, sondern meist gemessen, während ein entsprechendes Gewicht noch auf sie wirkte, wie z. B. der Hebel allein, oder derselbe mit der Waagschale, oder mit den angehangenen Gewichten. Dieses Gewicht, weit entfernt, eine bemerkbare Ausdehnung hervorzurufen, diente bloß dazu, die Stange während der ganzen Zeit der Prüfung möglichst gerade zu halten. Als nun aber der Verfasser anfang, Unterlagsscheiben und Köpfe an den Enden der Stangen zu deren Befestigung in den Querriegeln des Apparates zu benutzen, oder wenn Scheiben an einem und Keile am andern Ende angewandt wurden, machte es sich thunlich, die Stange nach jeder neuen Belastung frei zu machen, indem man, ohne die umständliche Entfernung der grossen Belastung zu bewirken, die Mutter der Schraube *M* (Taf. 1, Fig. 2) löste.

War die Stange auf diese Weise gänzlich frei gemacht worden, so konnte ihre absolute Länge keineswegs mit grosser Genauigkeit gemessen werden, da sie, nur an den Enden unterstützt, selbst wenn sie vorher vollständig gerade war, durch ihr eigenes Gewicht gebogen wurde. Die durch Messung erhaltene Länge ist in der Praxis etwas geringer als die wirkliche Länge, wie wir unten zeigen werden, weil die Skalen vermittelst deren das Maass abgenommen wird, nicht genau auf der Mittellinie der Stange, sondern nur auf ihrer Oberfläche angebracht werden können. Wäre jedoch die Stange durch die Einwirkung der Zugkraft weder gebogen noch gerade gezogen worden, so würde die Differenz der beiden Messungen der freien Stange zwischen 2 Streck-

ungen genau die permanente Streckung angeben, welche durch die Dehnung verursacht worden ist, weil der Effekt des Gewichtes, welches die Stange biegt, unter allen Umständen derselbe ist, und die Resultate eine genaue Uebereinstimmung hierin bezeigen. Einige Stangen sind durch die Streckung (besonders mit grossen Gewichten) in so bedeutendem Maasse verbogen worden, dass die Abweichung in der Mitte derselben bis zu mehreren Linien stieg. In einigen Fällen mag diese Biegung an der Art und Weise der Befestigung der Stange gelegen haben, indem die Zugkraft nicht central wirkte. Dagegen sind wir andererseits überzeugt, dass dies nicht stets der Grund der Biegung war, denn es sind Stangen, welche während der Einspannung bedeutend verbogen wurden, mit Absicht auf solche Weise im Apparate befestigt worden, dass sie nach der entgegengesetzten Seite hätten gebogen werden müssen, und doch blieb dieser Erfolg bei der Fortsetzung des Experiments aus. Es kann also der Grund der Erscheinungen bloß darin liegen, dass das betreffende Material nicht durchweg gleichmässig war, oder dass es während seiner Zubereitung beim Walzen oder irgendwie eine ungleichmässige Behandlung erfahren hatte, z. B. beim Abrichten nach erfolgter Abkühlung. Weiter unten werden wir sehen, dass sich in der That die Elasticitätsgränze so weit hinausschieben lässt, dass sie der brechenden Kraft sehr nahe liegt. Sind durch die Abrichtung einer kalten Eisenstange, auf der einen Seite die einzelnen Fasern gedehnt, und ist ihnen so eine höhere Elasticität verliehen worden, als denen der andern Seite¹⁾, so kann es vorkommen, dass letztere bei der Streckung früher eine permanente Ausdehnung erleiden, und die Stange nach dieser Seite hin leicht eine Konvexität zeigt.

7. Berechnung des Fehlers bei der Längenmessung, welcher aus der Ungeradheit der Stange erwächst.

Um annäherungsweise zu berechnen, in wieweit die Biegungen der Stangen deren richtige Messungen beeinträchtigen,

1) Wiedeman's Experimente (Poggendorff's Annalen 1859) beweisen, dass durch Biegung die Elasticität auf der Seite, wo die Fasern durch dieselbe zusammengedrückt worden sind, nicht nur nicht erhöht, sondern sogar verringert wird.

nehme man an, dass die Kurve der Bogen eines Kreises sei, eine Annahme, die bei homogener Beschaffenheit regelmässig geformten Stangen von gleichen Dimensionen und geringer Biegung derselben, keinen grossen Fehler einschliesst.

Auf **Taf. II, Fig. 3**, stellt die Linie ABC die Axe der Stange in ihrer eigenen Ebene dar, welche einen Winkel α mit dem Horizonte bildet. **Fig. 2** zeigt einen Querschnitt durch die Mitte der Stange. Der Winkel α ist als positiv zu betrachten, wenn die Stange nach unten, als negativ, wenn sie nach oben gebogen wird. In **Fig. 1** ist ABC die Projektion der Axe auf die vertikale Ebene, welche durch die Nullpunkte D und F der Skalen geht. Wird durch jeden dieser Punkte eine Ebene gelegt, welche die Axe unter einem rechten Winkel in F und C schneidet, so müssen sowohl diese Ebenen, als auch ihre Schnittlinie GI (**Fig. 2**) unter einem rechten Winkel auf der Ebene stehen, in der die Axe liegt. Wird ferner eine Ebene parallel zur letzterwähnten durch den Punkt D konstruirt, so dass sie GI in H schneidet, so muss, da nach unserer Voraussetzung D und F in Bezug auf die Axe symmetrisch liegen, diese Ebene auch durch F gehen. Wird nun, mit dem Punkte H als Mittelpunkt, durch D ein Kreis beschrieben, so wird er auch durch F gehen. In **Fig. 3** ist DEF die Projektion dieses Kreisbogens auf der Ebene der Axe, in **Fig. 1** und **2** sind DEF und ED seine Projektionen auf den Ebenen, in welchen diese Figuren liegen. Die wirkliche Länge der Bögen DEF und ABC ist nur in **Fig. 3** ersichtlich, ihre wirklichen Höhen aber EH und BL mit ihren Radien DH und CH sind auch in **Fig. 2** zu finden, wo sie, die ersteren mit ED und AB , die letzteren mit EH und BI korrespondiren.

In der folgenden Beschreibung sind die Längen der Bögen ABC und DEF (**Fig. 3**) mit s und s_1 , von BL und EK mit h und h_1 ; von CH und DH mit r und r_1 , der Sehnen AC und DF mit a und a_1 , und die Höhe der Skalen über der Axe, wenn die Stange gerade ist, mit b bezeichnet.

So lange die Stange gerade ist, liegen natürlicherweise D und F senkrecht über A und C , und alsdann ist die Entfernung von D bis F , die der Nullpunkte der Skalen, ein

genaues Maass der Länge der Axe zwischen A und B . Wird aber die Stange gebogen, so wird nur die Länge von DF oder a_1 gemessen, und auf diese Weise folgender Fehler herbeigeführt

$$s - a_1 = (s - s_1) + (s_1 - a_1).$$

Sind die Winkel, welche den Bögen s und s_1 entsprechen, von gleicher Grösse, so gilt die Proportion:

$$s : s_1 = r : r_1$$

$$\text{daher } (s - s_1) : s = (r - r_1) : r$$

$$\text{und } s - s_1 = (r - r_1) \frac{s}{r}.$$

Aber $r - r_1 = b \sin \alpha$ denn EB (Fig. 2) ist gleich b , oder der Höhe der Skalen über der Axe, und EB ist, wenn die Skalen nur leidlich gut eingestellt sind, fast immer senkrecht.

$$\text{Da also} \quad (2r - h) h = \frac{a^2}{4},$$

$$\text{so ist folglich auch} \quad r = \frac{a^2 + 4h^2}{8h}$$

und da $s^2 = a^2 + 4h^2$ (wenigstens annäherungsweise) so ist auch

$$\frac{s}{r} = \frac{8h}{s}.$$

Setzen wir diese Werthe für $r - r_1$ und $\frac{s}{r}$ in den Werth von $s - s_1$ ein, so erhalten wir die Gleichung

$$s - s_1 = \frac{8bh \sin \alpha}{s}.$$

Ist $s_1^2 - a_1^2$ annähernd $= 4h_1^2$, so ist auch $s_1 - a_1 = \frac{4h_1^2}{s_1 + a_1}$, was mit genügender Genauigkeit gleich $\frac{2h_1^2}{s_1}$ gesetzt werden kann, und ferner

$$\frac{h_1}{s_1} = \frac{h}{s} \text{ und } \frac{h_1}{h} = 1 \text{ (ungefähr)}$$

ist, so muss $s_1 - a_1 = \frac{2h^2}{s}$ sein. Und so erhalten wir

$$s - a_1 = \frac{8bh \sin \alpha + 2h^2}{s}.$$

Die Oberflächen der Skalen liegen bei Experimenten mit Eisenstangen von 4 Linien Durchmesser ungefähr 3,6 Linien über der Axe der Stange, und wird dieser Werth für h in der zuletzt aufgestellten Formel eingeführt, so erhalten wir endlich:

$$s - a_1 = 0,0576 h \sin \alpha + 0,004 h^2.$$

Wie aus dieser Formel zu ersehen, giebt eine Abweichung von nur 2 Linien, wenn $\alpha = 90^\circ$ (d. h. wenn die Biegung abwärts in einer senkrechten Ebene erfolgt), schon einen Fehler von 0,0117 Linien, entsprechend 0,17 Theilen unserer Skala, während der Fehler beim Einstellen der beiden Messinstrumente höchstens 0,05 eines Theiles der Skala ausmachen darf.

Bei dieser Art von Experimenten, welche einen so hohen Grad von Genauigkeit erfordern, wie bei Bestimmung des Elasticitätsmoduls, nahm der Verfasser stets als Ausgangspunkt der Vergleichung die Länge einer Stange an, welche einer bestimmten, mässigen Streckung unterworfen wurde, die, wie sich der Verfasser durch vorherige Experimente überzeugte, eine permanente Ausdehnung in ihr nicht erzeugt hatte.

8. Prüfung verschiedener Stahl- und Eisenarten.

Der Hauptzweck aller dieser Nachforschungen war die Bestimmung des relativen Werthes verschiedener Stahl- und Eisensorten, welche für Eisenbahnzwecke verwandt werden, und aus diesem Grunde wurden hauptsächlich solche Arten der Prüfung unterzogen, die bisher meist zu Gegenständen, die damit in Beziehung stehen, verarbeitet, oder sonst in grossem Maassstabe benutzt werden. Da das gepuddelte Eisen aus den wenigen schwedischen Werken, welche es produciren, ziemlich weich ist, und da gepuddelter Stahl bisher nur ausnahmsweise, und dann nur in kleinen Mengen, hergestellt wurde, schlug die Kommission, der daran lag, passende Proben von gepuddeltem Stahl und Eisen zu bekommen, Herrn W. Zethelius, dem Besitzer der Werke in Surahammar, vor, ausdrücklich für sie gepuddelten Stahl und dergleichen Eisen aus bestimmten Arten von Roheisen herzustellen, worauf denn

auch derselbe freundlichst einging. Die Probestücke, welche die Kommission von ihm erhielt, waren aus Roheisen gepuddelt, welches zu Bispsberg, Grangärde, Norberg, Nora Hammarby, Nora Pershytte und Persberg zubereitet worden war. Sie bestanden alle aus Eisen Nr. 2 in runde Stangen von ungefähr 4 Linien Durchmesser, oder in vierkantige Stäbe von 4 Linien Seitenlänge gewalzt. Unglücklicher Weise wurde Zethelius verhindert, ein so grosses Quantum Roheisen auf einmal zu puddeln, als die Kommission gewünscht hatte, und so waren denn die Produkte jedes Brandes nothwendig noch durch die Schlacke, die durch die vorhergehende Bearbeitung erzeugt worden war, modificirt. Es liegt daher die Befürchtung nahe, dass die Probestäbe nicht als vollständig charakteristisch für das Roheisen, aus dem sie hergestellt worden sind, gelten können. In den beiliegenden Tabellen sind diese Stäbe mit dem Anfangsbuchstaben des Namens der Bezugsquelle des Roheisens, aus dem sie bereitet worden waren, bezeichnet; beim Stahl sind die beigefügten Nummern 1, 2 und 3 Zeichen für die geringere oder grössere Härte desselben. So bezeichnet z. B. N. P. 1. den härtesten gepuddelten Stahl aus Nora-Pershytte-Roheisen; N. 2 bezeichnet gepuddelten Stahl von mittlerer Härte aus Norberg-Roheisen; B-Eisen bedeutet gepuddeltes Eisen aus Bispsberg-Roheisen u. s. f. 2).

Ausser diesen sind noch folgende Materialien der Prüfung unterworfen worden.

Gehämmerter Bessemer-Stahl und dergleichen Eisen aus den neuen Werken zu Högbö, Sandviken, an der Gefle- und Dala-Eisenbahn; Stahl aus einer Mischung von 45,5—50 Proc. Bispsberg-Erz, 27—30,5 Proc. Relling-Erz und einem geringen Zusatze von Nyäng, Göck, Strand und Erik Evz; Eisen (von der

2) Ehe der Verfasser die Leitung gegenwärtiger Untersuchungen überkam, wurden die Experimente über die Ausdehnung von Probestäben von Surahammar von den Herren Thalén, Angström und Cronstrand angestellt. Die von diesen Herren erlangten Resultate sind in **Tabelle I** und **II** gegeben. Die Prüfung aller andern Stahl- und Eisenarten ist vom Verfasser mit seinem oben erwähnten Gehülfe vorgenommen worden.

D. Verf.

Härte 0,3) aus 65,5 Proc. Bisberg Erz und 19,25 Proc. Örlaxbo-Erz u. s. w.

Gewalzter Bessemer-Stahl aus Carlsdal in der Grafschaft Örebro, aus Persberg und Vicker Erzen bereitet.

Gewalzter Gussstahl aus Wikmanshyttan in Dalekarlien zubereitet aus Bisberg-Erz, welches in Hochöfen nach Uchatius'scher Methode geschmolzen war.

Zwei Sorten geschmiedeter Gussstahl aus F. Krupp's berühmten Stahlwerken zu Essen in Westphalen, deren eine, benannt „Mittelharter Gussstahl“ und mit einer einfachen Krone gezeichnet, nach dem gedruckten Prospekte des Fabrikanten, sich besonders für Wagen-Axen und andere Gegenstände, welche einer grossen Steifheit bei Zähigkeit bedürfen, geeignet zeigt; während die andere, gezeichnet mit zwei Kronen, etwas weicher war und vom Fabrikanten zu Axen von Lokomotiven und Dampfschiff-Maschinen, Kolbenstangen etc. empfohlen wurde.

Englisches gewalztes Puddeleisen von Low Moor, einem wegen der ausgezeichneten Qualität seines Eisens bekanntem Werke, dessen Probestab mit dem Namen gezeichnet war.

Englisches gewalztes Puddeleisen von Bolkow und Vaughan's Werken zu Middlesbro'-on-Tees, gez. „Cleveland“ und wahrscheinlich auch aus Clevelanderz bereitet³⁾.

Englisches gewalztes Puddeleisen, in Stockholm gekauft, und nach des Händlers Angabe von Dudley in Staffordshire bezogen.

Gewalztes Puddeleisen von Motala gez. „M. W.“ in Stockholm gekauft und deshalb (anders wie die meisten übrigen schwedischen Eisenproben) nicht ausdrücklich für diese Experimente bestimmt.

Einmal geschweisstes, gewalztes Eisen von Åryd in Småland, in einem französischen Holzkohlenofen aus Roheisen raffinirt, welches aus phosphorreichem See-Eisenerz ausge-

3) Da die Proben von Low Moor und Cleveland Eisen von einem englischen Agenten besorgt wurden, der wusste, dass sie zu experimentalen Zwecken dienen sollten, so ist anzunehmen, dass sie aus-
gesucht worden sind.
D. Verf.

bracht war. Diese Eisensorte wurde hauptsächlich mit vorgenommen, um auch kaltbrüchiges Eisen zu prüfen.

Gewalztes Eisen, in einem Holzkohlenofen raffinirt, von Hallstahammar in Westmanland. Es war in Stockholm gekauft und trug das Zeichen „H. H.“ umgeben von einem Ringe.

Gewalztes Eisen, in einem englischen Holzkohlenofen raffinirt, von Lesjöfors in Wermland, Schweden; gez. „Ekman und Co.“

Ausser diesen eben erwähnten Proben, wurden noch andere Stangen, aus einem englischen Radreifen, der in den Low Moor Werken fabricirt worden war, durch Hobelung desselben hergestellt, ferner eine, die aus dem Kopfe und Steg einer englischen Schiene, welche der schwedischen Staats-Eisenbahn gehörte, und in Cwm Avon in Süd-Wales hergestellt worden war. Alle diese Stangen wurden nach der Schweissung in Stäbe von ungefähr 4 Linien oder 0,46 Zoll engl. im Quadrat gewalzt.

9. Erklärung der Tabellen I bis V und der Tafeln III bis V.

Die **Tabellen I bis V** geben die Resultate der Dehnungs-Experimente, ausgeführt bei einer Temperatur von 50 bis 68° Fahrenheit ⁴⁾).

Nähere Details über die Beobachtungen, durch welche diese Resultate erlangt worden sind, anzugeben, erscheint überflüssig, und würde auch einen zu grossen Raum beanspruchen. **Tabelle V** giebt Versuche mit einigen Stangen, die

4) Um die Vergleichung dieser Experimente mit in andern Ländern vorgenommenen zu erleichtern, wird der Leser erinnert, dass die Zahlen, welche das Gewicht in schwedischen Pfunden per Quadratlinie bezeichnen, durch Multiplikation mit:

4,8201	in Kilogramme per Quadratcentimeter,
68,62	„ engl. Pfunde per engl. Quadratzoll,
0,03061	„ engl. Tonnen per engl. Quadratzoll,
65,78	„ deutsche Zollpfunde per preuss. Quadratzoll,
59,727	„ Wiener Pfunde per Wiener Quadratzoll

umgewandelt werden.

ausgesucht wurden, um den Betrag der Ausdehnung zu zeigen, welche bei Dehnung von Stahl und Eisen von verschiedener Härte herbeigeführt wird, und die mehr oder minder schnelle Zunahme dieser Dehnung darzuthun. Um den Leser in Stand zu setzen, die Maasse dieser Ausdehnungen mit einem Blicke zu übersehen, sind dieselben graphisch durch Kurven dargestellt. Da aber diese Kurven, für Stahl und Eisen von derselben chemischen Zusammensetzung und Zubereitung, meistens nicht in irgend beträchtlichem Maasse variiren, haben wir auf **Tafel III** und **IV** nur einige wenige Beispiele, die aus den verschiedenen geprüften Stahl- und Eisensorten herausgegriffen sind, gegeben. Die Ordinaten stellen den Betrag des streckenden Gewichtes in Pfunden pro Quadratzoll dar, die Abscissen die ganze permanente Ausdehnung, welche durch diese Gewichte, oder die geringeren während des Experimentes angewandten, hervorgerufen werden, in Form von Procentsätzen, d. h. in Linien per Fuss der ursprünglichen Länge der Stange ⁵⁾.

Bei diesen Kurven (deren Form natürlicher Weise hauptsächlich von dem Verhältnisse zwischen den für Ordinaten und Abscissen gewählten Maassstäben abhängt) fordert der Punkt der stärksten Krümmung, wie Herr Thalén in seiner oben erwähnten Schrift bemerkt, die grösste Aufmerksamkeit. Ist der Maassstab für die Ausdehnungen ziemlich gross, — dort ist das Verhältniss des Maassstabes der Ausdehnungen zu dem der Belastungen zehnmal grösser als auf **Tafel III** und **IV** — so lässt sich dieser Punkt leicht bestimmen, da die der grössten Krümmung der Kurven auf beiden Seiten zunächst liegenden Punkte ziemlich symmetrisch und gradlinig sich gruppiren. Dann lässt sich auch der besprochene Punkt mit hinreichender Genauigkeit durch Konstruktion zweier Tangenten an den Kurven und Halbierung des durch dieselben

5) Um den Unterschied zwischen Bessemer Material und den andern zu zeigen, sind diese beiden Tafeln in eine (**Taf. IX**) zusammengefasst worden, wo die Resultate der Versuche mit Bessemer Material ausgezogen, die andern dagegen punktirt sind. Vergleiche den Appendix.

gebildeten Winkels finden. Auf diese Weise bestimmte Herr Thalén diesen Punkt für die Verschiedenheit des von ihm geprüften Stahles und für Eisen von Surahammar, nachdem er die Ausdehnungskurven nach dem von ihm angewandten Maassstabe konstruirt hatte. Diese seine Bestimmung dieses Punktes, der nur wenig von der unten zu definirenden Elasticitätsgrenze absteht, ist in **Tabelle I** gegeben.

Die Lage der grössten Krümmung ist bis zu einem gewissen Grade doch von dem Maassstabe abhängig, mit welchem die Ausdehnungskurve konstruirt worden ist, und der Verfasser hat oft eine Differenz bis zu 40 Pfunden gefunden, je nachdem er die Kurve mit dem auf **Tafel III** und **IV** oder auf **Tafel V** angewendeten Maassstabe, konstruirt hatte ⁶⁾. Aus diesem Grunde erschien es nicht zweckdienlich, das Maximum der Krümmung der Ausdehnungskurve als Maass für die Steifigkeit oder zur Bestimmung der Grenze zu benutzen, bei

6) Dass die Lage der grössten Krümmung von dem angewandten Maassstabe abhängig ist, kann mathematisch folgendermaassen nachgewiesen werden:

Wenn $y = f(x)$ die Gleichung der Ausdehnungskurve ist, in welcher y den Werth des Gewichtes in Pfunden per Quadratlinie des ursprünglichen mittleren Querschnitts der Stange bedeutet, x die entsprechende ganze Ausdehnung nach einem gewissen Maassstabe, dann ist nach einem andern Maassstabe für die Abscissen, dem entsprechend für dieselben Werthe der Ordinaten die Abscissen m mal grösser sind, die Ausdehnungsgleichung folgende:

$$y = f\left(\frac{x}{m}\right)$$

Bezeichnet ferner: $f'(x)$, $f''(x)$, $f'''(x)$ die erste, zweite und dritte abgeleitete Funktion von $f(x)$, so wissen wir durch Hülfe der Differential-Rechnung, dass der Radius (ρ) der Krümmung der Kurve $y = f(x)$ zu finden ist aus der Gleichung

$$\rho = \pm \frac{\left(1 + \overline{f'(x)}^2\right)^{\frac{3}{2}}}{f''(x)}$$

und dass die Werthe von x , wofür ρ das Minimum oder die Kurve $\frac{1}{\rho}$ das Maximum ist, der Gleichung $\frac{\partial \rho}{\partial x} = 0$ entsprechen müssen, d. h.

$$f'''(x) \cdot \left(1 + \overline{f'(x)}^2\right) - 3f'(x) \cdot \overline{f''(x)}^2 = 0.$$

welcher die permanente Ausdehnung anfängt bemerkbar zu werden.

10. Elasticitätsgrenze nach der gewöhnlichen Definition.

Mit „Elasticitätsgrenze“ bezeichnet man gewöhnlich, wie bekannt, den Punkt in einer Experimentreihe, wo durch ein kleinstmögliches Gewicht eine permanente Veränderung der Form des geprüften Körpers eintritt; doch die Bestimmung dieses Gewichtes hängt lediglich von der Empfindlichkeit des zur Messung gebrauchten Instrumentes ab. Ferner wissen wir auch, dass eine ausgedehnte Stange nicht augenblicklich nach Entfernung des streckenden Gewichtes auf ihre ursprüngliche Länge zurückgeht, sondern dass eine sogenannte sekundäre Aktion (*secondary action, efterverkan*) erfolgt, d. h. die Stange nimmt zunächst eine von ihrer ursprünglichen Länge nur wenig verschiedene Dimension an, und geht von da ab nur nach und nach auf erstere zurück.

Eine sekundäre Aktion dieser Art erfolgt auch bei der Biegung und ist nach Kupffer's Angaben noch einige Tage nachher bemerkbar⁷⁾. Ganz dasselbe findet also auch bei der Dehnung statt.

II. Die Elasticitätsgrenze nach Wertheim's u. A. Definitionen.

In der Meinung, dass die Bestimmung der Elasticitätsgrenze nach der gewöhnlichen Definition ein Ding der Un-

Der Werth von x , welcher der grössten Krümmung in der Kurve $y = f\left(\frac{x}{m}\right)$ entspricht, muss der Gleichung:

$$f''''\left(\frac{x}{m}\right) \left(m^2 + f'\left(\frac{x}{m}\right)^2\right) - 3f'\left(\frac{x}{m}\right) f''\left(\frac{x}{m}\right)^2 = 0$$

genügen. Genügt aber der Werth x_1 der vorhergehenden Gleichung

$$f''''(x_1) \cdot \left(1 + f'(x_1)^2\right) - 3f'(x_1) f''(x_1)^2 = 0$$

dann wird, da $x = m$, im Allgemeinen die letztere Gleichung nicht $= 0$ werden, sondern erhält den Werth $f''''(x_1) (m^2 - 1)$ was nicht $= 0$ sein kann, es sei denn $m = \pm 1$ oder $f''''(x_1) = 0$.

D. Verf.

7) „*Recherches expérimentales sur l'élasticité des Métaux.*“ St. Petersburg 1860.

möglichkeit sei, haben Wertheim und andere Physiker dieselbe als das Gewicht definiert, welches eine permanente Ausdehnung von 0,00005 der ursprünglichen Länge verursacht. Aber auch nach dieser Definition ist die Elasticitätsgrenze bei komparativen Experimenten mit verschiedenen Stahl- und Eisensorten, von geringem Werthe, da sie nicht hinreichend genau bestimmt werden kann. In dem Zustande, wie die Stangen aus den betreffenden Werken kommen, sind sie selten so gut abgerichtet, dass sie ohne vorher korrigirt worden zu sein, bei Experimenten über Zugfestigkeit verwendet werden könnten, und dieses Graderichten kann selten so vorsichtig bewirkt werden, dass nicht neue Spannungen entstünden. Aus der oben gegebenen Berechnung betreffs Einwirkung der Krümmung auf die Messung der Länge zeigt sich, dass eine Biegung von 0,43 Linien abwärts in der Mitte der Stange, bei einer fünffüssigen Stange einen Messfehler bis 0,025 Linien ergibt, was gleich 0,00005 ihrer Länge ist. Wird demnach eine Stange, welche bei ihrer Einschaltung in die hydraulische Presse eine Biegung senkrecht abwärts hatte, durch die Dehnung so gerade gezogen, dass ihre nunmehrige Abweichung von der geraden Linie 0,43 Linien weniger beträgt, als die vorherige, so hat offenbar die Stange eine (nach der zuletzt gegebenen Definition) der Elasticitätsgrenze entsprechende Verlängerung erlitten.

Aber selbst im Falle, dass wir den Punkt bestimmen könnten, wo die Stange wirklich eine permanente Ausdehnung erlitten hat, so würde dies doch immer eine ungenügende Auskunft über die Steifheit des geprüften Metalls geben, da eine so geringfügige Ausdehnung, durch von einander sehr abweichende Gewichte, welche aber verschiedenartig wirken, hervorgebracht werden könnte. Denn, wird durch ein gewisses Gewicht, welches eine Minute lang wirkt, eine gewisse Ausdehnung hervorgebracht, so kann dies auch durch ein geringeres, welches länger wirkt, oder durch mehrere kleinere, welche die Stange nach und nach strecken, geschehen. Und letztere Methode muss denn auch bei allen Nachforschungen über die Elasticitätsgrenze befolgt werden, woraus sich schliessen lässt, dass die Lage dieser Grenze in nicht ge-

ringem Maasse von der, bei Aufsuchung derselben befolgten Methode abhängig ist. Um die angenäherte Lage der Elasticitätsgrenze nach Wertheim's Definition zu zeigen, sind in **Tabelle 1** einige von Herrn Thalén berechnete Bestimmungen gegeben. Die geprüften Stangen waren, als sie gemessen wurden, nicht frei, sondern wurden durch ein geringes Gewicht gestreckt, welches natürlich, wie es auch in der Tabelle angeführt ist, mit bei der Bestimmung der Elasticitätsgrenze in Rechnung gezogen worden ist.

12. Neue Definition der Elasticitätsgrenze.

Da nun keine bis jetzt gegebene Definition⁸⁾ der Elasticitätsgrenze als vollständig genügend befunden worden ist, erlaubt sich der Verfasser eine neue vorzuschlagen, welche nach seiner Ansicht grosse Vortheile vor den jetzt in Gebrauch befindlichen voraus hat. Wird eine Stahl- oder Eisenstange nach und nach durch wachsend aufgelegte Gewichte gestreckt, welche anfangs so gering sind, dass sie eine bemerkbare permanente Ausdehnung nicht hervorbringen, aber nach und nach vergrössert werden, und immer so viele Minuten wirken dürfen, als das jedesmal neu hinzugefügte Gewicht ein Procentsatz des ganzen Gewichtes ist, dann betrachtet der Verfasser als Elasticitätsgrenze das Gewicht, durch welches, nachdem es in eben angeführter Weise eingewirkt hat, ein Zuwachs in der permanenten Ausdehnung herbeigeführt worden ist, welche zu der Länge der Stange in dem Verhältnisse von 0,01 (oder wenigstens annäherungsweise 0,01) von dem Zuwachs des Gewichtes, zu dem ganzen Belastungsgewichte steht. In jedem Falle, wo in den beigege-

8) Vergl. hierüber „Fairbairn's Paper on the Mechanical Properties of Steel, read before the British Association at Dundee 1867, „Limit of elasticity.““ Anmerk. v. C Sandberg. „Bis zu ihrer Elasticitätsgrenze verhalten sich die Biegungen zu ihren entsprechenden Pressungen proportional, doch wachsen sie über dieselbe hinaus, in einem viel höheren Verhältnisse. Daher ist die Biegung, welche der Elasticitätsgrenze entspricht, die grösste Biegung, welche unter dem oben erklärten Gesetze der Elasticität erfolgt.“ Fairbairn.

benen Tabellen die Elasticitätsgrenze erwähnt wird, ist sie als mit der eben gegebenen Definition ermittelt, zu betrachten, wenn das Gegentheil nicht ausdrücklich hervorgehoben wird.

Es würde weder vortheilhaft sein, das Gewicht bei jeder einzelnen Dehnung um mehr als 2 Proc. des vorher angewendeten zu vermehren, noch ist dies überhaupt für die Bestimmung der Elasticitätsgrenze nöthig, da man, so lange die successiven Gewichtsvergrößerungen sich nicht höher als bis auf einen gewissen niedrigen Procentsatz belaufen, ohne bedeutenden Fehler annehmen kann, dass diese neu hinzugefügten Gewichte und die entsprechenden Zuwachse der permanenten Ausdehnung proportional sind. Wird das ganze, auf die Stange wirkende Gewicht mit P bezeichnet, das jedesmal hinzugefügte Gewicht, welches konstant sein mag, mit ΔP , die Länge der Stange mit L , der Zuwachs an der permanenten Ausdehnung mit ΔL , welcher durch die Einwirkung von $P + \Delta P$ hervorgebracht wird, wenn letztere Summe $100 \frac{\Delta P}{P}$ Minuten wirken darf, dann entspricht die Elasticitätsgrenze nach obiger Definition dem Gewichte, bei welchem $\frac{\Delta P}{P}$ gleich oder zunächst angenähert $0,01 \frac{\Delta P}{P}$ wird. Und dieser Ausdruck kann nun also auch gegeben werden als $100 \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{P}{\Delta P} = 1$, oder wenigstens sehr nahe 1⁹⁾.

9) Soll die Elasticitätsgrenze eine für das geprüfte Metall charakteristische Eigenschaft bezeichnen, und einen praktischen Nutzen haben, so muss der für den Ausdruck $\frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{P}{\Delta P}$ bestimmte Werth derart sein, dass dieser Ausdruck in der Nähe der Elasticitätsgrenze stets vergrößert oder verringert wird, wenn P vergrößert oder verringert wird, und dies so schnell, dass mit genügender Genauigkeit festgesetzt werden kann, welcher Werth von P den Werth giebt, der nach unserer Definition der Elasticitätsgrenze entspricht. Unser Vorschlag, mit dem Namen „Elasticitätsgrenze“ ausschliesslich den Werth von P zu belegen, welcher

$$\frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{P}{\Delta P} = 0,01 \text{ giebt,}$$

scheint dieser Bedingung für Stahl und Eisen zu entsprechen, wie aus **Tabelle V** und den graphischen Darstellungen auf **Tafel III** und **V**

Bei einiger Uebung ist es möglich, wenn die jedesmal hinzugefügten Gewichte nur gering sind, direkt aus den Experiments-Protokollen die Lage der Elasticitätsgrenze mit genügender Genauigkeit zu bestimmen, selbst wenn dieselben, wie bei unseren Forschungen, nur die Gewichte in der Waagschale des mit dem Streckapparate verbundenen Hebels und die permanenten Längenzunahmen der 5füssigen Stange in Theilen der Skalen geben. Wie oben bemerkt repräsentirte der Hebel mit der Waagschale ein ziehendes Gewicht von 153,48 Pfunden, und ein Theilstrich der Skala 0,06898 Linien. Bezeichnen wir nun das Gewicht in der Waagschale mit p , den Zuwachs zu diesem Gewichte bei jeder Dehnung mit Δp und den entsprechenden Zuwachs zu der permanenten Ausdehnung, in Theilen der Skala ausgedrückt, mit Δl , so erhalten wir:

$$\frac{100 \Delta L}{L} \cdot \frac{P}{\Delta P} = 100 \cdot \Delta l \frac{0,06898}{500} \cdot \frac{(153,48 + p) 20,084}{\Delta p \cdot 20,084}$$

und hieraus

$$\Delta l \cdot \frac{(153,48 + p)}{\Delta p} = (\text{oder sehr nahe an}) 72,4.$$

Um nun aber die Elasticitätsgrenze noch genauer zu bestimmen, sind die Resultate der Zugexperimente in der Nähe dieser Grenze öfter noch graphisch dargestellt worden. Zu grösserer Bequemlichkeit wurde dabei ein Maassstab ange-

zu ersehen, doch sind noch nicht hinreichend genaue und vollständige Experimente gemacht worden, um festzustellen, ob dies auch bei andern Metallen der Fall ist. Natürlicher Weise lag uns daran, eine Definition der Elasticitätsgrenze zu geben, welche nicht den Stempel der Willkürlichkeit tragen sollte, doch gelang uns dies nicht, da wir unmöglich die wichtigste Eigenschaft einer solchen Grenze, nämlich, dass sie zu jeder Zeit mit der nöthigen Genauigkeit aufgefunden werden könne, opfern konnten. Man könnte annehmen, dass die Elasticitätsgrenze da läge, wo, bei gleichmässiger Vergrösserung des Gewichtes, die Differenzen zwischen den successiven Zunahmen ihr Maximum erreichten, doch hat die Zusammenstellung von Resultaten der Experimente mit einer grossen Zahl von Stangen, ergeben, dass solcher Maxima mehrere sind. Unter diesen war das erste von so geringen Differenzen der verschiedenen Ausdehnungen abhängig,

wandt, nach welchem 100 Pfund in der Waagschale einem Decimalzolle entsprechen und eine Ausdehnung von 10 Theilen der Skala auch einem Decimalszolle. Wird die Ausdehnungskurve nach diesem Maassstabe konstruirt, so muss die Tangente an dem Punkte der Kurve, welcher der Elasticitätsgränze entspricht, gegen die Axe eine Neigung von $\frac{153,48 + p}{724}$ haben. Wird andererseits die Kurve der Ausdehnung mit den auf **Taf. V** benutzten Maassstäben konstruirt, so wird die Neigung der Tangente zur Axe $0,001 P_1$, wobei P_1 das Gewicht pro Quadratlinie ist.

Fig. 2 der letzterwähnten Tafel zeigt den Anfang der Kurve für eine Stange von weichem Eisen und **Fig. 1** denselben für eine Stahlstange, mit welcher drei Reihen von Experimenten über Zugfestigkeit angestellt wurden, und deren Elasticitätsgränze auf die weiter unten beschriebene Manier nach und nach immer höher gelegt wurde. Durch die Punkte L, B, E und H , welche den betreffenden Elasticitätsgränzen entsprechen, und deren Ordinaten 490,685,835 und 920¹⁰⁾ sind, wurden zu jeder der Linien AN, AO, AP und AH Tangenten parallel gezogen. Da die Linien KN, KO, KP und KH den Ordinaten der Punkte L, B, E und H entsprechen und da AK auf dem Ordinatenmaassstabe gleich 1000 ist, so sind die Tangenten der Winkel, welche AN, AO, AP und AH mit der betreffenden Axe bilden, gleich 0,490; 0,685; 0,835 und 0,920.

dass es billiger Weise mit in die Reihe der fehlerhaften Beobachtungen gestellt werden kann, und dasjenige, welches absolut das grösste war, fand sich bei einer schon beträchtlichen Ausdehnung der Stange, die bei Eisen bis 0,5 Proc. stieg. Ferner ist, wie oben bemerkt, der Zuwachs der Ausdehnung bei jeder Streckung in zu hohem Maasse von der Methode, die dabei angewendet wird, abhängig, als dass die Differenzen bei einer Bestimmung wie diese mit in Betracht gezogen werden dürften.

Bei sehr spröden Metallen, wie z. B. hartes Gusseisen u. s. w. ist es kaum ausführbar, deren Elasticitätsgränze zu bestimmen, selbst wenn sie vor dem Bruche eine geringe permanente Ausdehnung annehmen sollten.

D. Verf.

10) Diese Ziffern bezeichnen das Gewicht in schwedischen Pfunden pro Quadratlinie.

C. Sandberg.

Styffe, Eisen und Stahl.

3

Und so haben diese Linien bei der Elasticitätsgränze eine Neigung von $0,001 P_1$ gegen die Tangenten.

Dieselbe Tafel zeigt auch, dass die Elasticitätsgränzen sehr nahe bei einander und nur um ein Geringes höher als die Punkte liegen, wo die Kurven ihre grösste Krümmung haben, und dies ist stets dann der Fall, wenn die Kurven nach dem hier angewandten oder wenigstens mit einem nicht zu weit davon abweichenden Maassstabe gezeichnet werden. Wären die Kurven nach dem auf **Tafel III** und **IV** benutzten Maassstabe gezogen, so würden die Maxima der Krümmungen etwas höher als die Punkte, welche die Elasticitätsgränze bezeichnen, liegen; und dies ist, besonders bei den Kurven des weichen Eisens, der Fall.

Um zu bestimmen, ob grössere oder kleinere Unregelmässigkeiten in der Methode, die Zugkraft einwirken zu lassen, einen beträchtlichen Einfluss auf die Genauigkeit ausüben, mit der die Elasticitätsgränze in der oben angegebenen Weise bestimmt wird, wurden mehrfache Experimente mit Stangen angestellt, welche ursprünglich aus einem Stücke bestanden, und deshalb zum wenigsten ihre Elasticitätsgränzen sehr nahe bei einander haben mussten. Auf diese Weise liess man theils ungleiche Zunahmen des streckenden Gewichtes, theils dasselbe Gewicht während ungleicher Zeitdauer einwirken. Die hauptsächlichsten Resultate sind in der nachstehenden Tabelle gegeben.

Stahl- oder Eisensorte.	Gewichtszuwachs bei jeder Streckung, wenn die Elasticitätsgränze fast erreicht ist.	Zeit, während welcher jedesmal das Gewicht wirken durfte.	Elasticitätsgränze nach des Verfassers neuer Definition.	Elasticitätsgränze nach Wertheim's Definition.
	Pfund pr. Engl. Quadratzoll.	Minuten.	Pfunde.	Pfunde.
1. Gepuddeltes Eisen von Motala. Theil A.	487,2	2	29,575	unter 23,742
" " " " " B.	992,72	$\frac{1}{2}$	29,849	" 22,507
" " " " " a.	960,68	1	26,761	20,586
" " " " " b.	1461,6	1	26,761	unter 21,752
3. Gepuddeltes Eisen von Middlebrough-on-Tees. Theil A.	301,9	2	32,114	28,477
Gepuddeltes Eisen von Middlebrough-on-Tees. Theil B.	1214,5	1	31,565	unter 27,448
4. Gepuddeltes Eisen von Middlebrough-on-Tees. Theil a.	295,06	2	33,486	29,163
Gepuddeltes Eisen von Middlebrough-on-Tees. Theil b.	1200,85	1	35,339	34,310
5. Gepuddeltes Eisen von Dudley. Theil A.	926,37	1	28,271	unter 23,536
" " " " " B.	940	1	28,447	" 29,948
6. Gussstahl (Kohle = 1,22 Proc.) von Wikmanshyttan. Theil A.	1097,92	1	73,100	ungefähr 41,172
Gussstahl (Kohle = 1,22 Proc.) von Wikmanshyttan. Theil B.	1118,5	1	74,246	" 41,172

Mit Ausnahme der Stange No. 4 findet zwischen den für die Elasticitätsgränzen der geprüften Stahl- und Eisensorten nach unserer Definition gefundenen Werthen eine so genügende Uebereinstimmung statt, als nur irgend nöthig befunden werden kann. In Betreff des Stange No. 4 muss man annehmen, dass die Differenz zwischen den beiden Werthen hauptsächlich daher rühre, dass das Material verschiedenartig war; entweder hatte das Metall der beiden Theile eine chemisch verschiedene Beschaffenheit, oder das eine Ende ist beim Walzen mehr erhitzt worden als das andere. Hieraus lässt sich schliessen, dass der Theil *b* bei jeder Streckung eine andere permanente Ausdehnung annahm, als *a*, sodass, als das Gewicht pro Quadratzoll z. B. 33486 Pfd., für *b* um 1200 Pfd. und um 295 Pfd. für *a* vermehrt worden war, die Ausdehnung im ersteren Falle um 0,003 Proc., im letztern um 0,008 Proc. zugenommen hatte, und folglich wäre selbst Wertheim's Elasticitätsgränze für *b* um 5147 Pfd. höher gewesen, als für *a*. Ist die Elasticitätsgränze, wie wir weiter unten sehen werden, durch Streckung weiter hinausgerückt worden, so stände möglicherweise zu erwarten, dass diejenigen Eisenstangen, welche während des Experiments öfter gestreckt worden sind, ehe sie ihre Elasticitätsgränze erreicht haben, oder diejenigen, auf welche die Gewichte längere Zeit gewirkt haben, eine permanente Ausdehnung, und folglich auch eine höhere Elasticitätsgränze erlangt haben. Da jedoch die Differenz zwischen den permanenten Ausdehnungen 0,015 Proc. in keinem Falle überschritten hat, und die eine permanente Ausdehnung von 4—5 Proc. der verschiedenen geprüften Eisensorten, im Durchschnitte einer Erhöhung der Elasticitätsgränze um 6862 Pfd. entspricht (wie wir unten sehen werden), so ist leicht ersichtlich, dass die durch die eben erwähnte Differenz (0,015 Proc.) verursachte Höherlegung der Gränze viel zu gering ist, als dass sie eine korrekte Bestimmung zuliesse.

Es lässt sich ohne Zweifel gegen unsere Definition der Elasticitätsgränze einwenden, dass sie bis zu einem gewissen Maasse willkürlich sei; aber diese Einwendung kann mit noch grösserem Nachdrucke gegen die Wertheim'sche u. A. Definition gemacht werden. Wie aus **Taf. V** zu ersehen, ver-

grössern sich die Zunahmen der permanenten Ausdehnung gegen die Elasticitätsgränze unserer Definition hin sehr schnell, und aus diesem Grunde kann die Gränze leicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden. Ferner ist sie auch für das Material in dem Zustande, in welchen es durch vorherige Behandlung gebracht worden ist, charakteristisch. Auch ist endlich, wie oben gezeigt, die Lage der Elasticitätsgränze von der bei der Bestimmung angewandten Methode in irgend beträchtlichem Grade nicht abhängig, wenigstens nicht innerhalb der Gränzen der Genauigkeit, welche durch Experimente bei Zugfestigkeit erreicht werden können. Bei dieser Gränze zeigen die Ausdehnungen sich auch so bedeutend, dass sie praktisch wichtig werden, und bei Stangen, welche von der Kruste, welche sich beim Glühen gebildet hat, noch nicht befreit sind, kann die Gränze daran erkannt werden, dass bei ihrer Erreichung diese Kruste sich abzulösen beginnt.

13. Höherlegung der Elasticitätsgränze durch Streckung und andere mechanische Mittel.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass die Elasticitätsgränze der Metalle durch kaltes Hämmern, Walzen, Strecken oder irgend eine andere Manipulation, welche ohne Anwendung von Wärme die Lage der Moleküle unter einander zu verändern strebt, erweitert wird, und daher bedienen sich auch die Metallarbeiter dieser Methode fortwährend mit vielem Erfolge. Weiter unten werden wir sehen, dass auch die absolute Festigkeit durch ähnliche mechanische Behandlung erhöht werden kann, dass aber zugleich die Ausdehnbarkeit vermindert wird.

Um zu zeigen, in welchem Verhältnisse die Elasticitätsgränze durch Ausdehnung höhergelegt wird, müssen wir wieder auf **Taf. V, Fig. I** zurückgehen, wo die Kurve *ABC* die Ausdehnung vorstellt, welche eine Probestange durch Einwirkung eines Gewichtes von 55925 Pfd. pro Quadratzoll angenommen hat. Ferner zeigen die Kurven *DEF* und *GHI* die Ausdehnung derselben Stange, welche, nachdem sie zehnmal durch ein Gewicht von 1029 Pfd. pro Quadratzoll gestreckt,

dann durch ein geringeres Gewicht, welches durch allmälige Steigerung zuletzt auf 63816 Pfd. pro Quadratzoll erhöht wurde, gedehnt worden war, zuletzt der Einwirkung derselben Kraft wie zu Anfang ausgesetzt wurde. In diesen Kurven sind alle durch die Beobachtung bestimmten Punkte mit einem Kreuz bezeichnet. In der Kurve *ABC* liegt nach dem ersten Experiment die Elasticitätsgränze bei 47004 Pfd.; nach dem zweiten bei 57279 Pfd., nach dem dritten bei 63130 Pfd., und so war sie denn durch wiederholte Streckung um 16126 Pfd. hinausgeschoben worden.

Dieselbe Figur zeigt uns auch, dass die oberen Theile *BC*, *EF* und *HI* in den Verlängerungen ihrer betreffenden Richtungen liegen. Durch Experimente mit mehreren andern Probestangen ist der Verfasser zu der Ueberzeugung gekommen, dass ganz dieselbe Erscheinung auftritt, wenn eine Stange über ihre Elasticitätsgränze hinaus gedehnt, und dann einer erneuten Streckung ausgesetzt wird, welche aber der vorhergehenden Reihe von Experimenten dicht auf dem Fusse folgen muss, wie denn auch die Temperatur während der ganzen Zeit nicht wesentlich gewechselt haben darf. Wird aber im Gegentheile die Stange vor Erneuerung der Experimente eine Zeit lang in Ruhe gelassen, und besonders wenn sie einigermaßen warm geworden ist, z. B. 300° F., so stellt sich oft die Elasticitätsgränze um ein Bedeutendes höher heraus, als sich nach den vorhergegaegenen Versuchen erwarten liess. Wir werden unten auf diesen Gegenstand wieder zurückkommen.

14. Wirkung der wiederholten Streckung mit demselben Gewichte, oder mit geringerem als das vorher angewandte.

Wird eine Stange durch ein hinlänglich grosses Gewicht, um eine permanente Ausdehnung herbeizuführen, gedehnt, so hat sich herausgestellt, dass dieses Gewicht jedesmal eine neue Ausdehnung verursacht, wenngleich ihr Werth, unter übrigens gleichen Verhältnissen immer geringer, als im vorherigen Experimente wird, wie auf **Taf. V, Fig. 1** bei *C* und

aus den Resultaten der Dehnung der Stan⁹³ N. P. 1.¹⁾ auf derselben Tafel zu ersehen ist. Selbst ein geringeres Gewicht als das vorhergehende, kann eine permanente Ausdehnung verursachen, doch wenn es nicht zum wenigsten 0,9 des vorhergehenden beträgt, so erreicht die Ausdehnung selten 0,015 Proc. und wird für verhältnissmässig geringe Gewichte fast unmerklich. Natürlicherweise muss aber die Dehnung in beiden Fällen auf dieselbe Weise geschehen sein.

15. Untersuchung der Kurven der permanenten Ausdehnung.

Aus den Kurven, welche die permanente Ausdehnung darstellen, lässt sich ferner noch ersehen, dass letztere nicht den angewandten Gewichten selbst, sondern dem Ueberschusse derselben über das, der Elasticitätsgränze entsprechende Gewicht, proportional sind, sowie dass sie bei demselben Gewichtszuwachs für das Eisen grösser sind, als für den Stahl.

Dieselben Kurven geben uns noch Anlass zu der Betrachtung, dass Eisen und weicher Stahl, bald nachdem sie die Elasticitätsgränze überschritten haben, äusserst empfindlich für geringe Belastungszuwachse zu sein scheinen, woher denn auch die Kurven eine geringe Konvexität nach der Abscissenaxe hin zeigen.²⁾ Es ist leicht einzusehen, dass die Form der Kurve bis zu einem gewissen Grade nicht einzig und allein von der grösseren oder geringeren Homogenität des Materials, von der Behandlung, die es erlitten hat, (besonders wenn es gehämmert worden ist) und von der Unregelmässigkeit seiner Dimensionen, sondern auch von der Art und Weise, wie die

1) Vergl. „Oefversigten af Vetenskapsakademiens förhandlingar“ 1863. p. 434. D. Verf.

2) Möglicherweise ist diese Konvexität mit dem Freiwerden von Wärme, welches die Ausdehnungen stets begleitet, in Beziehung zu bringen. Eine Stange von gepuddeltem Stahle, deren Kurven die grösste Konvexität nach der Axe hin zeigten, ergab, als sie während der Dehnung mit Wasser umgeben wurde, eine Kurve, welche zunächst der Axe fast geradlinig war (B. 3. Taf. IV). Eingehendere Nachforschungen über diesen Punkt haben nicht stattgefunden.

D. Verf.

Streckung erfolgt, abhängig ist. Wird, wenn das Gewicht eine bestimmte Gränze erreicht hat, dasjenige, um welches es jedesmal vermehrt worden ist, verringert, oder lässt man es länger wirken, so muss die Ausdehnung grösser, und folglich die Neigung der Kurve gegen die Axe geringer sein.

16. Bestimmung der absoluten Festigkeit und Ausdehnbarkeit.

Um vollständig genaue Resultate bei Bestimmung der absoluten Festigkeit von Stahl- und Eisenstangen zu erlangen, müsste man eigentlich die Höhe des brechenden Gewichts für jede Einheit des ursprünglichen Querschnittes an der Bruchstelle, bestimmen. Da es aber unmöglich ist, den Punkt, wo der Bruch erfolgen wird, vorher genau anzugeben, so muss der Querschnitt an dieser Stelle, aus den Querschnitten der zunächst liegenden Theile, wo die Maasse haben abgenommen werden können, berechnet werden. Da es sich nun nach wiederholten Versuchen herausgestellt hat, dass dieser Querschnitt von den mittleren wenig abweicht, so ist in den Tabellen das brechende Gewicht für den Quadratzoll des ursprünglichen mittleren Querschnittes berechnet. Aus demselben Grunde wurde auch die Grösse der Bruchfläche mit der des ursprünglichen Querschnittes an diesem Punkte verglichen.

Da es nun von Interesse sein dürfte, den Betrag des zum Zerreißen einer Stange nöthigen Gewichtes mit demjenigen, welches der Elasticitätsgränze entspricht, verglichen zu sehen, so ist das Verhältniss zwischen diesen beiden Grössen in den Tabellen in einer besonderen Kolumne angegeben.

Dieses Verhältniss hängt, wie die absolute Festigkeit und die Elasticitätsgränze, nicht allein von der chemischen Zusammensetzung der Stange, sondern auch von der Behandlung, welche sie erlitten hat, ab. So ist z. B. das Verhältniss für gehämmertes Högbo Bessemereisen 1,27—1,37, wird aber für eine Stange derselben Art, welche von dem Experimente erhitzt worden ist 1,81 (vergl. No. 9, 10 und 11 **Tabelle III**).

Wie vorher bemerkt, haben wir, als Hilfsmittel bei Bestimmung der Ausdehnbarkeiten, die Messung der Ausdehnung

pro Fuss, welche beim Bruche erschien, benutzt, und haben auch die Grösse der Bruchfläche im Verhältniss zum ursprünglichen mittleren Querschnitte festgestellt. Vom praktischen Standpunkte aus ist Ersteres das Wichtigere, doch sollen nach dieser Richtung hin die Experimente über Zugfestigkeit befriedigende Resultate liefern, so muss die Stange möglichst gleichartige Struktur und gleichmässige Dimensionen besitzen, und darf an keinem Punkte durch Erhitzung geschwächt worden sein. Um die Wichtigkeit letzterer Bedingung klar zu machen, wird es genügen, wenn wir uns einiger Experimente des Herrn Thalén's erinnern. Es waren die beiden Enden einer Stange erhitzt und umgelegt worden, nm sie im Apparate befestigen zu können, worauf in Folge der Erhitzung nahe dem Ende der Bruch erfolgte. Hierauf wurde dieselbe Stange wieder eingespannt und, vermittelt der Schellen befestigt, aufs Neue zerrissen. Auf diese Weise fand Thalén, dass die Stange mehrmals beim zweiten Versuche, ohne zu brechen, eine dreimal so grosse Ausdehnung annahm, als beim ersten, obgleich beim letzten Experimente das brechende Gewicht nur um ungefähr 16 Proc. grösser war. Bei der Prüfung von Stahl, welcher ungefähr 1,2 Proc. Kohle enthielt, fand der Verfasser auf dem eben angegebenen Wege, dass der Procentsatz der Ausdehnung fast um das 4fache erhöht wurde, wenn man das brechende Gewicht nur um ungefähr 30 Proc. vermehrte. Dies kommt daher, dass die Ausdehnungen im Allgemeinen schneller wachsen, je näher die Belastung dem brechenden Gewichte kommt. In Bezug auf die in **Tabelle I** aufgeführten Probestangen, welche ausserhalb der zum Zwecke der Messung auf ihrer gezogenen Skala brechen, und bei denen es nicht für nöthig gehalten wurde, sie noch einmal mit Hülfe der gusseisernen Schellen zu zerreißen, ist zu bemerken, dass es möglich sein kann, dass in Folge der Erhitzung die gemessenen Wege der Ausdehnungen zu niedrig gegriffen sind. Diese Stangen sind daher durch ein Zeichen markirt, welches sich auf eine Anmerkung am untern Ende der Seite bezieht. Es lässt sich aber mit gutem Grunde annehmen, dass in den meisten Fällen die Angaben hinreichend genau sind.

Im Verlaufe unserer Versuche hatten wir oft Gelegenheit, zu bemerken, dass der Betrag der Ausdehnung in hohem Maasse von der Schnelligkeit, mit welcher der Bruch erfolgte, abhängig ist.

Die Verminderung des Querschnittes an der Bruchstelle lässt sich im Allgemeinen als ein ziemlich zuverlässiger Leiter bei Bestimmung der Ausdehnbarkeit betrachten, doch hängt diese Verminderung auch eng mit der Gleichartigkeit des Metalls, mit dem Freisein desselben von Gussblasen und mit der Art und Weise, wie es während des Experiments behandelt worden ist, zusammen, und ist dieselbe in keinem Falle der Ausdehnung pro Fuss proportional. Es kann allerdings vorkommen, dass bei einer bestimmten Stange das Verhältniss zwischen der Bruchfläche und dem ursprünglichen Querschnitte grösser ist, als bei einer andern Stange, welche in geringem Maasse ausgedehnt worden ist. Nichtsdestoweniger ist die Zusammenziehung der Bruchstelle ein ziemlich genaues Maass für die Ausdehnbarkeit einer gewissen Stange, an der Bruchstelle. Nach Lagerhjelm³⁾ ist die grössere oder geringere Schnelligkeit, mit welcher der Bruch herbeigeführt worden ist, von einigem Einflusse.

17. Das brechende Gewicht pro Einheit der Bruchfläche.

Durch die Anwesenheit eines grösseren Theils Kohle im Material, durch Streckung oder sonstige mechanische Behandlung, der es unterworfen worden ist, wird meistens die absolute Festigkeit vergrössert, während die Dehnbarkeit verringert wird, und so kommt es denn mitunter vor, dass das brechende Gewicht auf der Einheit des Querschnittes, für gutes Eisen und Stahl, wenn beide nach derselben Methode bearbeitet worden sind, fast dasselbe ist. Der Verfasser hat daher, den Ansichten einiger fremder Schriftsteller Rechnung tragend, dieses Gewicht in einer besondern Kolumne in den Tabellen aufgeführt, obgleich er nicht der Ansicht ist, dass es irgend einen gewissen Anhalt für Bestimmung des Maasses der Eigen-

3) Vergl. Jernkontoret's Annaler 1826. Heft II, pag. 74.

schaften des Materials bietet. So ist eine Stange von weichem Eisen nicht entfernt im Stande, kurz vor dem Bruche auch nur eine derjenigen ähnliche Belastung zu tragen, der sie widerstand, ehe sie sich an der Bruchstelle zusammenzuziehen anfangt, und daher hat die Bruchfläche niemals den in den Tabellen angegebenen brechenden Zug ausgehalten. Werden Stangen, welche denselben Gehalt an Kohle besitzen, miteinander verglichen, so bezeichnet ein geringeres brechendes Gewicht auf der Bruchfläche, unter übrigens gleichen Umständen, ein schlechteres Material.⁴⁾

IS. Verschiedene Einwirkungen des Ausglühens und der mechanischen Behandlung auf die Elasticität, Ausdehnbarkeit und absolute Festigkeit von Stahl und Eisen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass, wenn die Elasticitätsgränze durch mechanische Behandlung zu hoch gehoben worden ist, dieselbe durch Ausglühen wieder herabgedrückt werden kann. Jedermann weiss, dass, wenn man z. B. stark gezogenen und daher sehr steif gewordenen Eisendraht ausglüht, er seine Steifheit verliert und weich und biegsam wird. Glühen wir eine Stahl- oder Eisenstange aus, so vermindern wir nicht allein das Gewicht, welches der Elasticitätsgränze entspricht, sondern auch das, welches den Bruch herbeiführt, während andererseits hierdurch die Ausdehnbarkeit vergrössert wird. Dieser Effekt des Ausglühens ist um so grösser, je

4) Nur selten haben wir das Aussehen der Bruchfläche der Stangen dargestellt, theils weil dies mit genügender Anschaulichkeit, weder durch Zeichnung noch durch Beschreibung geschehen kann, theils weil die Art und Weise, wie der Bruch erfolgt ist, auf dasselbe grossen Einfluss hat. Ist die Stange nach und nach zerrissen worden, so ist der Bruch des Eisens stets faserig, wenn das Metall nicht kaltbrüchig oder durch lange Einwirkung von Schmiedehitze verbraunt ist, und dasselbe gilt für Stahl. Andererseits aber, wenn der Bruch schnell erfolgte, ist derselbe nach Kirkaldy niemals faserig. (*Experiments on Wrought-iron and Steel*, Glasgow 1862. pag 92.)

Das Aussehen der Bruchfläche ist jedoch stets in Bezug auf das Freisein des Metalls von schlechter Schweissung oder eingearbeiteter Schlacke, instruktiv.

höher die Temperatur, bei welcher der Process vorgenommen wurde, im Verhältniss zu der, bei welcher der Stahl oder das Eisen vorher bearbeitet worden ist, steht. Eine gerade entgegengesetzte Wirkung, wie schon oben erwähnt, wird durch eine mechanische Operation erzielt, welche, bei niedriger Temperatur vorgenommen, die Lage der Molekule im Material unter einander zu verändern strebt; wie z. B. Strecken, kalt Hämmern u. s. w. Bei Aufstellung von Vergleichen zwischen den Resultaten der Experimente mit Stahl und Eisen verschiedener Art, wie sie in den beigefügten Tabellen gegeben sind, darf die Methode der Bearbeitung, sowie die Temperatur, bei welcher dieselbe vorgenommen wurde, nicht vergessen werden. Vergleicht man z. B. gehämmertes Bessemer Eisen von Högbo, (**Tabelle III, No. 9 und 10**) mit Proben von Carlsdal (**Tabelle III, No. 22, 23 und 24**), welche denselben Zusatz von Kohle enthalten, wie das obige Material, aber gewalzt worden sind, so findet sich, dass letztere weniger Festigkeit und Steifheit, aber dreimal so grosse Ausdehnbarkeit besitzen. Um die Einwirkungen der verschiedenen Zubereitungsmethoden genügend zu beleuchten, wurde die Stange **No. 23** von Carlsdal, die vorher zerbrochen worden, bei einem niedrigen Wärmegrade (ungefähr 570° F.) auf einer Länge von ungefähr 7 Dec.-Zollen so lange gehämmert, bis an dieser Stelle der Querschnitt auf die Hälfte reducirt war; dann wurde dieser Theil abgefeilt und eingetheilt, die Stange in die Presse eingespannt und zerbrochen. Zuerst brach sie bei einem Gewichte von 128731 Pfd. pro Quadratzoll, dehnte sich aber wenig mehr als 1 Proc. (der Zolltheil, in welchem der Bruch erfolgt ist, ausgeschlossen) während der Querschnitt des Bruches 0,74 des ursprünglichen Querschnittes betrug. Das längere der beiden Bruchstücke wurde dann rothglühend gemacht, und zum Abkühlen hingelegt, hierauf mittelst der gusseisernen Schellen in der Presse befestigt, und abermals zerbrochen. Nun erfolgte der Bruch bei einer Belastung von 65825 Pfd. pro Quadratzoll des Querschnittes, welchen die Stange nach dem vorhergehenden Experimente bot, und dabei war die Bruchfläche nur 0,41 dieses Querschnittes. Die Ausdehnung auf eine Länge von 4 Zoll, die Bruchstelle eingeschlossen, betrug 22,7 Proc.,

während beim vorhergehenden Bruche die Ausdehnung auf dieselbe Länge und voraussetzlich nach derselben Art und Weise, nur 2,7 Proc. betrug. Eine Eisenstange von Lesjöfors, in einem englischen Holzkohlenofen zubereitet, hielt nach Erhitzung und langsamer Abkühlung nur 44603 Pfd. pro Quadratzoll aus. Als aber ihr Querschnitt durch kaltes Hämmern ungefähr auf die Hälfte reducirt und ihre Oberfläche durch Feilen geglättet worden war, konnte sie erst bei einer Belastung von 82892 Pfd. pro Quadratzoll zerrissen werden. Die Ausdehnung betrug jedoch, mit Ausschluss der Bruchstelle, nicht mehr als 0,5 Proc., obgleich die Bruchfläche nur 59 Proc. des mittleren Querschnittes des vor dem Bruche abgefeilten Theils betrug.

19. Mittlere Ausdehnung zwischen der Elasticitätsgränze und dem Bruche für eine Gewichtszunahme von 6862 Pfd. pro Quadratzoll.

Während die mechanische Behandlung, welche Stahl und Eisen unterworfen worden sind, sowie die Temperatur, bei welcher die Bearbeitung vor sich ging, einen bedeutenden Einfluss, nicht nur auf die Lage der Elasticitätsgränze und auf die absolute Festigkeit des Metalls, sondern auch auf seine Ausdehnbarkeit, ausüben, scheinen diese Vorgänge auch, wenn gleich in geringerem Maasse, denjenigen Betrag der Ausdehnung zu afficiren, welcher als Mittelweg zwischen Elasticitätsgränze und Bruch betrachtet, durch einen gewissen Gewichtszuwachs, wie z. B. 6862 Pfd. pro Quadratzoll, hervorgebracht wird. Diese Ausdehnung ist bis zu einem gewissen Grade charakteristisch für die chemischen Eigenschaften des Materials, wie aus Folgendem zu ersehen:

	Procentsatz.
Bessemer Stahl und sogen. Uchatiusstahl 1,85	
bis 1,0 Proc. Kohle enthaltend	0,3 bis 0,9
Gepuddelter Stahl, Kohle 0,7 Proc.	1 „ 2
Uchatius- und anderer Gussstahl mit 0,69 bis	
0,61 Proc. Kohle	1,2 „ 2,1
Bessemer Stahl und Eisen mit 0,42 bis 0,33	
Proc. Kohle	1,9 „ 4

	Procentsatz.
Kaltbrüchiges Eisen von Åryd	0,8 „ 3,4
Eisen von Dudley mit viel Schlacken- und Phosphor-Gehalt und einem specifischen Gewicht von ungefähr 7,5	2,5 „ 4,2
Gepuddeltes Eisen von Middlesbró-on-Tees, specifisches Gewicht 7,65	3,4 „ 5,9
Gepuddeltes Eisen von Surahammar (N. N. P.) und von Low Moor, etwas freier von Schlacke mit specifischen Gewichten von 7,77 bis 7,8	6,1 „ 9,5
„Lancashire Iron“ von Lesjöfors, specifisches Gewicht von 7,84	7,3 „ 7,8

Warum die mittleren Ausdehnungen der Bessemer Stahl-Stangen (auf **Tabelle III** mit **7** und **8** beziffert) so gering sind, kann vielleicht auf folgende Weise erklärt werden:

Diese Stangen waren, wie überhaupt geschmiedete, meistens, sehr ungleichmässig gestreckt, und so war denn bei **No. 8** die ganze Ausdehnung für **2** Fuss **1,85** Proc., während sie für den Theil auf dem der Bruch erfolgte, auf die Länge eines Fusses **11,5** Proc. betrug. Wahrscheinlich bezieht sich nun die bestimmte Elasticitätsgränze, wie auch der zerreissende Zug, nur auf den letzterwähnten Theil der Stange; und berechnen wir die mittlere Ausdehnung dieses einflussigen Abschnittes für eine Gewichtszunahme von **6862** Pfd., so finden wir für dieselbe = **2,13** oder nahezu denselben Betrag, wie bei der Stange **No. 30**, welche denselben Bestandtheil Kohle enthielt, aber gewalzt worden war. Sollte man vollständige Uebereinstimmung zwischen Stangen von derselben chemischen Zusammensetzung erwarten dürfen, so müssten sie augenscheinlich auch gleichartig in der Struktur, ganz genau gleichmässig behandelt worden und von gleichem Querschnitte sein. Ohne Zweifel sind gussstählerne Stangen für derartige Vergleichen am besten geeignet, besonders solche, welche gewalzt und dann mit grosser Genauigkeit abgefeilt worden sind.

Es sind auch Experimente über Zugfestigkeit mit Stangen ausgeführt worden (jedoch nicht in der Tabelle eingeschaltet), welche vor der Streckung mehr oder weniger erhitzt worden waren, um die Wirkung der mechanischen Behandlung,

welche die Stange vorher erlitten hatte, aufzuheben. Hierbei stellte sich heraus, was sich übrigens *a priori* hätte vorhergesagen lassen, dass die oben erwähnte Ausdehnung etwas geringer war, wenn die Erhitzung an allen Stellen der Stange gleichmässig gewirkt hatte. Zuweilen wurde aber auch die Ausdehnung vergrössert, ein Resultat, welches nicht erreicht worden wäre, wenn die Ausdehnung in irgend beträchtlicher Weise von der mechanischen Behandlung des Materials abhängig gewesen wäre. Aus den Kurven auf den **Tafeln III** und **IV** lässt sich schliessen, dass der Procentsatz der Ausdehnung, die durch einen gewissen Zuwachs des Gewichtes verursacht wurde, welches proportional ist der Tangente des Winkels; den die Kurve mit der Ordinatenachse macht, kleiner sein muss, wenn der Bruch der Stange durch einen unsichtbaren Riss im Gefüge erfolgt ist. Auch lässt sich beobachten, innerhalb welcher Gränzen dieselbe Ausdehnung variirt, je nachdem der Bruch schneller oder langsamer bewirkt wurde

20. Elasticitätsgränze, absolute Festigkeit und Ausdehnbarkeit von dem Kohlenzusatz abhängig.

Vergleicht man die absolute Festigkeit, Lage der Elasticitätsgränze und Ausdehnbarkeit verschiedener Stahl- und Eisensorten, so findet man, dass die härtesten Sorten die grösste absolute Festigkeit und Steifheit besitzen und dass es des grössten Gewichtes bedarf, um sie ihrer Elasticitätsgränze nahe zu bringen, dass sie aber die geringste Ausdehnbarkeit besitzen, während andererseits absolute Festigkeit und Steifheit nachlassen, je geringer die Härte wird, wogegen die Ausdehnbarkeit zunimmt. So stellte sich bei den Experimenten mit den Stahl- und Eisenproben von Surahammar heraus, dass die Elasticitätsgränze des Eisens durchschnittlich mit einem Gewichte von 30789 Pfd. erreicht war, und der Bruch bei 48720 Pfd. pro Quadratzoll erfolgte, während beim härtesten Stahle, No. 1, die Elasticitätsgränze einem Gewichte von 43919 Pfd. entsprach und der erste Bruch bei ungefähr 87147 Pfd. pro Quadratzoll erfolgte, wobei in allen Fällen

das Mittel gezogen ist. Bei dem Stahle, gez. N. P. 1., bezifferte sich die absolute Festigkeit im Durchschnitte auf 108419 Pfd., und war also mehr denn doppelt so gross, als die des gepuddelten Eisens.

Andererseits dehnte sich aber auch das Eisen beim Bruche durchschnittlich um 2,3 Zoll oder fast 20 Proc. pro Fuss aus, während gepuddelter Stahl No. 1 nicht mehr als 6 Proc. und die härtesten und stärksten Sorten N. P. 1. und B. 1 nur ungefähr 4 Proc. hergaben.

Um das Verhältniss, welches bei den Proben von Surahammar zwischen der Stärke des Metalls und der Beimischung von chemisch gebundener Kohle obwaltet, zu verdeutlichen, folgt hier eine kleine Tabelle, welche die Resultate der Experimente mit einigen dieser Stangen giebt. Die Kohle wurde auf der Bergakademie zu Fahlun durch Professor Eggertz' Spectral-Analyse bestimmt, welche den Betrag der chemisch gebundenen Kohle auf nahezu 1 Proc. angiebt.⁵⁾

Zeichen des Stahles oder Eisens.	Procentsatz der Kohle	Zugkraft pro Quadratzoll des Querschnittes.
N. P. 1.	0,8	111781
N. P. 2.	0,7	84265
B. 1.	0,8	90921
B. 2.	0,55	86991
B. 3.	0,5	71090
B. Eisen.	0,2	48102
N. H. 1.	0,7	83441
N. H. 2.	0,7	83716
P. 1.	0,6	73492
P. 2.	0,6	82344
G. 2.	0,5	78432
G. 2.	0,7	86049

5) Der Uebersetzer in's Englische (C. Sandberg) hat neuerdings die Genauigkeit dieser Methode kennen gelernt. Bei Bestimmung (durch Verbrennung in Sauerstoff) der Beimischung von Kohle in drei Arten von Bessemer Stahl, welche resp 0,25 Proc., 0,5 Proc.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass sowohl beim Puddelstahl wie beim Eisen, wenn jedes aus demselben Rohmaterial gepuddelt, auf dieselbe Weise bearbeitet und mit gleicher Sorgfalt behandelt worden ist, die absolute Festigkeit mit dem Zusatze von Kohle wächst, welcher jedoch 0,8 Proc. nicht überschreiten darf.

Auf dieselbe Weise nimmt beim Bessemer- und Uchatiusstahl durch Zuwachs an Kohle, bis diese 1,2 Proc. erreicht, die absolute Festigkeit zu (wie aus **Tabelle III** zu ersehen), während die Ausdehnbarkeit abnimmt, wobei die Festigkeit mehr als 137240 Pfund pro Quadratzoll beträgt. Wird die Beimischung von Kohle bis auf 1,5 Proc. erhöht, so nimmt sowohl absolute Festigkeit als auch Ausdehnbarkeit ab, und zwar ist dies ganz besonders beim Bessemer Stahl der Fall.

Ohne Zweifel würde es ein nicht uninteressantes Experiment gewesen sein, die Menge der in diesen Stangen enthaltenen Kohle genauer zu bestimmen, doch war der Verfasser leider nicht in der Lage, diese Nachforschungen anstellen zu können, auch bietet der Gegenstand trotz der Fortschritte der modernen Chemie, solche Schwierigkeiten, dass es fraglich ist, ob diese Untersuchungen, im Falle sie unternommen worden wären, zu einem endgültigen Resultate geführt haben würden.

21. Einfluss des Phosphors und der Schlacke auf das Eisen.

Von all den verschiedenen geprüften Eisensorten sind diejenigen, welche, nach dem Lesjöfors-Eisen den geringsten Beisatz von Kohle (nämlich Cleveland und Åryd) aber 0,24 bis 0,29 Proc. Phosphor enthielten, als absolut am festesten befunden worden, mit einziger Ausnahme des Bessemer Eisens. Man dürfte annehmen, dass dieses Ergebniss daher rührt, dass phosphorreiche Eisenarten bei niedriger Temperatur gewalzt worden seien, wo die Elasticitätsgränze hoch liegt. Dies ist

und 1 Proc. enthielten, und schon vorher durch den Eggertz'schen Process analysirt worden waren, fand er, dass die auf beide Arten erhaltenen Resultate, in keinem Falle um mehr als um 0,1 Proc. differirten.

indess augenscheinlich nicht der einzige Grund, denn gewisse Eisenstangen wurden vor der Streckung bis zur Rothgluth erhitzt, und es zeigte sich, dass weder die Elasticitätsgränze, noch die absolute Festigkeit geringer waren, als bei andern Stangen. Die Festigkeit einer Stange von Äryd-Eisen war, nachdem sie weissglühend gemacht worden war, auf 47690 Pfd. gesunken, aber die Elasticitätsgränze lag noch bei 38084 Pfd.; und bei einer Stange von Cleveland-Eisen schien weder die Elasticitätsgränze, noch die absolute Festigkeit durch die Weissgluth in irgend welcher Weise vermindert worden zu sein. (Vergl. **Tabelle IV, No. 12** und **36.**)

In Bezug auf die Ausdehnbarkeit und andere Eigenschaften, welche sich auf Streckbarkeit und Zähigkeit gründen, ergaben die oben erwähnten Eisenarten einige sehr wichtige Differenzen. Cleveland-Eisen zeigte stets einen hohen Grad von Ausdehnbarkeit, und selbst nachdem sie weissglühend gewesen war, liess sich die erkaltete, 0,625 Zoll starke Stange umlegen und ihre Enden zusammenbringen, ohne einen Bruch zu ezigen. Bei Äryd-Eisen belief sich die mittlere Ausdehnung dreier Stangen nicht höher als auf 6,7 Proc. und eine Stange, welche vor der Streckung weissglühend gemacht worden war, verlängerte sich nur um 1 Proc. Eine kalte Stange dieses Eisens von 0,46 Zoll Stärke, liess sich auf keine engere Kurve zusammenbiegen, als auf eine mit ungefähr 1,6 Zoll Radius bis zur Axe der Stange. Cleveland-Eisen, welches einen ziemlich bedeutenden Zusatz von Schlacke enthält, und ein specifisches Gewicht von ungefähr 7,65 hatte, zeigte stets einen stark faserigen Bruch, mit Ausnahme einer einzigen Stange, welche durch zu lange Einwirkung von Weissglühhitze verbrannt worden war; wogegen das Äryd-Eisen fast keine Schlacke enthielt, ein specifisches Gewicht von 7,76 hatte und einen krystallinischen, vollständig faserfreien Bruch zeigte.

Das Dudley-Eisen enthält nicht weniger als 0,35 Proc. Phosphor und so viel Schlacke, dass, wenn der Versuch gemacht wurde, es auszuhämmern, das Metall in grösserem oder geringerem Maasse der Länge nach ausbrach und sich daher für gewöhnliche Schmiedearbeiten ungeeignet erwies. Diese Eisensorte zeigte demnach geringere absolute Festigkeit als

die beiden oben erwähnten, aber mit Ausnahme einer einzigen Stange nicht weniger als verschiedene ausserordentlich reine und zähe Sorten schwedischen Eisens. Obgleich sein Bruch faserig war, konnte es doch nicht wie das Cleveland-Eisen ohne Bruch kalt zusammengelegt werden. Dagegen war es bei Weitem biegsamer als das Åryd-Eisen, welches weniger Phosphor enthielt, und war auch nach erfolgter Weissglühung ausdehnbarer als die letzterwähnte Eisenart. (Vergl. **Tabelle IV, No. 16.**)

Die in **Tabelle IV** mit **21** bis **25** bezeichneten Probestangen, welche aus einer englischen Schiene gefeilt, dann geschmiedet und gewalzt worden waren, enthielten fast 0,25 Proc. Phosphor, aber sehr wenig Schlacke, insoweit man dies nach dem Aussehen des Bruches beurtheilen kann. Sie hatten ein specifisches Gewicht von 7,6, waren ausserordentlich kaltbrüchig und zeigten krystallinische Bruchflächen. Aber gegen das Zerbrechen waren sie offenbar nicht schwächer als anderes Eisen, welches sehr wenig Kohle und gar keinen Phosphor enthält. Wahrscheinlich waren sie unmittelbar vor dem letzten Walzen sehr erhitzt und nicht genügend gestreckt worden, um die faserige Struktur sich entwickeln zu lassen.

Aus dem Verhalten des phosphorreichen Eisens, wie in den obigen Experimenten erwähnt worden, geht hervor, dass Phosphor wie Kohle die Elasticitätsgränze und den absoluten Zusammenhalt innerhalb der einzelnen Krystalltheile erhöht (woher die grössere Härte des Phosphor enthaltenden Eisens) dass er aber die Kohäsion zwischen den einzelnen Krystallen nicht vermehrt. Wie bekannt, macht Phosphor das Eisen leichter schmelzbar, und begünstigt dessen Bestreben, zu krystallisiren, wenn es erhitzt ist. Wenn daher phosphorreiches Eisen durch Einwirkung grosser Hitze eine grobkörnig krystallinische Textur angenommen hat, und ist nachher nicht genügend gestreckt worden, um die beisammenliegenden Krystalle eng aneinander zu drücken, und um es so auszudehnen, dass es faserig wird, so kann sich dasselbe im Gebrauche als hart erweisen, obgleich es bei der Streckung weder ausdehnbar noch fest ist. Denn es ist hauptsächlich die Kohäsion zwischen den Krystallen des Eisens, welche von Wichtigkeit ist, und

nicht diejenige zwischen den Molekulan innerhalb der einzelnen Krystalle. Daher wird der Bruch einer solchen Eisenart grobkörnig-krystallinisch ausfallen.

Um auf das Cleveland- und Dudley-Eisen zurückzukommen, so schrieb sich ohne Zweifel die unerwartete Zähigkeit dieser Stangen, die eine so grosse Menge Phosphor enthielten, daher, dass sie, nach der letzten Erhitzung, eine Streckung durch Walzen erlitten hatten, sowie denn auch die Entwicklung einer faserigen Struktur wahrscheinlich durch die Beimischung von Schlacke begünstigt worden war.

Bei den Cleveland-Eisenproben belief sich in einer derselben (**Tabelle IV, No. 12**) der Zusatz von Schlacke auf 2,25 Proc., und in einer andern (**Tabelle IV, No. 10**) auf 3 Proc., während er sich bei Dudley-Eisen auf ebenfalls 3 Proc. erhob. Doch enthielt das letztere, nach dem Ansehen und Verhalten beider Sorten beim Schmieden zu urtheilen, im Allgemeinen mehr Schlacke als das erstere. Augenscheinlich hat die Schlacke das Bestreben, der Zusammenfügung der einzelnen krystallinischen Organe einer phosphorreichen Eisenart entgegenzutreten, und daher erklärt sich der Umstand, dass die oben erwähnten Eisenarten, selbst nachdem sie Weissglühhitze ausgesetzt worden waren, nicht kaltbrüchig wurden. Es lassen sich noch mehrere ähnliche Beispiele davon anführen, dass eine Substanz, mit andern zusammengebracht, obgleich sie sich nicht chemisch mit ihnen verbindet, doch ihr Bestreben zu krystallisiren verringert. Werden die Krystalle bis in faserige Form ausgedehnt, so wird die Elasticitätsgränze auch herabgedrückt.

Demzufolge kann die Beimischung von Schlacke auf ein phosphorreiches Eisen nur günstig wirken, da sie dessen Neigung, kaltbrüchig zu werden, bedeutend vermindert; aber es ist eine bekannte Thatsache, dass die Asche das Eisen unfähig macht, bearbeitet zu werden, ohne zu spalten. Von den verschiedenen geprüften englischen Eisensorten erwies sich nur das Low-Moor-Eisen als für Schmiedearbeiten geeignet.

Kaltbrüchiges, aber schlackenfreies Eisen, wie z. B. das von Äryd, kann, wenn es erhitzt wird, ganz gut gestaucht, ausgeplattet oder irgendwie anders umgeformt werden, ohne

zu spalten, doch ist es dann nicht zum Gebrauche zu empfehlen, wenn grosse Zähigkeit vonnöthen ist.

22. Einfluss des Phosphors auf Stahl.

Unsere Bekanntschaft mit dem Einflusse des Phosphors auf Stahl, ist bei weitem unvollständiger als die mit demjenigen auf das Eisen. Jedoch darf wohl mit gutem Rechte angenommen werden, dass die Anwesenheit des Phosphors auf den Stahl schädlicher wirke, als auf das Eisen, und dass, mit Zunahme dieses Stoffes im Stahle, dieser bei wiederholter Erhitzung immer mehr von seinen charakteristischen Eigenschaften einbüsst, so dass er endlich gar nicht mehr gehärtet werden kann. Der durch seine Experimente mit Stahl bekannte französische Chemiker Caron erklärt diesen Umstand durch die Annahme, dass der Phosphor, wie auch Kiesel und Schwefel, die Kohle an der chemischen Verbindung mit dem Eisen hindere. Auch ist es Thatsache, dass diejenigen Stahlsorten, welche für ihre Fähigkeit, mehrere dicht aufeinander folgende Erhitzungen ohne bemerkbare Veränderungen aushalten zu können, bekannt sind, wie z. B. der aus Dannemora-Eisen bereitete Stahl, gerade die sind, welche den geringsten Theil Phosphor enthalten. Auch kennt der Verfasser kein verbürgtes Beispiel, dass in einer als gut anerkannten Stahlart mehr als 0,04 Proc. Phosphor enthalten gewesen seien.

23. Einfluss der Härtung auf die Elasticitätsgränze, Ausdehnbarkeit und absolute Festigkeit von Stahl und Eisen.

Es ist ein bekanntes Faktum, dass durch Rothglühhitze und darauf folgende Abkühlung im Wasser nicht nur die Elasticitätsgränze des Stahls, sondern auch, obwohl in geringem Maasse, die des weichen Eisens erhöht werde. Dies wird auch durch die folgenden Experimente dargelegt. Eine 12 Fuss lange Stange von gepuddeltem Motala-Eisen wurde in zwei Hälften getheilt, deren eine in ihrem ursprünglichen Zustande, die andere nach erfolgter Härtung in Wasser, geprüft wurde. Im ersteren Falle (Tabelle IV, No. 30) wurde die

Elasticitätsgränze bei 25889 Pfd. pro Quadratzoll, im letzteren bei 27996 Pfd., (also um 2607 Pfd. höher) erreicht. In ähnlicher Weise wurde eine Stange Cleveland-Eisen in zwei Theile getheilt, die beide, um sie möglichst gleicher Temperatur-Einwirkung auszusetzen, zusammen erhitzt wurden. Dann wurde die eine Hälfte langsam in warmem Kohlenstaube, die andere schnell in Wasser abgekühlt. Im ersteren Falle fand sich die Elasticitätsgränze bei 27653 Pfd. pro Quadratzoll, im letzteren bei 29437 Pfd. Ferner wurde bei einer Stange Surahammar-Eisen, gez. *G*, nach Erhitzung und darauf folgender langsamer Abkühlung die Elasticitätsgränze bei 26350 Pfd., nach abermaliger Erhitzung aber und darauf folgender schneller Abkühlung in Wasser bei 27928 Pfd. gefunden. Eine Stange weichen Lesjöfors-Eisens, welches in einem englischen Holzkohlenofen zubereitet war, und nur 0,08 Proc. Kohle enthielt, hatte ihre Elasticitätsgränze bei ähnlicher Behandlung von 18527 Pfd. auf 31839 Pfd. erhöht, doch fiel dieselbe bei nochmaliger Erhitzung und langsamer Abkühlung wieder auf ungefähr 20586 Pfd.

Eine Reihe von Experimenten, die angestellt worden waren, um die Einwirkung der Härtung auf die absolute Festigkeit und Ausdehnbarkeit von Stahl und Eisen festzustellen, führte deswegen zu keinem Resultate, weil dieselben nicht eher unternommen wurden, als bis die andern Nachforschungen ihr Ende fast erreicht hatten, sodass leider weder die genügende Anzahl zur Prüfung tauglicher Stangen, noch die zur Durchführung nöthige Zeit vorhanden war. Der Verfasser kann daher nur bedauern, dass seine Erörterungen nach dieser Richtung hin nicht so instruktiv ausfielen, als er hoffen durfte. Die zu diesen Experimenten verwandten Stangen, von denen viele schon mehrere Prüfungen, resp. Brüche erlitten hatten, waren meistens 0,8 bis 1 Fuss lang und in der Mitte auf eine Länge von 0,625 bis 4,6 Zoll quadratisch gefeilt, so dass sie stets auf der angefeilten Stelle brachen.

Die Resultate dieser Experimente, welche in den Hauptpunkten mit denen, welche der englische Experimentator

Kirkaldy⁶⁾ erhielt, übereinstimmen, sind in **Tabelle VI** gegeben, und zeigen, dass die absolute Festigkeit sowohl des Stahls als auch des Eisens durch Härtung erhöht wird, vorausgesetzt, dass die dabei angewandte Methode dem Material angepasst ist. Dass in Wasser gehärteter und nicht angelassener Stahl sehr spröde wird, rührt zweifelsohne von der durch den Härtungsprocess herbeigeführten ungleichmässigen Zusammenziehung her, welche eine so starke Spannung zwischen den einzelnen Theilchen verursacht, dass eine geringe Kraft von aussen hinreicht, deren Kohäsion zu überwinden.

24. Der Elasticitätsmodul; verschiedene Bestimmungen seines Werthes.

In Betreff des Werthes des Elasticitätsmoduls, oder der Bemessung der elastischen Kraft des Stahls und Eisens und deren Varietäten sind die Resultate der verschiedenen Autoren sehr von einander abweichend ausgefallen. So schwankt nach Redtenbacher⁷⁾ der Elasticitätsmodul des Eisens, in englischen Pfunden und pro englischen Quadratzoll als Einheit ausgedrückt, zwischen 21272200 und 35545160 und der des Stahles zwischen 28477300 und 34104140. Reuleaux⁸⁾ jedoch giebt seinen Werth für stangen- oder drahtförmiges Eisen auf 28477300, für dünnes Schwarzblech auf 34154240, für Gussstahl auf 42681640, für andere Stahlarten jedoch nur auf 28477300 an. Die Resultate der Experimente über Zugfestigkeit von Lagerhjelms, Wertheims und Hodgkinsons zeigen keine so bedeutende Differenzen.

Neuerdings ist der Elasticitätsmodul für gewisse Stahl- und Eisenarten von Kupffer⁹⁾ bestimmt worden, nicht jedoch mittelst Traktion, sondern theils durch Flexion, theils durch Transversal-Vibrationen. Nach diesen Experimenten hat der

6) „*Experiments on Wrought-iron and Steel*“ by David Kirkaldy. Glasgow 1862, pag. 93.

7) „*Der Maschinenbau*“ 1. Theil, pag. 4.

8) „*Der Constructeur*“, pag. 4.

9) „*Recherches Expérimentales sur l'élasticité des Métaux etc.*“ par A. J. Kupffer. St. Petersburg, 1860.

Elasticitätsmodul die folgenden Werthe für die verschiedenen dabei bemerkten Stahl- und Eisenarten in Pfunden pro Quadratzoll:

Material.	Specificsches Gewicht.	Elasticitätsmodul.
Eisenplatten in der Richtung der Walzung	7,6763	25065886
Eisenplatten in der Richtung rechtwinklig zu der, in welcher sie gewalzt worden waren	7,6775	27235278
Gewalztes englisches Bandeisen	7,6432	28463576
Geschmiedetes englisches Stab-Eisen	7,6411	28779228
Geschmiedetes schwedisches „	7,8315	30357488
Weicher Gussstahl	7,8420	30343764
Stahl von Remscheid (besonders zur Herstellung von Feilen passend)	7,8187	30102624

Kupffer fand auch, dass, wenn die Härtung durch Hitze bei hartem Stahl vermieden worden ist, der Elasticitätsmodul wenn der Stahl sehr hart ist, um nahezu 6,5 Proc. erhöht werden kann. In den meisten Handbüchern für praktische Mechaniker, wie z. B. Morins, ist im Gegentheile gesagt, dass bei Gussstahl der Elasticitätsmodul nach der Härtung fast 50 Proc. grösser ist als vorher, und daraus würde dann der Schluss zu ziehen sein, dass die Härtung den Elasticitätsmodul erhöht.

Coulomb, Tredgold und Lagerhjelm halten andererseits nach ihren Experimenten die Behauptung aufrecht, dass die Härtung keinen Einfluss auf den Werth des Elasticitätsmoduls habe.

Es würde in bestimmten Fällen, wie z. B. in Bezug auf den Gussstahl, dessen Elasticitätsmodul nach einigen Autoren 50 Proc. höher ist, als der anderer Stahl- und Eisensorten (sodass also Gussstahlartikel nur $\frac{2}{3}$ so oft zerbrechen würden, als ähnliche Artikel von denselben Dimensionen, aber aus anderem Materiale gefertigt), von grösster praktischer Wichtigkeit sein, zwischen diesen widerstreitenden Behauptungen

eine endgültige Entscheidung zu treffen. Von diesen Betrachtungen geleitet, unternahm der Verfasser, sowohl durch Dehnung als durch Biegung, die Bestimmung des Werthes des Elasticitätsmoduls für solche Stahl- und Eisensorten, von denen er passende Probestangen in Händen hatte.

25. Formel für die Berechnung des Elasticitätsmoduls.

Die Formel für die Berechnung des Elasticitätsmoduls lässt sich auf folgende Weise leicht erhalten. L und L' bezeichnen die Längen einer Stange, wenn sie durch die Gewichte P und P' gestreckt wird, welche letztere so gewählt sind, dass sie eine bemerkbare permanente Ausdehnung nicht hervorbringen; l bezeichnet die Länge der Stange, wenn die betreffenden Kräfte aufgehört haben zu wirken, a den Querschnitt der Stange und E den Elasticitätsmodul des Materials. Dann ist:

$$L - l = \frac{P l}{a E} \text{ und}$$

$$L' - l = \frac{P' l}{a E},$$

$$\text{daher } L' - L = \frac{P' - P}{a E} l$$

$$\text{und folglich auch } E = \frac{P' - P}{L' - L} \cdot \frac{l}{a}.$$

Die letztere Formel für die Bestimmung des Elasticitätsmoduls ist die gebräuchlichere, weil die Stange, wenn sie gestreckt wird, immer etwas gebogen ist, und deshalb $L' - L$ leichter gemessen werden kann, als $L - l$ oder $L' - l$. Die Länge $L' - L$ bis auf 1 oder 2 Proc. annähernd zu bestimmen, ist jedoch keine leichte Aufgabe, und zwar ganz besonders für weiches Eisen, dessen Elasticitätsgränze durch Dehnung oder andere mechanische Behandlung erhöht worden ist. Denn bei einer 5 Fuss langen Stange dieses Eisens, kann $L' - L$ nicht grösser sein, als ungefähr 0,023 Zoll, oder höchstens drei Theile unserer Skala. In diesem Falle macht die geringe Biegung der Stange von 0,012 Zoll in der Ausdehnung schon den beträchtlichen Unterschied von mehr

als 2 Proc. Ferner kann hierzu noch ein Lesefehler (wie oben erwähnt) von ungefähr 0,05 eines Skalentheils kommen, so dass schon im Ganzen ein Fehler von mehr als 1,5 Proc. gemacht worden wäre. Auch können noch geringere Fehler ihren Grund im Temperaturwechsel haben. Daher hat der Verfasser, bei Bestimmung des Elasticitätsmoduls, die Probe-
 stange in einem auf **Taf. VII, Fig. 1 bis 4** abgebildeten und später genauer zu beschreibenden Apparate eingefügt. Bei dieser Vorrichtung war die Stange mit Wasser ganz umgeben, wodurch eine fast konstante Temperatur derselben erzielt wurde, deren etwaiger Wechsel aber auch stets aufs Genaueste bestimmt werden konnte. Ferner wurde in einem Index, der an dem Apparate angebracht war, das Mittel gegeben, zu beobachten, ob die Stange so eingespannt sei, dass die Zugkraft, so viel überhaupt möglich, centrisch und ohne Biegung einwirken musste, und dass jede noch so geringe Abweichung in der Krümmung der Stange, welche durch verschiedene Kräfte herbeigeführt wurde, gemessen werden konnte.

26. Beschreibung des zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls benutzten Apparates.

Dieser Apparat besteht, der Hauptsache nach, aus einer Messingröhre *A* (**Taf. VII, Fig. 1 und 2**), durch deren Centrum die Stange gesteckt und in der sie durch zwei kurze durchbohrte messingerne Cylinder *aa*, die in den kurzen Röhren *bb* stecken, festgehalten wird. Diese sind so fest eingeklemmt, dass ein Spielraum durchaus nicht bemerklich ist, und damit die Stange mit möglichst geringer Reibung sich ausdehnen und zusammenziehen kann, ist sie polirt. Ueber die Röhren *bb* und um die Stange sind zwei sehr enge Kautschukringe gelegt und an derselben durch Gummischläuche befestigt, wodurch der Austritt des Wassers aus der Röhre verhindert, die freie Bewegung der Stange aber nicht im Geringsten gestört wird. War eine Probestange vorschriftsmässig eingespannt, so genügte schon eine Belastung von 2 bis 5 Pfund, um die Reibung zu überwinden, und da sich die Stange während der Dehnung nur in einem der beiden Ringe *aa* zu bewegen

braucht, kann der Widerstand, welcher der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Stange durch die Ringe entgegengesetzt wird, nur die Hälfte des oben erwähnten Gewichts betragen, und dieser Faktor ist zu gering, als dass er in Frage kommen könnte. Die beiden Skalen sind auf die gewöhnliche Weise ausserhalb der Kautschukröhren befestigt.

Der zur Bestimmung der Veränderungen in der Krümmung dienende Apparat ist auf **Taf. VII, Fig. 3** und **4** gegeben. Er besteht aus zwei kleinen Stahlstäben dd , deren Richtungen mit denen der Axen der Röhren ee zusammenfallen, die rechtwinklig auf einander stehen, mit dem Horizonte aber einen Winkel von 45 Grad bilden. Die oberen zugespitzten Enden von dd berühren die Indices ff . Die Stäbe dd stehen lose auf einer gut gefeilten Messingplatte auf, welche zu einem rechten Winkel zusammengebogen und auf die Probestange festgelöthet ist, und deren Seiten mit dem Horizonte Winkel von 45° bilden, sodass sie also rechtwinklig zu dd liegen. Die Stäbe dd können unmittelbar auf der Probestange aufstehen, wenn dieselbe ursprünglich rund war und zum Zwecke der Bestimmung der Elasticitätsgränze bei verschiedenen Temperaturen in der Mitte quadratisch abgefeilt worden ist. In diesem Falle muss die Stange so eingelegt werden, dass die Flächen des quadratischen Theils rechtwinklig zu dd zu liegen kommen, wie in **Fig. 4** gezeigt ist. Jeder der beiden Zeiger ff ist um eine horizontale Axe g beweglich und wird mittelst einer kleinen Sprungfeder gezwungen, mit ihrem kürzeren ausgeplatteten Ende die obere Spitze von d zu berühren, sodass, da die Stäbe dd jeder zur Axe der Stange transversalen Bewegung des mittleren Theils derselben folgen müssen, diese Bewegungen mittelst der Zeiger FF genau gemessen werden können. Die eingetheilten Bogen hh sind an den Stäben ii befestigt, und können mittelst der Stellschrauben kk näher oder weiter geschraubt werden, sodass es thunlich ist, beim Beginn des Experiments, oder zu jeder beliebigen andern Zeit, die Zeiger auf 0 der Gradeintheilung zu stellen. Diese Eintheilung des Bogens ist so eingerichtet, dass sie den Betrag der Elevation oder Depression der Stäbe dd direkt anzeigt. Jeder Theil der Skala ist 0,5 Linie lang und

entspricht einer Bewegung von 0,1 Linie der beiden Stäbe. Damit die beiden Stäbe $d d$ sich frei auf und ab bewegen können, sind sie nicht durch Liderung befestigt, sondern werden durch dünne Kautschukmembrane, welche über die Röhren gebunden sind, und welche die Stäbe durchsetzen, gehalten.

27. Korrektion der gemessenen elastischen Ausdehnungen.

Der Betrag des durch eine geringe Krümmung der Stange verursachten Fehlers kann mit hinreichender Genauigkeit auf folgende Weise geschätzt werden.

Wir haben oben gesehen, dass wir bei den Bedingungen, unter welchen die vorliegenden Experimente angestellt wurden, die wahre Länge des zwischen den beiden fixen Punkten der Skalen befindlichen, ursprünglich 5 Fuss langen Raumes, einer leicht gebogenen Stange von 0,46 Zoll Stärke dadurch erhielten, dass wir zu der gemessenen Länge eine Grösse =

$$0,0576 h \sin \alpha + 0,004 h^2$$

hinzuaddirten. In diesem Ausdrucke bedeutet h , wie schon oben, die Elevation oder Depression der Krümmung des Theils der Stangenaxe, welcher zwischen den beiden End-Marken liegt, und α bezeichnet den Winkel, welchen die Ebene der Axe mit dem Horizonte bildet.

Vermittelst des eben beschriebenen Apparates können wir nun bestimmen, in welcher Weise die Längensaxe der Stange ihre Lage in Bezug auf zwei rechtwinklig zu einander liegende Axen, die in Ebenen liegen, welche senkrecht durch die Mittellinie der Stange gehen, verändert. Diese beiden Axen bilden mit dem Horizonte je einen Winkel von 45° und schneiden sich in der geraden Linie, welche die Mittellinie mit den Messinghaltern $a a$ verbindet, oder mit andern Worten in der Längensaxe der Probestange, wenn dieselbe vollständig gerade ist. Auf **Taf. II, Fig. 4**, welche die Ebene dieser Axen darstellt, sind dieselben mit X und Y bezeichnet. B ist der Mittelpunkt der Axe der Probestange; A ist die Projektion der Punkte der gebogenen Axe, welche, wenn die Stange gerade ist, senkrecht unter dem Null- oder Fixirpunkte der

Skalen liegen; O endlich ist die Projektion des Mittelpunktes des Messinghalters aa . Wird die Stange in einen flachen Kreisbogen, welcher einem sehr kleinen Winkel entspricht, gebogen, und ist die ursprüngliche Entfernung zwischen den Nullpunkten der Skalen = 500 Linien, und liegen diese Punkte ungefähr 10 Linien ausserhalb der Mittel der kurzen Röhren $b b$, welche aa umgeben, so ist AB oder die Höhe der Kurve der Axe (h) annähernd

$$= BO \left(\frac{500}{480} \right)^2 = 1,085 BO.$$

Wenn x_0 und y_0 die Ordinaten des Punktes B bezüglich der Axen X und Y bezeichnen, so ist, weil

$$BO \cdot \sin \alpha = BC = DE + BF = \frac{x_0 + y_0}{\sqrt{2}}$$

$$h \sin \alpha = \frac{1,085}{\sqrt{2}} (x_0 + y_0)$$

Ferner

$$h^2 = (1,085)^2 \cdot BO^2 = 1,177 (x_0^2 + y_0^2)$$

Werden nun diese Werthe in den oben erhaltenen Ausdruck für die Differenz der wirklichen und der gemessenen Länge eingeschaltet und die erstere mit L und die letztere mit l_0 bezeichnet, so erhalten wir:

$$L - l_0 = \frac{0,0576 \cdot 1,085}{\sqrt{2}} (x_0 + y_0) + 1,177 : 0,004 (x_0^2 + y_0^2)$$

und

$$L = l_0 + 0,0442 (x_0 + y_0) + 0,0047 (x_0^2 + y_0^2)$$

Bei einer neuen Messung unter andern Bedingungen, wobei folglich auch die Krümmung eine andere ist, mag L' die wirkliche Länge der Stange, l_1 deren gemessene Länge, x_1 und y_1 die neuen Koordinaten des Mittels der Axe bezeichnen; wir erhalten dann in ähnlicher Weise:

$$L' = l_1 + 0,0442 (x_1 + y_1) + 0,0047 (x_1^2 + y_1^2)$$

Zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls ist es nur nöthig, die Differenz zwischen den beiden wirklichen Längen in beiden

Fällen zu kennen, welche wir folgendermaassen erhalten können:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,0442 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) + 0,0047 (x_1^2 + y_1^2 - x_0^2 - y_0^2).$$

Da der eingetheilte Bogen im Allgemeinen zu Anfang des Experimentes so stehen muss, dass die Zeiger *ff* auf die Nullpunkte weisen, obgleich die Stange nicht ganz gerade ist, so folgt hieraus, dass der Index nicht den absoluten Werth der Koordinaten anzeigen kann, sondern nur deren Differenz oder $x_1 - x_0$, $y_1 - y_0$, u. s. w. Wird während der Messung die Stange durch eine mässige, angemessene Kraft ausgestreckt, so sind die Koordinaten stets sehr niedrig (bei unsern Experimenten betragen sie selten mehr als 0,3 Linien) und aus diesem Grunde kann der zweite Ausdruck, welcher die Differenz zwischen den Quadraten der Koordinaten enthält, vernachlässigt werden.

Es ist somit:¹⁰⁾

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,0442 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0).$$

Wechselt während der beiden Messungen die Temperatur, so muss auch diese korrigirt werden. Bezeichnen, wir die Temperaturen bei den Messungen l_1 und l_0 mit t_1 und t_0 und den Expansionskoeffizienten mit δ , so erhalten wir, mit Rücksicht auf Aenderungen der Krümmung sowohl, als auch die Temperatur die rektificirten Differenzen zwischen den wirklichen Längen der Stangen in beiden Fällen, folgendermassen:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,0442 (x_1 + y_1 - x_0 + y_0) - 500 \delta (t_1 - t_0).$$

Bei Benutzung dieser Formel, welche $L' - L$ in Linien ausgedrückt giebt, müssen wir auch die Werthe von l_1 , l_0 ,

10) Bei Entwicklung dieser Formel wurde angenommen, dass die Stangen alle in einem Kreisbogen gebogen seien, doch kann diese Annahme im Allgemeinen nicht für die auf **Tabelle VIII** gegebenen und in der Mitte angefeilten Stangen aufrecht erhalten werden. Die Formel ist aber dennoch auf dieselben angewandt worden, die Stangen aber mit der grössten Sorgfalt in den Apparat eingespannt, sodass die Wechsel in den Krümmungen möglichst klein wurden. D. Verf.

x_1, y_1, x_0 und y_0 in Linien ausdrücken. Da sich aber unsere Maasse l_1 und l_0 in Theilen der Skala darstellten, und es sich auch als bequemer erwies, die Angaben der Zeiger ff in Zehntellinien abzunehmen, so wurde die zuletzt gegebene Formel zur Erleichterung der Rechnung folgendermaassen umgestaltet:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,064 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 7248 \delta (t_1 - t_0)$$

worin $L' - L$ in Theilen der Skala enthalten ist, wenn wir für $l_1 - l_0$ die Differenzen zwischen den gemessenen Längen in diesen Skalatheilen, und für x_1, y_1, x_0 und y_0 die Angaben der Zeiger ff in Graden der Bögen $h h$, d. i. in Zehntellinien, einsetzen. Es ist noch zu bemerken, dass in dieser Formel x_1, y_1, x_0 und y positiv gesetzt werden müssen, wenn sie grösser als Null, negativ, wenn sie kleiner als Null sind. Ist bei der gewöhnlichen Temperatur der Expansions-Koeffizient für Eisen = 0,0000118 und für Stahl = 0,00001079, so wird die Formel für Eisen:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,064 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0,085 (t_1 - t_0)$$

und für Stahl:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,064 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0,078 (t_1 - t_0).$$

28. Messung des Querschnittes.

Die Aufmerksamkeit, welche man auf Vermeidung der durch inkorrekte Bestimmung des Werthes der elastischen Ausdehnung verursachten Fehler verwendet, muss man in nicht minderem Maasse auch auf die Verhütung von Fehlern bei Messung des Querschnittes der Stange, anwenden, denn bei Bestimmung des Zugwiderstands und der Länge der Stangen, dürfen die Fehler den geringen Bruch von 1 Proc. nicht erreichen. Deshalb hat der Verfasser bei diesen Experimenten dieselben Stangen benutzt, welche zur Bestimmung des Verhältnisses, in welchem die Lage der Elasticitätsgränze von der Temperatur abhängig ist, gedient hatten, deren jede in der Mitte auf eine Länge von ungefähr 4,5 Fuss sehr akkurat abgefeilt worden

war. Einige Stangen wurden auch mit verwendet, welche, ebenfalls mit grosser Sorgfalt quadratisch gefeilt, später bei Biegungsexperimenten benutzt wurden. Der Elasticitätsmodul wurde auch für einige runde Stangen bestimmt, welche aber nur soviel abgefeilt waren, als sich zur Entfernung der durch die Glühung gebildeten Kruste und der hauptsächlichsten Unregelmässigkeiten der Oberfläche nöthig erwies. Es fand sich, dass die Messungen des Querschnittes selbst dieser Stangen, nie mehr als 1 Proc. von einander abwichen, obgleich dieselben keineswegs eine so genaue Messung zulassen, als die der quadratischen Stangen. Wir wollen jetzt nachweisen, dass der Elasticitätsmodul für ein und dieselbe Stange, mehrere Einheiten pro Hundert variiren kann, je nach der Verschiedenheit der mechanischen Behandlung, welche dieselbe vorher erfahren hat. Der Querschnitt wurde bei jedem halben Fuss vermittelt der oben erwähnten Mikrometerschraube gemessen, und wurden auch die nöthigen Korrekturen wegen Differenzen in den Gängen bei verschiedenen Stellungen der Schraube vorgenommen. Dieselben Schrauben wurden auch zur Genauigkeitskontrolle der Bearbeitung der Probestangen benutzt.

29. Wahrscheinliche Fehler in den für den Elasticitätsmodul erhaltenen Werthen.

Trotz des Verfassers Bestreben, den höchsten Grad von Genauigkeit bei diesen Experimenten zu erreichen, ist es dennoch möglich, dass ein geringer Procentsatz der für den Elasticitätsmodul erhaltenen Werthe, zum Wenigsten bei weichem Eisen, inkorrekt ist. Da aber die gegebenen Resultate die mittleren Werthe aus 3, ja öfter sogar aus 10 Experimentreihen sind, und da bei jeder Längenmessung wenigstens zwei mikroskopische Beobachtungen und Ablesungen gemacht wurden, so folgt hieraus, dass die wahrscheinlichen Fehler nur sehr gering sein können. Jedenfalls werden die Fehler, welche sich in unsere Beobachtungen eingeschlichen haben, wesentlich praktische Nachtheile nicht nach sich ziehen.¹⁾

1) Da Wertheim zu seinen Experimenten Draht benutzte, der nach seinen Angaben nur einen Durchmesser von 0,1 bis 0,5 Linien

30. Beispiel einer Bestimmung des Elasticitätsmoduls.

Um die präzise Methode, nach welcher die Experimente geleitet wurden, mehr zu verdeutlichen, und auch um den Grad der Uebereinstimmung, welche zwischen den verschiedenen Beobachtungen stattfand, zu zeigen, sind hier die Resultate für die Stangen **No. 2** und **10**, **Tabelle IX** gegeben.

Auf jeder Stange waren 11 feine Zeichen in einer Entfernung von je 0,5 Fuss von einander eingerissen, und dann wurden vermittelst der Mikrometerschraube die Querschnitte in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen an diesen

hatte, so war er nur in geringem Maasse Fehlern, welche aus dessen Krümmung resultirten, ausgesetzt, doch war er andererseits nicht im Stande, den Querschnitt desselben genau zu messen, ausser durch Berechnung aus dessen specifischem Gewichte. Da die Drähte zwischen den Punkten, zwischen welchen die elastische Ausdehnung gemessen wurde, nur 2,5 Fuss lang waren, und diese Messungen vermittelst eines Kathometers angestellt wurden, so variirten nicht selten die von ihm aus seinen Experimenten über Zugfestigkeit berechneten Werthe für den Elasticitätsmodul, eines und desselben Stahl- oder Eisendrahtes bis zu einem Betrage von 10 Proc. und mehr.

Zweifellos lässt sich der Elasticitätsmodul durch Biegung genauer bestimmen als durch Streckung, da der Betrag der Abweichung bedeutend grösser, also auch genauer messbar sein kann, als die elastische Ausdehnung durch Streckung. Nimmt man aber an, dass der so erhaltene Elasticitätsmodul ein genaues Maass der elastischen Kraft bei der Streckung sei, so wird dadurch zugegeben, dass diese Kraft gleich der elastischen Kraft bei Zusammendrückung sei, während nach Hodgkinson die letztere für Eisen ungefähr $\frac{2}{3}$ der ersteren ist. Ferner werden hierbei durch verschiedene Züge nach verschiedenen Richtungen, und durch den Formwechsel des Querschnittes, welche durch Biegung verursacht wird, andere Kräfte entwickelt, oder die Bedingungen ändern sich auf irgend eine andere Weise, so dass die Rechnungen nach der allgemeinen Formel (was auch einige Autoren bestätigen) ungewiss wird. In einem Falle erhielt Wertheim den Elasticitätsmodul für Stahldraht vermittelst Transversalvibration um 20 Proc. höher als vermittelst Dehnung. Kupffer's Bestimmungen des Elasticitätsmoduls durch Biegung und Transversalvibration stimmen unter einander sehr gut überein, aber, obgleich bei seinen Experimenten der Betrag der Abweichung durch Spiegel, welche an den Enden der Probestangen befestigt

Styffe, Eisen und Stahl.

Punkten genommen. Diese Messungen gaben die folgenden, in Schraubenumdrehungen ausgedrückten Dimensionen:

Stange Nr. 2.		Stange No. 10.	
Rechtwinkliger Querschnitt.		Runder Querschnitt.	
1. Seite.	2. Seite.	1. Durchmesser.	2. Durchmesser.
8,06	8,24	12,96	12,65
8,04	8,23	12,90	12,60
8,07	8,22	12,94	12,61
8,08	8,23	12,94	12,69
8,07	8,22	12,97	12,60
8,09	8,22	12,94	12,63
8,07	8,22	12,80	12,60
8,08	8,23	12,98	12,62
8,06	8,22	12,95	12,65
8,08	8,22	12,85	12,66
8,06	8,22	12,85	12,60

D u r c h s c h n i t t e :

8,069		8,2245		12,916		12,628
-------	--	--------	--	--------	--	--------

Um diese Masse auf Linien zu reduciren, muss man durch eine besondere Bestimmung den Werth suchen, welcher in jedem einzelnen Falle einzusetzen ist, und da dieser Werth für Stange No. 2 = 0,33652 ist, und für Stange No. 10 = 0,33719, so ergibt sich der Querschnitt für erstere = 7,515

waren, und Messung der Neigung, welche diese Spiegel während der verschiedenen Positionen der Stange annahmen, sehr genau gemessen wurde, können seine Resultate doch Fehler bis zu $1\frac{1}{2}$ Proc. enthalten, da seine Stangen nur 0,8 bis 1,7 Linien dick waren. Die dritte Potenz dieser Dicke tritt mit in die Formel zur Berechnung des Elasticitätsmoduls durch Biegung, ein, und daher auch ein Fehler von 0,00058 Zoll, was für die dünneren Stangen mehr als $\frac{1}{2}$ Proc. ihrer Stärke beträgt und einen Fehler von $1\frac{1}{2}$ Proc. und mehr im Elasticitätsmodul verursacht. Dass ein Fehler bei Messung dieser Grösse begangen worden ist, kann aus der Vergleichung zwischen der gemessenen Stärke und der aus dem specifischen Gewichte berechneten ersehen werden.

D. Verf.

Quadratlinien und für letztere, welche vielleicht elliptisch sein mag = 14,565.

Bei zwei neuen Messungen der letzterwähnten Stange, in zwei andern Richtungen zeigten die einander rechtwinklig schneidenden Durchmesser geringere Differenzen, und da der aus der ersten berechnete Querschnitt 14,529 und der aus der zweiten 14,434 ergab, so findet sich ein Querschnitt dieser Stange von 14,509.

Die Stangen wurden mehreremale hintereinander gestreckt, **No. 2** zuerst mit einem Gewichte von 50 Pfd. in der Schale des Winkelhebels, und dann mit dem Winkelhebel allein, aber unter Anwendung eines Gegengewichtes von 50 Pfd.; **No. 10** wurde erst mit 60 Pfd. in der Schale des Hebels, und dann mit dem Hebel allein gestreckt. Die hierbei erhaltenen Resultate sind in den folgenden Tabellen gegeben.

Nummer der Stange.	Temperatur der Stange.			Angaben der Zeiger <i>ff.</i>	
	An einem Ende	In der Mitte	Am an- dern Ende	<i>x</i>	<i>y</i>
	100theil Thermom.	100theil Thermom.	100theil Thermom.	Zehntel- Linien.	Zehntel- Linien.
No 2 (in Tab. IX.)	13,2	13,3	13,4	+ 0,1	+ 0,1
„	13,2	13,4	13,4	+ 1,2	+ 1,2
„	13,2	13,4	13,4	+ 0,1	+ 0,1
„	13,2	13,4	13,5	+ 1,3	+ 1,2
„	13,3	13,5	13,5	+ 0,1	+ 0,2
„	13,3	13,5	13,5	+ 1,2	+ 1,3
„	13,3	13,5	13,5	+ 0,1	+ 0,1
„	13,3	13,5	13,5	+ 1,2	+ 1,3
„	13,3	13,5	13,6	0	+ 0,1
„	13,3	13,5	13,6	+ 1,2	+ 1,2
No. 10 (in Tab. IX.)	11,3	11,8	12,0	0	0
„	11,5	11,9	12,1	— 0,4	+ 1,0
„	11,7	12,0	12,2	+ 0,2	+ 0,6
„	11,8	12,0	12,2	— 0,4	+ 1,1
„	11,9	12,1	12,3	+ 0,2	+ 0,9
„	12,0	12,1	12,4	— 0,3	+ 1,3
„	12,1	12,2	12,5	+ 0,6	+ 0,9
„	12,2	12,2	12,6	— 0,3	+ 1,5

Totalgewicht auf dem langen Arme des Hebels.	Stellung der Maassskala. ²⁾		Gemessene Differenzen zwischen den Ausdehnun- gen = $l_1 - l_0$.	Korri- girt Diffe- renzen zwischen den Aus- dehnungen = $L' - L$.
Pfunde.		Durchmesser.	Theile der Skala.	Theile der Skala.
203,48	{ 104,317 }	104,322	{ 7,002	6,8937
47,51	{ 104,327 }			
203,48	{ 97,317 }	97,320	{ 7,018	6,9026
47,51	{ 97,323 }			
203,48	{ 104,353 }	104,350	{ 7,010	6,8978
47,51	{ 104,347 }			
203,48	{ 97,337 }	97,332	{ 6,9885	6,8712
47,51	{ 97,327 }			
203,48	{ 104,363 }	104,3615	{ 6,9955	6,8782
47,51	{ 104,360 }			
203,48	{ 97,350 }	97,3515	{ 6,9885	6,8712
47,51	{ 97,353 }			
203,48	{ 104,350 }	104,3535	{ 6,9955	6,8782
47,51	{ 104,357 }			
203,48	{ 97,370 }	97,365	{ 6,9955	6,8782
47,51	{ 97,360 }			
203,48	{ 104,347 }	104,357	{ 6,9955	6,8782
47,51	{ 104,367 }			
203,48	{ 97,360 }	97,3615	{ 6,9955	6,8782
47,51	{ 97,363 }			
Durchschnitt: 6,8887				
213,48	{ 30,740 }	30,738	{ 2,516	2,488
97,51	{ 30,737 }			
213,48	{ 28,217 }	28,222	{ 2,497	2,505
97,51	{ 28,227 }			
213,48	{ 30,753 }	30,763	{ 2,493	2,503
97,51	{ 30,773 }			
213,48	{ 28,260 }	28,266	{ 2,508	2,493
97,51	{ 28,273 }			
213,48	{ 30,813 }	30,821	{ 2,508	2,493
97,51	{ 30,830 }			
213,48	{ 28,327 }	28,328	{ 2,508	2,493
97,51	{ 28,330 }			
213,48	{ 30,870 }	30,871	{ 2,508	2,493
97,51	{ 30,873 }			
92,51	{ 28,366 }	39,363	{ 2,508	2,493
92,51	{ 28,360 }			
Durchschnitt: 2,4972				

2) Es ist ganz gleich, welcher Theilstrich der Maassskala zu Anfang unter das entsprechende Haarkreuz des Mikroskopes gestellt

Da die Stange **No. 2** ungefähr 2,7 Linien stark war, und die Ebenen der Skalen nur 2,88 Linien über der Axe der Stange lagen, so wird die Formel für die Korrektur der Differenzen zwischen den gemessenen Ausdehnungen folgende Gestalt annehmen:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,051 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0,078 (t_1 - t_0).$$

Bei **No. 10** jedoch lag die Ebene der Skalen, wie dies bei unsern Experimenten gewöhnlich der Fall war, ungefähr 3,6 Linien über der Axe, und daher findet die weiter oben gegebene Korrekturformel auf diese Stange Anwendung, nämlich:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,064 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0,085 (t_1 - t_0).$$

Bei Bestimmung der Differenz zwischen den mittleren Temperaturen einer Stange ($t_1 - t_0$) bei zwei aufeinanderfolgenden Streckungen, haben wir stets aus auf der Hand liegenden Gründen die Angaben des mittelsten Thermometers zweimal den Werth der beiden andern gegeben.

Wird nun die Korrekturformel z. B. auf die, bei zweimaliger Streckung der Stange **No. 2** gemessenen Differenzen der Ausdehnungen angewendet, wie sie in obiger Tabelle gegeben sind, so erhalten wir:

$$l_1 - l_0 = 7,002; x_1 + y_1 - x_0 - y_0 = 0,1 + 0,1 - 1,2 - 1,2 = - 2,2 \text{ und } t_1 - t_0 = \frac{0,1 \cdot 2}{4} = 0,05.$$

Und werden diese Werthe in der Formel eingesetzt, so wird:

$$L' - L = 7,002 - 0,051 \cdot 2,2 + 0,078 \cdot 0,05 = 6,8937.$$

Wird der so erhaltene Werth für $L' - L$ in die Elasticitätsmodulformel eingesetzt, so erhalten wir für die Stahlstange **No. 2**:

$$E = \frac{155,97 \cdot 20,084 \cdot 500}{6,8887 \cdot 0,06898 \cdot 7,515} = 438630$$

oder in runder Summe = 439000 oder 30124180 Pfd. pro Quadratzoll.

wird, doch müssen die Fixpunkte der Skalen die vorgeschriebene Entfernung von 5 Fuss von einander haben.

Ebenso für Eisenstange **No. 10**:

$$E = 466000 \text{ oder } 31976920 \text{ Pfd. pro Quadratzoll.}$$

Bei Berechnung des Elasticitätsmoduls für die Stangen **No. 3, 8, 9, 14, 16** und **17** in **Tabelle IX**, welche in der Mitte abgefeilt worden waren, ändert sich die Formel auf folgende Weise:

$$E = \frac{P' - P}{L' - L} \cdot \left(\frac{l}{a} + \frac{l'}{a'} + \frac{l''}{a''} \right)$$

P, P', L und L' haben in dieser Formel dieselbe Bedeutung wie oben, aber l bezeichnet die Länge und a den mittleren Querschnitt des abgefeilten Theiles, l' und l'' die Längen und a' und a'' die mittleren Querschnitte derjenigen kurzen Theile, welche nicht abgefeilt worden waren.

31. Gründe der Beeinträchtigung des Elasticitätsmoduls.

Es muss bei unsern Nachforschungen auf die Abnahme des Elasticitätsmoduls grosse Aufmerksamkeit verwendet werden, wenn das Material eine permanente Setzung erreicht hat.

Obleich der Elasticitätsmodul im Allgemeinen mit dem specifischen Gewichte abnimmt, und das specifische Gewicht durch Streckung verringert wird, kann doch die oben erwähnte Abnahme des Elasticitätsmoduls, welche bei einigen Experimenten bis 10 Proc. stieg, durch die Verminderung des specifischen Gewichtes allein, nicht genügend erklärt werden, denn gewöhnlich war der Elasticitätsmodul beim Stahl am grössten, dessen Dichtigkeit, wie aus **Tabelle VII** zu ersehen, bei der Streckung am wenigsten verringert wird. Auch ist die Abnahme des Elasticitätsmoduls bis zu einem gewissen Grade nur temporär. Würde der Elasticitätsmodul einer Stange, unmittelbar nachdem dieselbe eine permanente Ausdehnung von z. B. 5 Proc. angenommen hat, bestimmt, und würde dann das Experiment, nachdem sie mehrere Tage bei Seite gesetzt worden war, erneuert, so würde sich finden, dass die Stange einen Theil der Elasticität, welche sie durch die Streckung verloren hatte, wiedergewonnen hat, und diese Wiederzunahme der Elasticität lässt sich durch Hitze noch bedeutend beschleunigen. Von den zahlreichen Experimenten,

bei welchen wir Gelegenheit hatten, dies Verhalten zu beobachten, wird es genügen, die, welche mit **No. 3, Tabelle IX** ange- stellt wurde, herauszugreifen, nachdem dieselbe mässiger Roth- glühhitze ausgesetzt und in der Mitte glatt gefeilt worden war. Ihre Dimensionen waren, mit Benutzung der in der Formel für E gegebenen Buchstaben folgende: $l = 468,4$ Linien, $l' = 17,6$ Linien, $l'' = 14,0$ Linien, $a = 7,609$ Quadratlinien, $a' = 10,746$ Quadratlinien, $a'' = 12,494$ Quadratlinien.

Nachdem die Stange bei 60° F. nach einander durch 170 Pfd. in der Schale des Hebels und dann durch den Hebel allein gestreckt worden war, ergaben sich die korrigirten Differenzen zwischen den elastischen Ausdehnungen $L_1 - L$ wie folgt:

Theile der Skala.	Durchschnitt.
= 9,195	} 9,215
9,238	
9,213	

Nach einer permanenten Ausdehnung des abgefeilten Theiles von 0,72 Proc. bei derselben Temperatur und mit denselben Gewichten $L' - L . . . =$

10,267	} 10,256
10,240	
10,260	

Nachdem die Stange ungefähr eine Stunde lang in einem Paraffinbade bei 266° F. erhitzt und langsam bis 66° F. abgekühlt worden war, $L' - L . =$

9,427	} 9,411
9,415	
9,390	

Da die elastische Kraft in den runden Theilen der Stangen bei allen Experimenten dieselbe gewesen sein muss, weil dieselben eine permanente Ausdehnung durchaus nicht annehmen, und da viele Experimente gezeigt haben, dass eine Temperaturerhöhung von 266° auf 302° F. den Elasticitätsmodul eines Materials, welches nicht gestreckt worden ist, nicht merklich erhöht, so fand sich, dass die Differenzen zwischen den elastischen Ausdehnungen der quadratischen Theile der Stangen, durchschnittlich wie folgt waren:

Vor der Streckung . .	8,8198	Theile der Skala.
Nach der Streckung . .	9,8608	„ „ „
Nach der Erhitzung . .	9,0158	„ „ „

Berechnen wir nun aus diesen Data den Werth des Elasticitätsmoduls an diesem Theile der Stange unter den eben erwähnten Bedingungen, und nehmen an, dass die vor der zweiten Reihe von Experimenten erreichte permanente Ausdehnung von 3,44 Linien den Querschnitt um

$$\frac{468,4}{471,84} \cdot 7,609$$

verringert, (eine Annahme, welche auf Stahl bezogen, um so gegründeter ist, als dessen specifisches Gewicht wie oben bemerkt, durch Streckung nur sehr wenig afficirt wird) so gestaltet sich der Elasticitätsmodul nach der Streckung wie folgt:

Vor der Streckung . .	34104140	Pfd. pro Quadratzoll.
Nach der Streckung . .	28600816	„ „ „
Nach der Erhitzung . .	31276996	„ „ „

Es ist demnach die Elasticität des Materials durch die Streckung um 9,24 Proc. vermindert worden, von welchem Betrage jedoch 8,53 Proc. durch Erhitzung wiedergenommen wurden. Als ferner die Stange ungefähr eine Stunde lang in einem Paraffinbade von 269° F. erhitzt und abermals geprüft wurde, stellte sich heraus, dass der Elasticitätsmodul derselbe wie vor dieser letzten Erhöhung der Temperatur geworden.

Beim Beginnen unserer Untersuchungen hatten wir keinen Grund, anzunehmen, dass die Elasticität eine messbare Veränderung durch eine unbedeutende permanente Verlängerung erleiden würde, und noch weniger durften wir voraussetzen, dass wenn eine Stange gestreckt worden ist, der Elasticitätsmodul nicht unverändert bleiben werde, wenn die Stange in Ruhe gelassen würde. Deshalb erhielten die Stangen, ehe sie zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls gestreckt wurden, eine schwache permanente Ausdehnung, um leichte Krümmungen auszuziehen und die Füglichkeit zu geben, grössere Gewichte bei Bestimmung des Elasticitätsmoduls anzuwenden. Man erhielt so grössere elastische Ausdehnungen, welche leichter ge-

messen werden konnten. Seit wir jedoch beobachtet haben, welchen Einfluss geringe Streckung auf den Werth des Elasticitätsmoduls ausübt, haben wir nie eine Stange mit einem grösseren Gewichte gestreckt, als nachher zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls verwandt werden sollte. Es war jedoch nicht immer möglich, kleine messbare Ausdehnungen zu vermeiden, und da dieselben also nicht ohne Einfluss auf den Werth des Moduls sind, haben wir sie in **Tabelle IX** mit aufgeführt.

Wie schon bemerkt, kann der durch Streckung verursachte Verlust an Elasticität in hohem Maasse durch mässige Erhitzung ersetzt werden, und in der That kann der Modul, wenn die Hitze bis zum Rothglühen erhöht wird, wieder so gross werden, als er vor der Streckung war, ja noch grösser.³⁾ Dies kann man an den Stangen **No. 2, 3, 4, 7, 13, 16** und **18** in **Tabelle IX** sehen, welche alle vor der Erhitzung zu andern Experimenten benutzt worden waren, und in grösserem oder geringerem Maasse über ihre Elasticitätsgränze hinaus, gestreckt wurden. Hieraus lässt sich schliessen, dass nicht allein durch Strecken, sondern auch durch Schmieden, Walzen, oder irgend eine andere gewaltsame Behandlung, wenn sie nicht bei zu hoher Temperatur vorgenommen wird, der Elasticitätsmodul des Stahles und Eisens verringert wird.

Aus der letzterwähnten Tabelle lässt sich auch ersehen, dass der Elasticitätsmodul gewöhnlich mit dem specifischen Gewichte zunimmt, worauf schon Lagerhjelm aufmerksam gemacht hat. Ferner, dass er für verschiedene Stahl- und Eisensorten nicht sehr verschieden ist, dass er von der Kohlenbeimischung nicht besonders beeinflusst wird, aber dass sein Werth in nicht unbedeutendem Maasse vom Vorhandensein des Phosphors abhängig ist. Der niedrigste Elasticitätsmodul

3) Coulomb und Tredgold stellen beide in Abrede, dass die Rothglühhitze einen Einfluss auf den Werth des Moduls habe, und basiren dabei auf ihren eigenen Experimenten über Biegung, doch scheinen ihre Messungen der Abweichungen nicht so genau gewesen zu sein, als dass sie so leichte Differenzen, als hier in Frage stehen, hätten entdecken können.

D. Verf.

wurde bei Eisen von Åryd gefunden, welches reich an Phosphor ist, obgleich sein specifisches Gewicht ungefähr mit dem der besseren Arten gepudelten Eisens, welche geprüft wurden, gleich hoch ist.

Bezüglich des Einflusses der Härtung auf den Elasticitätsmodul, waren wir nicht im Stande, irgendwelche Experimente anzustellen, da es uns nicht gelang, von allen zu unserer Disposition stehenden Stahlsorten, auch nur eine Stange von der nöthigen Länge zu härten, ohne dass sie für die Benutzung zu unseren Experimenten zu krumm geworden wäre. Wir mussten uns daher auf die Prüfung der Einwirkung der Härtung auf die Elasticität bei der Biegung beschränken. Es ist dies ein Punkt von bei weitem grösserer praktischer Bedeutung, und wir werden daher bei Beschreibung der Biegungs-Experimente hierauf zurückkommen.

32. Resumé der Resultate.

Nach dem oben gegebenen Berichte über unsere Experimente in Betreff der Dehnbarkeit bei gewöhnlichen Temperaturen, erscheint es wünschenswerth, einen kurzen Ueberblick über die erreichten Resultate zu erhalten. Diese Resultate, welche zum Theile nur die anderer Beobachter bestätigen, sind folgende:

- 1) Die Elasticitätsgränze in dem Sinne, in welchem dieser Ausdruck gewöhnlich gebraucht wird, oder wie er von Wertheim und anderen Beobachtern definirt worden ist, kann nicht als Anhalt bei der Bestimmung der verschiedenen Eigenschaften der Metalle dienen, weil dieselbe nicht mit der genügenden Genauigkeit zu ermitteln ist. Dagegen kann ein leicht bestimmbares Maass der Gränze, bei welcher die erste permanente Ausdehnung von praktischer Bedeutung bei Eisen und Stahl bemerklich wird, erhalten werden, wenn man nach unserer oben pag. 30 gegebenen neuen Definition der Elasticitätsgränze dieselbe betrachtet.
- 2) Der Betrag der bei der Streckung von Stahl und Eisen erreichten permanenten Ausdehnung ist nicht allein von

der chemischen Zusammensetzung des Materials, sondern auch von der mechanischen Behandlung, welcher dasselbe unterworfen worden ist, von der Regelmässigkeit seines Querschnittes, und von der Art und Weise, wie die Dehnung erfolgte, abhängig. Diese Ausdehnungen nehmen im Allgemeinen schneller zu, als der Ueberschuss der Gewichte über dasjenige, welches der Elasticitätsgränze entspricht; doch lässt sich annehmen, dass sie diesem Ueberschuss annähernd proportional sind.

- 3) Die Elasticitätsgränze, die absolute Festigkeit und die Ausdehnbarkeit sind bei Stahl und Eisen in hohem Maasse von der mechanischen Behandlung, welche das Material erfahren, und von der Temperatur, welcher es entweder während oder nach der Bearbeitung ausgesetzt worden ist, abhängig. Durch kaltes Hämmern, Walzen und andere Arten der mechanischen Behandlung, welche bei niedriger Temperatur vorgenommen werden, wird die Elasticitätsgränze und absolute Festigkeit erhöht, während hierdurch die Ausdehnbarkeit verringert wird. Erhitzung hat in diesen Fällen die entgegengesetzte Wirkung.
- 4) Wird die Beimischung von Kohle im Stahl und Eisen unter übrigens gleichbleibenden Umständen vergrössert, so wird die Elasticitätsgränze und absolute Festigkeit bis zu einem gewissen Maasse erhöht, doch die Ausdehnbarkeit verringert. Die absolute Festigkeit, welche bei gutem weichen Eisen in runder Summe auf 48034 Pfd. oder 21,44 Tonnen pro Quadratzoll angegeben werden kann, scheint ihr Maximum in Stahl, welcher ungefähr 1,2 Proc. Kohle enthält, zu erreichen, und beträgt für guten Guss- oder Bessemer Stahl ungefähr 137240 Pfd. oder 61,26 Tonnen pro Quadratzoll.
- 5) Eine geringe Beimischung vom Phosphor zum Eisen, erhöht im Allgemeinen die Elasticitätsgränze und absolute Festigkeit, folglich auch die Härte des Materials, verringert aber zugleich dessen Ausdehnbarkeit, vorausgesetzt, dass das Eisen während seiner Zubereitung in dem

Maasse gestreckt worden ist, dass es bei langsamer Zerreiſung einen sehnigen Bruch zeigt. Wird jedoch Schlacke beigemischt (welche das Eisen stets ungesund und nach der Erhitzung schwer zu behandeln macht, die Entwicklung eines sehnigen Bruchs jedoch begünstigt), so wird Eisen, welches ungefähr 0,25 Proc. Phosphor enthält, in den Stand gesetzt, fast dieselbe Ausdehnbarkeit anzunehmen, wie anderes, welches nur Spuren von Phosphor zeigt. Auch scheint das Vorhandensein von Schlacke sich der Neigung des Eisens, bei starker Erhitzung krystallinisch und deshalb kaltbrüchig zu werden, zu widersetzen.

- 6) Durch Erhitzung und plötzliche Abkühlung (Härtung) wird nicht nur beim Stahl, sondern auch beim Eisen, die Elasticitätsgränze erhöht, die Ausdehnbarkeit dagegen vermindert. Die absolute Festigkeit nimmt ebenfalls durch Härtung zu, wenn dieselbe in einer der Qualität des Materials angemessenen Weise vorgenommen wird. Härtung im Wasser ohne darauf folgende mässige Erhitzung (Anlassen) verringert gewöhnlich die Festigkeit von hartem Stahle ziemlich bedeutend, während Härtung in Oel diesen Nachtheil nicht nach sich zieht, vorausgesetzt, dass die Hitze vorher nicht zu gross war.
- 7) Die elastische Kraft, welche Stahl und Eisen bei der Streckung zeigen, ist bei demselben Material nicht immer gleich gross, sondern hängt von der Art und Weise ab, auf welche das Material vorher behandelt worden ist. So kann durch mechanische Operationen, wie Strecken, Hämmern u. s. w. die Elasticität verringert werden, während sie durch mässige, oder besser durch Glühhitze, erhöht werden kann. Ferner variirt sie in keinem irgend beträchtlichen Maasse zwischen verschiedenen Stahlarten oder bei Stahl und gutem Eisen, fällt aber mit dem specifischen Gewichte. Das Maass dieser Kraft oder der Elasticitätsmodul kann in runder Summe auf 30879000 Pfd. pro Quadratzoll für gewalztes oder geschmiedetes Eisen von ungefähr 7,80 specifischem Gewichte mit

äusserst geringem Phosphorgehalt geschätzt werden. Für Eisenstangen aber, deren Material sehr kaltbrüchig ist, oder viel Schlacke enthält, beträgt der Elasticitätsmodul nur 27458000 Pfd. pro Quadratzoll. Andererseits kann bei Bessemer Stahl mit einem specifischen Gewichte von 7,88 der Elasticitätsmodul auf ungefähr 34310000 Pfd. pro Quadratzoll steigen.

II. Kapitel.

Verwendung der Resultate zur Bestimmung der relativen Werthe von Stahl und Eisen und deren Varietäten zu verschiedenen Zwecken.

I. Vorzug des Stahls vor Eisen zu solchen Zwecken, welche sowohl Stärke als Leichtigkeit erfordern.

Zufolge der bedeutend grösseren Stärke des Stahles und der viel höheren Lage seiner Elasticitätsgränze, können die Dimensionen der aus demselben hergestellten Objekte bei Weitem kleiner sein, als bei Verwendung von Eisen, und daher bietet die Benutzung von Stahl bei Anfertigung solcher Gegenstände, welche so leicht als möglich gemacht werden müssen, wie z. B. bewegte Theile von Maschinen, Schiffe, Betriebsmittel der Eisenbahnen etc. grosse Vorzüge vor der des Eisens. Die Verwendung von Stahl zu diesen Zwecken wird täglich allgemeiner, und in England, hauptsächlich auf den grossen Werften von Liverpool werden weder grosse Dampf- noch Segelschiffe anders als ganz oder doch zum grössten Theile aus Stahl konstruirt. Man sagt, solch ein Schiff sei um so viel leichter als ein eben so grosses und starkes von Eisen, dass es 25 Proc. grössere Ladung einnehmen könne, und ferner habe es den grossen Vortheil, weniger tief im Wasser zu gehen, wodurch es in Stand gesetzt wird, Häfen und Passagen benutzen zu können, welche für ein eisernes

Schiff mit derselben Ladung unzugänglich sein würden. Für Brücken von grosser Spannung ist Leichtigkeit von der grössten Wichtigkeit, da ein bei Weitem grösserer Theil der Festigkeit des Materials nöthig ist, um das Gewicht der Brücke selbst zu tragen, als der der grössten zufälligen Last, die sich über sie hinbewegt. In Holland ist kürzlich aus dem so theuren Gussstahle eine Brücke gebaut worden, und in Schweden wurde im Jahre 1865 eine Brücke aus gepuddeltem Stahle von Surahammar über den Göthafloss von der Eisenbahn zwischen Wenersborg und Herrljunga errichtet. Da jedoch der Elasticitätsmodul für Stahl und gutes Eisen fast derselbe ist, so folgt hieraus, dass eine Stahlbrücke in Folge der geringeren Dimensionen ihrer verschiedenen Theile, sich mehr biegen muss, als eine eiserne Brücke derselben Konstruktion und von derselben Stärke, und soll diese Schwingung vermieden werden, so muss nothwendigerweise die Konstruktion eine Aenderung erleiden.

2. Vorzug des Stahles vor Eisen zu solchen Zwecken, welche Stärke und Härte bedürfen, um Abnutzung zu widerstehen.

Der Stahl, und ganz besonders der Gussstahl, welcher mit Härte und Festigkeit eine ausserordentliche Gleichmässigkeit verbindet, verdient vor dem Eisen in allen den Fällen den Vorzug, wo nicht allein Festigkeit, sondern auch Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung erforderlich ist, wie z. B. bei Eisenbahnschienen, Axen und Radkränzen von Eisenbahnfuhrwerken, Kolbenstangen und andern Maschinentheilen. Der hohe Werth des Stahles für solche Zwecke ist schon lange anerkannt worden, und das einzige Hinderniss für seine Benutzung ist bis jetzt der hohe Preis des Gussstahles gewesen. Dieses Hinderniss ist jedoch durch Entdeckung des Bessemer Processes und durch die Verbesserungen, welche in den letzten Jahren bei der Stahlmanufaktur Eingang gefunden haben, zum grossen Theile beseitigt worden. Bessemer Stahl hat schon eine ausgebreitete Verwendung zu Eisenbahnschienen gefunden, welche in Stationen oder Haltestellen in bedeutenden Kurven und starken Steigungen und überhaupt an solchen

Stellen ausgelegt werden, wo sie einer aussergewöhnlichen Abnutzung ausgesetzt sind. Zufolge in England angestellter Experimente auf der Chalk-Farm-Station und zu Camden Town, wo der Verkehr so gross ist, dass gewöhnliche englische Schienen manchmal schon, nachdem sie nur einige Wochen gelegen hatten, ausgewechselt werden mussten, stellte es sich heraus, dass Bessemer Stahlschienen fast zwanzigmal solange der Abnutzung widerstanden, als gewöhnliche Schienen, obgleich die Fabrikanten für nicht mehr als sechsfache Dauerhaftigkeit garantirten. Wenn der Betrag der Abnutzung der gewöhnlichen Schienen nach dem Verkehre und dessen Schnelligkeit geschätzt werden kann, so ist es leicht mit Genauigkeit zu bestimmen, in welchen Fällen Bessemer Stahlschienen mit Vortheil zu benutzen sind, obgleich ihr ursprünglicher Preis fast doppelt so hoch ist, als der der gewöhnlichen.⁴⁾ Schienen, deren oberer Theil (Kopf) allein aus Bessemer Stahl besteht während das Uebrige aus Eisen ist, werden jetzt in grosser Menge fabricirt. Diese Schienen sind natürlicherweise viel billiger,

4) Dies war ohne Zweifel zu der Zeit, da der Verfasser vorliegendes Werk schrieb, der Fall, doch ist seitdem der Preis der Bessemer Stahlschienen beständig heruntergegangen, sodass er jetzt (Nov. 1868) kaum mehr als 50 Proc. über dem der Eisenschienen steht. Die Herstellungskosten der Schienen aus Bessemer Stahl sind nicht grösser als aus gepuddeltem, doch verlangt ersterer vor allen Dingen ein reineres Rohmaterial, und da dies wahrscheinlicherweise keine grössere Erhöhung des Preises der Schienen als um 25 Proc verursachen würde, so lässt sich hieraus leicht ersehen, dass, vom Standpunkte der Oekonomie aus, die Stahlschienen mehr zu empfehlen sind als eiserne. Diese Frage wurde der *Institution of Civil Engineers* vorgelegt und im März 1868 sorgfältigst diskutirt.

Zur selben Zeit geschah dies auch mit der Frage über Stahlkopf-Schienen, doch war die allgemeine Ansicht der Eisenbahn-Ingenieure gegen dieselben. Nachdem der Uebersetzer in den Dowles-Werken die Ausführung einer Bestellung für die schwedischen Staats-Eisenbahnen überwacht hatte, gab er einige Aenderungen in der Herstellungsweise an. Es wurde mit der *South-Eastern-Railway-Company* eine Verabredung getroffen, dass dieselbe einige nach diesem Principe gefertigte Schienen auf ihrer Linie probiren sollte. Das Resultat ist in dem folgenden Briefe, dat. März 1868, gegeben, dem noch hinzuzufügen ist, dass jetzt noch (November) sich die Schienen im besten Zustyffe, Eisen und Stahl.

doch auch viel schwieriger herzustellen, und würden wahrscheinlich auch der Abnutzung nicht so lange widerstehen als Schienen, die ganz aus Bessemer Stahl gemacht sind.

In Schweden werden Eisenbahn-Axen und Radreifen aus Bessemer Stahl in grosser Menge hergestellt. Betreffs der Geeignetheit des Materials für solche Zwecke sind die Ansichten doch nicht so ungetheilt günstig, wie in Bezug auf dessen Verwendung zu Schienen. Dies ist möglicherweise auch mit dem Umstande zuzuschreiben, dass Fabrikanten Artikel ausgeführt haben, die vielleicht nicht ganz frei von Gussblasen, oder zu hart waren, sodass sie nicht die genügende Ausdehnbarkeit besaßen.⁵⁾

stande befinden, indem nicht eine einzige durch Losgehen des Kopfes nachgegeben hat. Diese Schienen zeigen nach neunmonatlicher Benutzung, und es gingen binnen 24 Stunden 150 Züge über sie hinweg, nicht die mindeste Spur der Abnutzung.

Kopia.

South-Eastern-Railway Ingenieur bureau.
5. St. Thomas's Street London S. E. 31. März 1868.

Stahlkopf-Schienen.

Geehrter Herr!

Die 6 Schienen, welche Sie mir gütigst übersandt haben, sind auf der Strecke bei London-Bridge, dem zur Probe am passendsten Punkte verlegt worden. Es gereicht mir zum Vergnügen, Sie benachrichtigen zu können, dass sie aushalten und ein ausserordentlich gutes Ansehen haben. Unsere Gesellschaft hat früher einige sogenannte Stahlkopf-Schienen einer andern Firma probirt, welche sich aber nach einem Monate als verfehltes Unternehmen kennzeichneten. Ich war nicht im Geringsten erstaunt darüber, in dem Vereine ein allgemeines Verdammungsurtheil über Stahlkopf-Schienen fällen zu hören; doch ist es nicht mehr als gerecht, jetzt, nachdem die Ihrigen die Probe bereits bestanden haben, zu sagen, dass sich Hoffnung auf einen nachhaltigen Erfolg derartiger Schienen schöpfen lässt.

Ergebenst

(gez.) Peter Ashcroft.

Herrn C. P. Sandberg.

5) Dies war ohne Zweifel der Grund zu dem Misserfolge und der unregelmässigen Festigkeit des Bessemer Stahls, als sich der Process zuerst Eingang verschaffte. Nach und nach findet jedoch in beinahe allen Bessemer Stahl-Werken eine sorgfältige Assortirung

3. Wichtigkeit der Dehnbarkeit des zur Konstruktion von Maschinen und Gebäuden verwandten Materials.

Es ist ein gewisser Grad von Dehnbarkeit stets vonnöthen, nicht allein für das zu oben erwähnten Artikeln verwendete Material, sondern auch für die meisten andern Maschinen- oder Gebäudetheile, welche ohne Bruch eine geringe Formveränderung, die von der Unregelmässigkeit der Konstruktion, oder von einer aussergewöhnlichen Kraftereinwirkung herrühren mag, aushalten sollen. Die Wichtigkeit des eben Erwähnten darf in keinem Falle bei solchen Objekten aus den Augen gelassen werden, welche aus mehreren einzeln geschmiedeten Theilen bestehen, wie z. B. eiserne Brücken oder Kessel, denn diese können niemals so konstruirt werden, dass von Anfang an die Inanspruchnahme gleich vertheilt ist. Sind alsdann die zusammenliegenden Theile nicht genügend aus-

des Stahles statt, wobei die Bestimmung der Härte theils durch Schmieden, theils mittelst Eggertz' Farben-Prüfung vorgenommen wird. Dies hat zur Sicherung der Fabrikation wesentlich beigetragen, doch ist in letzter Zeit sowohl in England als auch in Steyermark beobachtet worden, dass Kiesel im Stahle die Stelle der Kohle vertreten kann, indem er ihn nämlich härtet. Dies hat wiederum einige Schwierigkeiten bei Assortirung des Stahles entstehen lassen, weil in diesen Fällen die beiden Bestimmungsmethoden verschieden sind. Die chemische Prüfung zeigt dann oft eine sehr geringe Beimischung von Kohle, während sich das Material beim Schmieden als sehr hart erweist. Dies kommt jedoch nur dann vor, wenn das verwendete Rohmaterial einen bedeutenden Zusatz von Kiesel und nur wenig Kohle enthielt, indem letztere schon wegbrannte, ehe aller Kiesel entfernt ist. Hierdurch wird bewiesen, dass beide Zusätze zugleich verschwinden, und nicht, wie man früher glaubte, erst der Kiesel und dann die Kohle. Diesem Uebelstande kann aber durch genaue Abwägung des Kiesels und der Kohle im Rohmaterial begegnet werden.

Ein anderer Grund für den Misserfolg des Bessemer Stahls ist in dem Rohmaterial für bestimmte Zwecke, wie zu Axen und Radreifen, zu suchen, indem das zu denselben verwendete nicht sorgfältiger, noch aus besseren Sorten ausgewählt war, als das, aus dem Schienen hergestellt wurden. **Tafel IX** zeigt, dass aus gutem Holzkohlen-Roheisen hergestellter Bessemer Stahl von derselben Härte wie Guss- und Puddelstahl ist, auch dieselbe Festigkeit und Ausdehnbarkeit besitzt.

C. Sandberg.

dehnbar, so können sie nach und nach zerbrochen werden, lange, ehe der Druck, für welchen die Brücke oder der Kessel berechnet war, erreicht worden ist. In solchen Fällen ist gewöhnlich die elastische Ausdehnung, welche die einzelnen Theile annehmen können, ein schlechter Anhaltepunkt.

Sind die einzelnen Theile bei ihrer Zusammenstellung an irgend einer Stelle geschwächt worden, entweder durch Entfernung eines Theiles des Materials beim Nieten oder durch Ueberhitzung eines Punktes, so darf in keinem Falle die Erwartung gehegt werden, dass ersteres an allen Punkten eine eben so grosse Ausdehnbarkeit zeigen werde, wie bei den Experimenten über Zugfestigkeit. Wissen wir jedoch, in wie weit eine Stange oder Platte an einer bestimmten Stelle durch Verminderung des Querschnittes oder durch Erhitzung geschwächt worden ist, und kennen wir die Lage der Elasticitätsgränze der andern Theile des Gegenstandes und deren absolute Festigkeit und Ausdehnung beim Bruche, so wird es leicht sein, in jedem Falle annähernd die Ausdehnung abzuschätzen, welche die Stange oder Platte, ehe sie bricht, annehmen kann. Nehmen wir z. B. eine aus weichem Stahle mit der Elasticitätsgränze bei 41172 Pfd. und dem brechenden Gewichte von 68620 Pfd. pro Quadratzoll gefertigte Strebe an, welche beim Bruche eine Ausdehnung von 10 Proc. gezeigt hat. Wird an irgend einer Stelle der Querschnitt um 20 Proc., oder die absolute Festigkeit des Materials ebensowohl durch Ueberhitzung verringert, so muss diese Strebe mit 0,8 der Kraft brechen, welche zum Zerbrechen der ungeschwächten Theile nöthig war, d. h., wenn das auf diese Theile wirkende Gewicht nahezu 54896 Pfd. pro Quadratzoll beträgt. Da aber, wie oben gezeigt, die permanente Ausdehnung fast in demselben Verhältnisse steigen wird, wie der Mehrbetrag der Gewichte über das der Elasticitätsgränze entsprechende, und da dieser Zuwachs zunächst vor dem Bruche am grössten ist, so kann die Strebe, wenn sie mit 54896 Pfd. pro Quadratzoll belastet ist, sich höchstens nur halb soviel ausdehnen, als mit 68620 Pfd. auf demselben Durchschnitte, oder 5 Proc. der ursprünglichen Länge.

Würde die absolute Festigkeit an einem Punkte um 60 Proc. vermindert, so würde die Stange unter denselben Bedingungen und wenn sie aus demselben Material gemacht ist, bei einer Krafterwirkung von 41172 Pfd. pro Quadratzoll an dem ungeschwächten Theile brechen, sodass der Bruch bei der Elasticitätsgränze, also ehe der letzterwähnte Theil eine bedeutende permanente Ausdehnung hätte annehmen können, erfolgen würde.

Wird eine Eisenplatte, deren absolute Festigkeit 48034 Pfd. ist, und deren Elasticitätsgränze bei 30879 Pfd. pro Quadratzoll liegt, derartig vernietet, dass der genietete Theil um 40 Proc. schwächer wird als das Uebrige, so ist es von geringer Bedeutung, ob die Platte grosse Ausdehnbarkeit besitzt, denn sie wird bei den Nieten brechen, wenn die Krafterwirkung auf die andern Theile 28820 Pfd. pro Quadratzoll erreicht hat, und sie kann dann nur an den Stellen der Nieten ein wenig nachgeben. Wäre jedoch die Platte aus Bessemer oder Gussstahl gewesen, welcher eine absolute Festigkeit von 68620 und die Elasticitätsgränze bei 34310 Pfd. pro Quadratzoll liegen hat, und hätte sie sich beim Bruch um 10 Proc. ausdehnen können, bei nur 0,7 Stärke der vorigen Platte, so würde, bei derselben Voraussetzung bezüglich der Stärke der Theile im Verhältniss zu den übrigen, der genietete Theil bei demselben absoluten Gewichte brechen, wie im vorigen Falle, welches 41172 Pfd. pro Quadratzoll auf den übrigen Theilen der Stahlplatte entspräche. Doch hat die letzterwähnte Platte sich um 2 Proc. ausgedehnt, d. h. um fast $\frac{1}{4}$ Zoll pro Fuss. Es würde daher die letztere Konstruktion zuverlässiger sein als die erstere, obgleich sie 30 Proc. weniger Material enthalten würde.

Da das Verhältniss zwischen dem brechenden Gewichte und der Elasticitätsgränze im Allgemeinen bei gepuddeltem Stahl und andern Arten von weichem Stahle grösser ist, als bei gepuddeltem Eisen, so würde die Verwendung dieses Stahles der Konstruktion eine grössere Veränderung der Form gestatten, als wenn weiches Eisen verwendet worden wäre. Werden jedoch diese beiden Materiale in der Form von gleichartigen (homogenen) Stangen mit einander verglichen, so zeigt der Stahl gewöhnlich geringere Ausdehnbarkeit.

Nach dem soeben mit Bezug auf die Nachtheiligkeit geschwächter Punkte bei Maschinen und andern Konstruktionen Gesagten, wird es leicht verständlich sein, wie wünschenswerth es sowohl für die Oekonomie als auch für die Sicherheit ist, dass die bei der Konstruktion von Gitter- und Kettenbrücken verwendeten Bänder und Streben an den Punkten, wo Bolzen oder Nieten durch sie gesteckt werden, mit Buckeln oder Anschwellungen versehen seien. ⁶⁾

Bei Verwendung von Stahl zu solchen Zwecken, bei welchen das Material zur ferneren Bearbeitung erhitzt werden muss, ist besondere Aufmerksamkeit auf die Verringerung der Festigkeit, welche aus dieser Erhitzung resultirt, zu verwenden. Denn diese Verringerung ist, wie durch die Experimente erwiesen worden, beim Stahle grösser als beim Eisen, und bei verschiedenen Stahlarten, je nachdem das Metall härter und reicher an Kohle ist, auch verschieden.

4. Relative Fähigkeit des Stahles und Eisens, plötzliche Stösse auszuhalten.

Einige Autoren haben behauptet, dass Stahl zufolge seiner grossen Festigkeit, für alle Fälle, wo er nur nach und nach wirkenden Krafteinwirkungen ausgesetzt ist, sehr gut, für alle diejenigen aber, wo das Material plötzliche Stösse auszuhalten hat, durchaus nicht geeignet sei. Um zu sehen, wie weit diese Behauptung richtig ist, wollen wir den Effekt eines plötzlichen Stosses in der Längs-Richtung einer an einem Ende befestigten Stange näher betrachten, und ferner dessen Wirkung in vertikaler Richtung auf eine mit beiden Enden auf soliden Stützen frei aufliegende Stange.

Bezeichnen wir mit P_1 die Kraft, welche bei successiver Streckung zum Zerreißen der Stange nöthig ist, mit a_1 die elastische Ausdehnung der Stange, mit b_1 deren permanente Ausdehnung beim Bruche, so lässt sich die mechanische Kraft, welche nöthig ist, die Stange langsam zu zerreißen oder um

6) Wie solche Stangen bearbeitet werden, ist in *Jernkontorets-Annaler* 1862 p. 316 beschrieben. D. Verf.

die Ausdehnung $a_1 + b_1$ hervorzubringen, wie leicht ersichtlich folgendermaassen ausdrücken: 7)

$$\frac{P_1 a_1}{2} + m P_1 b_1,$$

wobei m die zwischen 0,75 und 1 liegende Grösse bezeichnet.

7) Bezeichnen wir mit p die Kraft, durch welche die Stange bei successiver Streckung gedehnt wird; mit a und b die den elastischen und permanenten Ausdehnungen entsprechenden Kräfte, welche natürlicherweise mit p variiren; mit P_0 die der Elasticitätsgränze entsprechende Kraft; mit b_0 die permanente Ausdehnung der Stange bei dieser Gränze; mit A den Querschnitt der Stange; mit L deren Länge und mit E deren Elasticitätsmodul, und wenn P_1 , a_1 und b_1 dieselben Bedeutungen haben, wie oben gegeben, so ist die zum Zerbrechen der Stange nöthige mechanische Kraft, welche wir mit M bezeichnen wollen:

$$M = \int_0^{a_1} p da + \int_0^{b_1} p db.$$

Wie oben bemerkt, wird sich der Elasticitätsmodul, wenn die Stange anfängt, eine permanente Ausdehnung anzunehmen, etwas verringern, doch können wir ihn in einer approximativen Rechnung wie die vorliegende, als konstant betrachten und ihm einen mittleren Werth geben. Denn weil:

$$p = \frac{aEA}{L} \quad \text{und} \quad a_1 = \frac{P_1 L}{EA}$$

so ist auch

$$\int_0^{a_1} p da = \frac{EA}{L} \int_0^{a_1} a da = \frac{EA}{L} \cdot \frac{a_1^2}{2} = \frac{P_1 a_1}{2}.$$

Ferner:

$$\int_0^{b_1} p db = \int_0^{b_0} p db + \int_{b_0}^{b_1} p db = \int_0^{b_0} p db + (b_1 - b_0) P,$$

wobei P einen zwischen P_0 und P_1 liegenden Werth bezeichnet welcher aber immer grösser als $\frac{P_0 + P_1}{2}$ ist, weil die permanente Aus-

dehnung in grösserer Proportion zunimmt, als der Ueberschuss der Gewichte über das bei der Elasticitätsgränze. Da nun P_0 in den meisten Fällen grösser ist als $\frac{P_1}{2}$, so ist P auch grösser als 0,75 P_1 ;

und da b_1 sehr selten mehr als 0,1 Proc. beträgt und gewöhnlich viel kleiner ist, so kann man annehmen, dass $\int_0^{b_1} p db = m P_1 b_1$ folglich

auch $M = \frac{P_1 a_1}{2} + m P_1 b_1$. Die relativen Werthe der zum Zerbrechen von Stangen von verschiedenem Stahl und Eisen aber den-

Die zum Zerbrechen einer auf zwei soliden Stützen frei aufliegenden Stange nöthige mechanische Kraft, kann auch, wie durch die Flexions-Experimente gezeigt worden, durch dieselbe Formel ausgedrückt werden, wenn P_1 die Kraft bezeichnet, welche auf die Mitte der Stange wirkend, den Bruch herbeiführt, und wenn a und b die elastischen und permanenten Abweichungen der Stange, die der Kraft P_1 entsprechen, bezeichnen. Eine Stange von gutem Eisen, die auf zwei Stützen ruht, kann jedoch im Allgemeinen durch Belastung nicht zerbrochen werden, und deshalb drückt unsere Formel nur die mechanische Kraft aus, welche der Stange eine grössere oder geringere permanente Biegung b_1 giebt.

Die zum Brechen oder Dehnen verschiedener Stangen nöthige Kraft ist, wenn sie nach und nach wirkt, nicht dieselbe, wie die zum plötzlichen Zerbrechen oder Dehnen nöthige, Denn im letzteren Falle kann möglicherweise die Kraft P etwas verschieden gewesen sein,⁸⁾ und die permanenten Ausdehnungen und Abweichungen, welche dem Bruche zuvor-

selben Dimensionen, nöthigen mechanischen Kräfte, lassen sich sehr leicht durch graphische Darstellung der permanenten Ausdehnungen, die durch successive Streckung verursacht werden, in der auf den **Tafeln III und IV** gezeigten Weise, bestimmen. $\int_0^{b_1} p db$ oder die Grösse $m P_1 b_1$ entspricht in jedem Falle der durch die Ausdehnungskurve und die Koordinaten der Endpunkte der Kurve begränzten Fläche und die Grösse $\frac{P_1 a_1}{2}$ lässt sich durch ein rechtwinkliges Dreieck darstellen, dessen eine Seite die Ordinate des Endpunktes der P_1 entsprechenden Kurve, und dessen andere Seite ein Theil der Abscissen-Axe gemessen zur Rechten des Punktes, wo die erwähnte Ordinate die Abscissen-Axe schneidet und welche $= \frac{100 P_1}{E}$ ist, da der ganze Werth für M durch eine einmal verbundene Oberfläche dargestellt war.

D. Verf.

8) Kizkaldy schliesst aus seinen Experimenten, dass die zum plötzlichen Bruche nöthige Kraft im Durchschnitte nicht mehr als 80 Proc. des successive brechenden Gewichtes betrage. Doch kann dieser Schluss nicht ganz richtig sein, da er den Umstand ausser Augen liess, dass in seinem Streck-Apparate, das plötzlich brechende Gewicht oft eine gewisse *vis viva* annehmen muss, ehe es voll auf der

gehen, sind gewöhnlich etwas geringer.⁹⁾ Andererseits ist kein Grund zu der Annahme vorhanden, dass der Werth der mechanischen Kraft, nach der oben angeführten Weise berechnet, nicht mit für praktische Zwecke genügender Genauigkeit, den relativen Werth, der zum plötzlichen Zerbrechen von Stahl- und Eisenstangen nöthigen Kräfte angeben könne.

Jeder Stoss entspricht einer gewissen mechanischen Kraft, und wenn der Stoss entweder in der Längsrichtung der Stange, im Falle dieselbe an einem Ende gut befestigt ist, oder auf die Mitte derselben, wenn sie auf zwei soliden Stützen ruht, wirkt, so muss diese Stange brechen, wenn die dem Stosse entsprechende Kraft grösser ist als:¹⁰⁾

$$\frac{P_1 a_1}{2} + m P_1 b_1.$$

Probestange lasten kann, sodass dieselbe auch der Wirkung dieser *vis viva* widerstehen muss. Andererseits behauptet Wertheim, dass zum plötzlichen Zerbrechen einer Stange mehr Kraft gehöre, als zum successiven. D. Verf.

9) Der Betrag der permanenten Ausdehnung, welche vor dem Bruche durch eine successive wirkende Kraft oder einen solchen Stoss hervorgebracht wird, ist direkt von der Art und Weise, wie dieselben wirken, bedingt. Jede Stange kann in einem gewissen Kreisbogen gekrümmt werden, und dieser Bogen ist um so kleiner, je grösser die Dehnbarkeit des Materials ist. Wirkt die Kraft in der Mitte, durch eine Kante oder sehr kleine Oberfläche, so wird dann die Kurve kleiner, und der Betrag der Krümmung, welche die Stange vor dem Bruche annehmen kann, ist geringer, als wenn die Kraft auf einer grösseren Fläche wirken konnte, und die Krümmung deshalb auf eine grössere Länge vertheilt war. Diese Umstände dürfen nicht aus den Augen verloren werden, wenn Schienen, Axen und dergl. m. durch langsam wirkendes Gewicht oder die Fallkugel geprüft werden. D. Verf.

Als der Uebersetzer (C. Sandberg) Eisenbahnmateriel, wie Axen und Schienen von Stahl und Eisen prüfte, legte er stets ein kurzes Stück einer Eisenstange vielleicht $1\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat auf die Spitze der Stange, dessen Zweck war, die Fallkugel aufzufangen, sodass die Wirkung des Schlages auf vernunftgemässe Gränzen beschränkt werden kann, denn da die zu diesem Zwecke benutzten Kugeln unten gewöhnlich zu flach sind, so müssen sie den Effekt des Schlages vermindern. D. Uebers.

10) Da die Stützen der Stange niemals ganz solid sein können, sodass sie gar nicht wankten, so empfangen sie stets einen Theil des

Da man die Qualitäten des Stahles und Eisens kennt, so ist es leicht zu bestimmen, dass dieser Ausdruck für weiches Eisen viel grösser sein muss als für harten Stahl, denn bei hartem Stahle ist nach der Härtung b_1 sehr nahe $= 0$ oder steht zu a_1 in sehr geringem Verhältniss, daher ist die Formel für die mechanische Kraft, welche nöthig ist, um eine solche Stange zu zerbrechen oder zu dehnen, durchschnittlich $= \frac{P_1 a_1}{2}$. Für ungehärteten Stahl oder Eisen ist im Allgemeinen b_1 bedeutend grösser als a_1 , und daher berechnet sich die mechanische Kraft, welche nöthig ist, solche Stangen zu zerbrechen oder zu dehnen, durch den Werth $m P_1 b_1$, welcher, wie auf den **Tafeln III** und **IV** zu ersehen, für weichen Stahl und Eisen in Folge ihrer grösseren Dehnbarkeit oder Zähigkeit am grössten ist.

Da das stärkere Material auch einem stärkeren Stosse widerstehen wird, so wird es ihm noch länger, selbst wenn er noch stärker wird, widerstehen, als wenn es doppelt so stark wäre, aber nur ein Viertel der Ausdehnbarkeit besässe, obgleich seine Widerstandsfähigkeit im letzteren Falle grösser sein wird. Hieraus ist nun wohl leicht erklärlich, warum eine Eisenstange, indem sie eine bedeutende permanente Formveränderung annimmt, einen Stoss aushalten kann, welcher eine harte Stahlstange von denselben Dimensionen zerbrechen würde, obgleich letztere ein grösseres, langsam wirkendes Gewicht tragen würde.¹⁾

Stosses, in Folge dessen sie zittern. Sind diese Stützen z. B. grosse Eisenmassen, so wird dies kaum zu bemerken sein, doch wenn sie sehr zittern und eine permanente Zusammendrückung erleiden, so kann der von ihnen empfangene Theil des Stosses grösser sein als der, den die Stange erhielt. Dieser Umstand ist hauptsächlich dann in Betracht zu ziehen, wenn Stahl- und Eisenobjekte durch fallende Körper geprüft werden.

C. Sandberg.

1) Die von Redtenbacher und Wertheim gegebenen Formeln für die Widerstandsfähigkeit gegen Stösse, sind zum grössten Theil irrig, besonders in Bezug auf sehr dehnbares Material, wie weiches Eisen, weil beide Autoren bei Entwicklung ihrer Formeln die permanenten Formveränderungen ausser Acht liessen, und annahmen, dass die Umgestaltungen im Materiale, nach Ueberschreitung der

5. Das beste Material für Gegenstände, welche zeitweilig starke Stösse auszuhalten haben.

Für Gegenstände, welche möglichen starken Stössen ausgesetzt sind, muss die Qualität des Materials immer mit Rücksicht auf die grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit, dass gelegentlich ein heftiger Stoss auszuhalten sein könne, und auf die wahrscheinlichen Wirkungen desselben, ausgewählt werden. Für solche Gegenstände, welche, wenn sie einem heftigen Stosse ausgesetzt werden, ohne grossen Nachtheil eine bedeutende Formveränderung annehmen können, deren Bruch jedoch gewichtige Folgen nach sich ziehen würde, wie z. B. Panzerplatten, muss das Material nothwendigerweise grosse Stärke besitzen.²⁾ In andern Fällen, wie bei bestimmten Maschinentheilen, kann die Formveränderung eines solchen eben so nachtheilig wirken, wie der Bruch selbst, wenn nicht noch nachtheiliger, und daher muss bei der Wahl des Materials für diese Zwecke, Festigkeit als vornehmste und dann erst Ausdehnbarkeit als zweite Bedingung aufgestellt werden.

Elasticitätsgränze denselben Gesetzen folgten, wie vor Erreichung derselben. Nach den von Redtenbacher in seinem „Maschinenbau“ Bd. I. p. 95 gegebenen Koefficienten kommt man zu dem sehr absurden Resultate, dass eine Gusstahlstange, um zerbrochen zu werden, einen sechs- bis zwölfmal so starken Schlag verlange, als eine Eisenstange, und letztere könne nur sehr wenig mehr aushalten als eine gusseiserne Stange, vorausgesetzt, dass die Dimensionen aller Stangen gleich sind, und dass der Schlag in allen Fällen auf gleiche Weise erfolgt. D. Verf.

2) Bei Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Stösse, welche so plötzlich erfolgen, wie der eines Projektils, findet nur eine unbedeutende Abweichung von der oben gegebenen Formel statt, weil der unmittelbar von dem bewegenden Körper getroffene Theil leicht von den übrigen Theilen getrennt werden kann, ehe der Stoss Zeit gehabt hat, sich der Umgebung derselben mitzuthellen. In solchen Fällen ist es stets wünschenswerth, dass das Material neben Dehnbarkeit auch grosse Stärke besitze, um dem Bruche zu widerstehen. Weicher Gusstahl ist daher z. B. für Panzerplatten besser geeignet, als sehr weiches Eisen. — Dieses Problem schliesst jedoch noch andere schwer lösbare Fragen ein.

6. Wahl des Materials für Gegenstände, welche für gewöhnlich leichten Stößen oder Vibrationen ausgesetzt sind.

Für Theile und Objekte, welche während des Gebrauches in schneller Aufeinanderfolge leichten Stößen oder Vibrationen ausgesetzt sind, und die daher solche Dimensionen haben müssen, dass keiner dieser Stösse eine merkliche Formveränderung verursachen kann, wird im Allgemeinen mittelharter Stahl mit 0,5 bis 0,7 Proc. Kohlengehalt am geeignetsten sein, denn seine Elasticitätsgränze liegt höher, als die des Eisens. Ferner besitzt er eine solche Ausdehnbarkeit, dass er, gewalzt und frei von Gussblasen, durch Streckung um 5 bis 15 Proc. und selbst um noch mehr, gedehnt werden kann; und endlich ist er mindestens um 50 Proc. fester als weiches Eisen. Sowohl die Elasticitätsgränze als auch die Festigkeit können allerdings durch Härtung erhöht werden, doch erfordert dies grosse Erfahrung und specielle Kenntniss des Materials, auch sind die Wirkungen der Härtung, zum wenigsten für Gegenstände von bedeutenderen Dimensionen, schwer zu bestimmen. Durch Härtung wird oft im Material selbst eine solche Spannung verursacht, dass es nur einer geringeren äusseren Krafteinwirkung bedarf, um den Bruch herbeizuführen. Nach unseren Experimenten ist jedoch Härtung in Oel von geringerem Risiko begleitet, wenn die Gegenstände nicht zu sehr erhitzt worden sind.

Die Wahl eines zugleich festen und starken Materials, das auch bis zu einem gewissen Grade ausdehnbar sein muss, ist besonders dann von grosser Wichtigkeit, wenn die auf das Material wirkenden Stösse, nicht immer nach derselben Richtung operiren, wie z. B. bei den Axen der Lokomotiven, Dampfschiffe u. s. w. Denn diese Einwirkung verursacht nicht wie in vielen andern Fällen eine Zusammendrückung, welche bald konstant wird, sondern wenn das Material nicht stark genug, oder wenn die Konstruktion zu schwach ist, fortwährende Formveränderungen, bald in dieser bald in jener Richtung, demzufolge das Material früher oder später brechen muss. Dass in solchen Fällen Stahl dem Eisen wegen seiner grösseren Festigkeit vorzuziehen sei, ist durch die Experimente be-

wiesen worden, welche auf Ersuchen der Kommission unter Leitung des Professors C. A. Ångström zu Taberg in Werm-land angestellt wurden. Dieser prüfte Stahl- und Eisenstangen in einem Apparate, dessen Konstruktion der Hauptsache nach dem von dem rühmlichst bekannten deutschen Techniker Mühler zu denselben Zwecken benutzten Apparate sehr ähnlich war, und in Erbkam's „Zeitschrift für Bauwesen“ von 1860 beschrieben zu finden ist. In diesem Apparate werden die Stangen bei starker Rotation bis zum Bruche einem ähnlichen Zuge ausgesetzt, wie sie als Eisenbahnaxen auszuhalten haben. Wegen der Resultate und Details dieser Experimente nehme man Einsicht in den nächstens erscheinenden Bericht des Herrn Professor Ångström.

7. Der passendste Härtegrad des Stahles für Radreifen, Axen u. s. w.

Bei Bestimmung des Härtegrades des für gewisse Zwecke am besten geeigneten Stahles, muss Rücksicht darauf genommen werden, unter welchen Umständen der Gegenstand benutzt werden soll, und auf welche Art und Weise er hergestellt wird. So muss der Härtegrad für solche wichtige Gegenstände, wie z. B. Eisenbahnradreifen mit Rücksicht darauf bestimmt werden, wie dieselben auf den Rädern befestigt werden, und im Hinblick auf das grössere oder geringere Maass von Sicherheit, welches erreicht werden muss, sowie auch auf die Art und Weise der Herstellung der Radreifen selbst.³⁾ Sind die Radreifen aus einem Stücke ohne Schweissung gemacht, sodass, nachdem sie die Drehbank verlassen haben, nicht nochmalige Erhitzung ausser derjenigen, die zur Befestigung am Rade ge-

3) Die Oekonomie bei Verwendung von Stahl zu Eisenbahnradreifen, liegt hauptsächlich in seiner Härte, denn es ist augenscheinlich: je härter der Stahl, desto länger hält er die Abnutzung ab. Doch ist Sicherheit ein noch wichtigerer Punkt. Beiden Anforderungen kann genügt werden, wenn rückhaltende Befestigung (*retaining-fastening*) adoptirt wird, d. h. eine derartige Aufbringung des Radreifens, dass er nicht abfliegen kann, selbst wenn er zerbrochen ist. Diese Art von Reifen, welche auf Mansell's hölzernen Rädern sowohl, wie auf gewöhnlichen eisernen Eisenbahnwagenrädern angewendet werden, haben höchst zufriedenstellende Resultate geliefert.

hört, nöthig ist, so kann die Kohlenbeimischung ohne Risiko bis 0,6 Proc. steigen; sind sie aber aus gebogenen und zusammengeschweissten Stäben gemacht, und in der gewöhnlichen Weise vermittelt Bolzen auf dem Rade befestigt, so können wir die Benutzung eines Stahles mit nur 0,4 Proc. Kohle empfehlen, weil der Theil, wo die beiden Enden zusammengeschweisst sind, um so viel schwächer wird, je härter der Stahl ist. Selbst für Radreifen, die aus einem Stücke nach Krupps Manier⁴⁾ gefertigt sind, kann man härteren Stahl benutzen, als für solche, die gewalzt werden.

Krupp soll zu Dampfschiff- und Lokomotivenaxen und Maschinentheilen Gussstahl mit 0,5 Proc. bis 0,6 Proc. Kohle verwenden, und für Axen von Personenwagen mit etwas mehr als 0,6 Proc. Kohle.

Ist die Beimischung von Kohle zum Bessemer Stahle und Gussstahle nicht stärker als 0,4 Proc. oder noch schwächer, und ist das Material nicht bei zu niedriger Temperatur gestreckt worden, so kann die Ausstreckung desselben beim Bruche bis 1,6 Proc. und noch höher steigen (vergl. **Tabelle IV, No. 24 ff.**) und folglich wird die Ausdehnbarkeit so gross, wie bei gutem gepuddelten Eisen. Da solcher Stahl nicht nur viel fester als weiches Eisen ist, sondern auch im Allgemeinen gesünder und gleichmässiger, als ein durch Puddeln oder Raffiniren in dem Ofen erhaltenes Produkt, so ist kein Zweifel, dass er solchem Eisen für alle die Zwecke, wo grosse Ausdehnbarkeit wünschenswerth oder nöthig ist, wie zu Schiffsplatten, Kesselplatten, Gegenständen, welche getrieben oder gedrückt, und andere, welche verzinkt oder mit einem andern Metalle bedeckt werden sollen, bei weitem vorzuziehen ist.

8. Verwendung von Eisen, welches durch mechanische Behandlung steif geworden ist.

Wir haben gesehen, wie weiches Eisen, welches einen geringen Betrag von Kohle enthält, durch entsprechende mechanische Behandlung zu grosser Steifheit und Festigkeit gebracht

4) Vergl. Jernkontoret's Annaler 1862. p. 335

wurde, und dieses Eisen kann daher in manchen Fällen den Stahl vertreten. Dabei müssen jedoch mehrere Anforderungen an das Material gestellt werden. Erstens müssen die Dimensionen so geringe sein, dass sie durch mechanische Behandlung genügend steif gemacht werden können. Ist es dieser Art der mechanischen Behandlung unterzogen worden, so darf es zu fernerer Bearbeitung nicht wieder erhitzt, auch während der Benutzung grosser Hitze nicht ausgesetzt werden, weil sonst die durch die mechanische Behandlung erreichte Elasticität und Festigkeit wieder verloren gehen. Ferner dürfen auch an das Material keine Anforderungen auf grosse Härte und Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung gestellt werden. Hartgezogener Eisendraht wird daher gewöhnlich zu Sprungfedern in Meubels benutzt, kaltgehämmertes Eisen zu kleineren Wagenfedern u. s. w., doch kann solches Eisen nicht zu grösseren Federn, Axen u. s. w. verwendet werden.

9. Verwendung von phosphorhaltigem Eisen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass selbst ein geringer Zusatz von Phosphor zum Eisen, wie 0,1 oder 0,2 Proc. bei lang andauernder starker Erhitzung dem Metalle eine krystalinische Textur verleiht, auf diese Weise seine Festigkeit und Ausdehnbarkeit verringert und es kaltbrüchig macht. Ebenso bekannt ist aber, dass, wenn das Material nach der Erhitzung so ausgedehnt wird, dass es bei langsamem Bruche eine sehnige Bruchfläche zeigt, das Metall sowohl fest als auch zähe wird. Wird jedoch ein Gegenstand, wie z. B. ein Schraubenbolzen aus einer Eisenstange hergestellt, deren Material sehr reich an Phosphor ist, aber durch Hämmern den nöthigen Grad von Zähigkeit erhalten hat, so wird durch Erhitzung die Textur des Kopfes des Bolzens oft so verändert, dass ein einziger Schlag hinreicht, um ihn abzubrechen. Aus demselben Grunde wird ein nicht gut gewalzter und dann geschweisster Radreifen, der zum grössten Theile ganz gesund sein mag, dessen Material aber eine bedeutende Beimischung von Phosphor enthält, an der Schweissstelle fast stets eine scharf krystalinische Textur zeigen und in Folge dessen sehr gefährlich sein.

Zu Gegenständen von grossem Umfange, wie grosse Maschinenaxen u. dergl. muss die Verwendung von phosphorhaltigem Eisen durchaus vermieden werden, denn die mechanische Behandlung, welcher dieselben unterworfen werden, ist nicht hinreichend, um die von der krystallinischen Textur herrührende Sprödigkeit zu überwinden. Doch kann solches Eisen ohne erhebliche Nachtheile zu gewissen gewalzten Gegenständen verwendet werden, welche, nachdem sie das Walzwerk verlassen haben, nie wieder einer bedeutenden Erhitzung ausgesetzt werden, wie z. B. Schienen. Es werden auch faktisch sowohl in England als auf dem Kontinente, die Köpfe der Schienen gewöhnlich aus Eisen gefertigt, welches einen hohen Procentsatz von Phosphor aufzuweisen hat, denn der Phosphor erleichtert die Schweissung, vergrössert die Steifheit und erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung. Wegen seiner Eigenschaft bei niedriger Temperatur leicht schweisbar zu sein, wird sehr phosphorhaltiges Eisen häufig zu Kesseln, Gasröhren u. dergl. verwendet. Allgemein wird mit offenbar gutem Grunde angenommen, dass phosphorhaltiges Eisen weniger den Angriffen des Rosts ausgesetzt ist, und dass aus solchem Materiale gefertigte Kesselplatten von den Flammen weniger oxydirt werden.

10. Verwendung von schlacke- oder phosphorhaltigem Eisen.

Wie wir gesehen haben, kann eine Beimischung von Asche zu phosphorreicher Eisen nur nützlich sein, da es dessen Neigung, kaltbrüchig zu werden, entgegentritt. Andererseits kann viel Schlacke enthaltendes Eisen gar nicht, oder wenigstens nur mit Schwierigkeit, geschmiedet und bearbeitet werden, ohne zu brechen. Zu allen Gegenständen, welche durch Schmieden façonnirt werden müssen, lässt es sich daher nicht mit Vortheil verwenden, wie z. B. zu den meisten Eisenartikeln, welche bei Konstruktionen und Bauten verwendet werden, als Schienen, T-Eisen und viele andere Formen von bearbeitetem Eisen. In Folge der ungenügenden Verbindung zwischen den verschiedenen Metallschichten, welche durch die zwischenliegende Asche getrennt werden, zeigt solches

Eisen oft Längs-Narben, nach denen es bei gewöhnlicher Temperatur spaltet, wenn es einem starken Drucke ausgesetzt wird, wie oft an Schienen und Radreifen zu beobachten. Schlackenreiches Eisen ist ferner wenig zu solchen Gegenständen verwendbar, die mit einem andern Metalle bedeckt werden sollen, und wird endlich vom Wasser, besonders wenn dasselbe salzhaltig ist, stark angegriffen. Dem Verfasser ist indess nicht bekannt, dass betreffs dieses Punktes irgendwelche genaue Experimente angestellt worden wären.

II. Vortheile der Reinheit des Eisens beim Schmieden.

Wie schon öfter bemerkt, giebt es, ausser den in den Streckungs-Experimenten näher betrachteten, noch Eigenschaften des Eisens, welche den Werth desselben und seine besondere Qualifikation für bestimmte Zwecke bezeichnen. Bei der Wahl des Materials zu vielen Maschinentheilen, gewissen Schmiedearbeiten u. s. w. ist oft die Festigkeit des Eisens von verhältnissmässig geringerer Bedeutung, und das ist um so mehr der Fall, da dieselbe nicht selten durch entsprechende mechanische Behandlung erhöht werden kann. Im Allgemeinen sind aber die Punkte, welche zuvörderst Beachtung verdienen, die Gesundheit des Eisens und seine Reinheit von präjudicirenden Beimischungen, wie Schlacke, Schwefel, Phosphor u. s. w., sodass es glühend ohne zu brechen, bearbeitet werden kann und beim Abkühlen nicht spröder wird. Für viele Zwecke wird das reine, in einem Holzkohlenofen sorgfältig raffinirte Eisen die Werthschätzung behalten, die es mit Recht besitzt, und kann selbst der Konkurrenz des besten gepuddelten Eisens stehen.⁵⁾

5) Das durch den Puddelprocess und im Holzkohlenofen hergestellte Eisen kann in Bezug auf Reinheit kaum mit dem durch den Bessemer Process gewonnenen verglichen werden; und da keine Schwierigkeit vorliegt, auf diese Weise wie auf die andere weiches Eisen zu nicht grösseren Kosten herzustellen, so wird dieses Eisen aller Wahrscheinlichkeit nach immer obenan stehen, wenn das Rohmaterial zu seiner Fabrikation passend war.

C. Sandberg.

III. Kapitel.

Experimente über Zugfestigkeit bei hohen und niedrigen Temperaturen.

I. Einleitung.

Es ist eine schon seit Langem bestehende Ansicht, dass Stahl und Eisen bei niedriger Temperatur spröde und schwach werden. Viele Beobachtungen haben gelehrt, dass die bei Winden und Kraneen verwendeten Ketten im Winter bei strenger Kälte viel öfter reissen, als zu andern Jahreszeiten, und ferner sind ähnliche Bemerkungen an gewöhnlichen Wagenaxen und ganz besonders an Eisenbahn-Wagenaxen und Radreifen gemacht worden. Die einzigen zuverlässigen und bekannten Experimente über das Verhalten des bei niedriger Temperatur gestreckten Stahles und Eisens sind die Wertheim'schen,¹⁾ doch scheinen diese der oben ausgesprochenen allgemeinen Ansicht keine Stütze zu verleihen. Wertheim's Experimente wurden jedoch nur mit feinem Eisendraht von 0,27 und mit blau angelassenem Stahldrahte von 0,2 Linien Durchmesser angestellt. Die Temperatur, bei welcher er dieselben vornahm, war nicht niedriger als ungefähr 10° C. und ging nur in dem einen seiner Experimente auf 14° C. herunter. Daher hielten wir es des Interesses werth, die absolute

1) Poggendorf's „Annalen“, Ergänzungsband II.

Festigkeit von gewalztem und geschmiedetem Eisen und Stahl, sowie deren Ausdehnbarkeit, Elasticitätsgränze und Elasticitätsmodul, bei der niedrigsten Temperatur, welche in Schweden vorkommt, zu prüfen.

Um mit grösserer Gewissheit den Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften des Stahles und Eisens bestimmen zu können, haben wir auch dergleichen Experimente bei hoher Temperatur, die zwischen 120 und 200° C. variierte, vorgenommen.

Ehe wir den bei diesen Nachforschungen benutzten Apparat beschreiben, müssen wir noch bemerken, dass es nöthig war, denselben in einer Weise zu konstruiren, dass er zu der hydraulischen Streckmaschine, die zu unserer Disposition stand, und oben beschrieben worden ist, passte.

2. Experimente über Zugfestigkeit bei grösster Kälte: Beschreibung des Apparates.

Der zu den Experimenten über Zugfestigkeit bei niedrigen Temperaturen benutzte Apparat, ist auf **Taf. VI, Fig 1, 2** und **3** in einem Achtel seiner natürlichen Grösse dargestellt. **Fig. 1** ist die vertikale Projektion der zum Gebrauche fertigen Vorrichtung, **Fig. 2** ein Längsschnitt nach *XY* und **Fig. 3** ein Querschnitt nach der punktirten Linie *UV*. Um die nöthige Temperatur-Erniedrigung zu erlangen, benutzten wir immer einen sogenannten Gefrier-Apparat nach Carré's Konstruktion, wie er in Dingler's „Polytechnischem Journal“ für 1861 und in mehreren anderen technischen Zeitschriften beschrieben ist. Er besteht aus zwei starken eisernen Reservoirs *A* und *B*, welche durch eine Röhre *c* mit einander verbunden sind. Die Cisterne *B* besteht aus einem äusseren konischen Gefässe *a*, in welchem ein Cylinder *b* oben und unten befestigt ist. Das obere Ende dieses Cylinders ist ganz offen, während das untere mit einer Oeffnung, in der die Röhre *c* steckt, versehen ist. Um einen Bruch der Röhre *c* zu vermeiden, durch welche *A* mit dem Raume zwischen *a* und *b* in Verbindung gesetzt ist, wird dieselbe durch eine kurze Röhre *d* an *A* befestigt, deren einziger Zweck der ist, den Apparat

zu verstärken. Ehe der Apparat benutzt wird, füllt man das Gefäß *A* bis zu drei Vierteln mit starkem kaustischen Ammoniak, während der Raum zwischen *a* und *b* leer bleibt. Die andern Theile des Apparates sind luftleer und luftdicht verschlossen. Soll eine niedrige Temperatur erzeugt werden, so wird das Gefäß *B* in eine Cisterne mit kaltem Wasser gesenkt (je kälter, desto besser) während *A* nach und nach über einen kleinen Ofen erhitzt wird, bis seine Temperatur 130° oder 140° C. erreicht hat, was durch einen Thermometer, welcher in der Röhre *y* **Fig. 1** steckt, die vorher mit Oel gefüllt worden ist, angezeigt wird. Es ist bekannt, dass Wasser von 16° C. unter gewöhnlichem atmosphärischem Drucke ungefähr das 460fache seines Volumens von Ammoniak-Gas absorhirt, und es bedarf wohl keiner Erwähnung, dass kaustisches Ammoniak nichts Anderes als mit Ammoniak-Gas gesättigtes Wasser ist. Durch Erhitzung des kaustischen Ammoniaks im Gefässe *A* wird das Gas aus der Lösung ausgetrieben, und da der Apparat vollständig verschlossen ist, nimmt der Druck zu und das Gas wird in dem abgekühlten ringförmigen Raume *B* zu einer Flüssigkeit condensirt. Hat die Temperatur in *A* 130° C. erreicht, so enthält *A* nur noch Wasser, während sich in *B* fast wasserfreies condensirtes Ammonium befindet. Der Druck im Apparate kann von 6 bis 10 Atmosphären steigen, je nach der Temperatur des kalten Wassers. Natürlicherweise ist die Temperatur in *B* immer etwas höher als die des kalten Wassers und der Druck des condensirten Ammoniak-Gases ist bei 0° C. = 4,4, bei 10° = 6,0, bei 19° = 7,6 und bei 28° = 10,0 Atmosphären. Das Gefäß *A* wird nun in das Reservoir mit kaltem Wasser getaucht, aus welchem *B* entfernt worden ist, wie in **Fig. 3** gezeigt ist. Wird auf diese Weise in *A* das Wasser abgekühlt, so nimmt es mit Begierde das Ammoniak-Gas wieder auf, und wie diese Absorption vor sich geht, verlässt das condensirte Ammoniak wieder *B*. Diese Verdunstung verursacht in *B* eine bedeutende Temperatur-Erniedrigung, und bei manchen Experimenten, wo der Cylinder *b* mit vorher auf einige Grad unter 0° C. abgekühltem Alkohol gefüllt worden und mit keinem andern Gefässe verbunden war, be-

trug diese Reduktion der Temperatur — 50° C. Um zu verhindern, dass sich *B* erwärmt, nachdem es aus dem Reservoir, in welches nach ihm *A* getaucht wurde, genommen war, packte man dasselbe sorgsam in Baumwolle ein. Bei einem Gefrier-Apparate von dem Umfange des auf der Tafel abgebildeten, ist eine oder anderthalbe Stunde dazu nöthig, um *A* auf die nöthigen 130° C. zu bringen, und die Erzeugung der Kälte in *B* fordert fast ebensoviel Zeit.

Vermittelst des abgebildeten Apparates wurde für alle Experimente über Zugfestigkeit eine genügende Temperaturerniedrigung erzielt, aber zur Bestimmung der Elasticitätsgränze und des Elasticitätsmoduls bei niedrigen Temperaturen, wurden gewöhnlich zwei Gefriermaschinen hintereinander benutzt, die eine in der auf **Tafel VI** gegebenen Grösse, die andere etwas kleiner. Diese Einrichtung war zur Erzielung einer genügend niedrigen Temperatur in dem für die letzteren Nachforschungen unentbehrlichen grösseren Alkoholkörper unbedingt nöthig.

Bei seinen letzten Nachforschungen benutzte der Autor einen grösseren Gefrier-Apparat, welcher nach des Fabrikanten Angabe bei jeder Operation 2 Kilogramme Eis ergeben soll, und mit diesem Apparate hatte es dann auch keine Schwierigkeit, eine Temperatur von — 30° C. und noch weniger zu erzielen.

Bei Anwendung dieses Apparates ist es von grosser Wichtigkeit, denselben nach jeder Benutzung so zu justiren, dass die Gefässe *A* und *B* horizontal stehen und *B* über *A* kommt, in welcher Stellung sie mindestens schon eine Viertelstunde vor Beginn des Experimentes gewesen sein müssen. Nach jedem Experimente findet sich in *B* noch etwas kaustisches Ammoniak vor, welches, wenn es nicht nach *A* übergeht, sodass *B* möglichst trocken wird, eine bedeutende Kälteentwicklung verhindert. Um die Austrocknung von *B* zu beschleunigen, ist es rathsam, es vor Beginn des Experimentes eine Viertelstunde lang in warmes Wasser zu tauchen.

Der Apparat, in welchem die Probestangen während der Experimente über Bruch durch Streckung bei niedrigen Temperaturen, eingeschlossen waren und abgekühlt wurden, ist in

unseren Figuren mit *D* bezeichnet. Er besteht der Hauptsache nach aus einer Messingröhre von ungefähr 2 Zoll Durchmesser, welche an einem Ende in eine kurze Röhre *h* und am andern in eine längere *i*²⁾ ausläuft, welche wie *h* einen solchen Durchmesser hat, dass die dicken Enden der Probestange sich nur eben durchführen lassen. *k* und *l* sind zwei gebogene Kupferrohren, welche mit dem Gefrierapparate in Verbindung stehen, *k* mit dem oberen, *l* mit dem unteren Theile desselben. Die Verbindung zwischen *k* und *b* wurde durch einen kurzen Gummischlauch und durch zwei kupferne Röhren *m* und *q*, die durch Kautschuck mit einander verbunden waren, hergestellt. Die Röhre *q* geht in den Cylinder *b* durch einen losen Deckel *u*, welcher aus zwei halbkreisförmigen Hälften besteht. Auf *m* sind zwei kleinere Röhren aufgelöthet, in denen einer *n* ein Thermometer steckt, während die andere *o* durch die Glaskugel *p* mit einer kleinen Glasröhre in Verbindung steht.

Die Röhre *l* communicirt mit dem Cylinder *b* mittelst zweier Gummischläuche *r* und *t* und einer Seitenröhre *s*.

Die Probestange wird, in unten zu erklärender Weise in dem Apparate eingeschalten und befestigt. Das Gefäß *A* wird, nachdem es bis zu der entsprechenden Temperatur erwärmt worden ist, in die Wassercisterne *C* eingetaucht, und der Kautschukschlauch *t* an eine kleine Röhre *e* befestigt, die mit dem Boden von *b* in Verbindung steht. Eine kleine Pumpvorrichtung *E* wird in den Cylinder *b* gebracht, und die durch den Deckel *u* gehende Röhre *q*, sowie der Cylinder *b* und das mit ihm in Verbindung stehende Röhrensystem, mit Alkohol angefüllt.³⁾ Durch Saugen an einem an *p* befestigten Gummi-

2) Für die Experimente über Zugfestigkeit bei niedrigen Temperaturen war es nicht nöthig, dass die Röhre *i* länger war, als *h*, sie wurde aber von der angegebenen Länge gemacht, weil wir denselben Apparat später zu den Experimenten über Zugfestigkeit bei hohen Temperaturen wieder verwendeten, und für diese war es, wie wir sehen werden, von Vortheil, dass *i* länger war. D. Verf.

3) Branntwein, welcher 50 Proc. Alkohol enthält, kann hierzu nicht verwendet werden, wenn die Temperatur unter — 33° C. reducirt ist, weil er bei solchem Alkoholgehalte in dieser Temperatur gefriert. D. Verf.

schlauche werden die oberen Röhren *k*, *m*, *o*, *p* und *q* mit Spiritus gefüllt, bis er in die Glaskugel *p* tritt, und dann wird der Schlauch durch eine kleine Klammer verschlossen.

Nach dem Schlusse jedes Experimentes lässt man den Spiritus mittelst eines Gummischlauches, welcher mit *s* in Verbindung steht, und während des Experiments mit einer Klammer verschlossen ist, ablaufen.

Um die Röhre *D* vor der Einwirkung der Hitze zu schützen, ist sie mit einem Muffe von Zinkblech *v*⁴⁾ umgeben, welcher aus vier Theilen besteht und seinerseits wieder aussen mit einer dicken Lage von Baumwollenwatte belegt ist.

Alle Verbindungsrohre müssen gegen die Wärme dadurch geschützt werden, dass man sie in Baumwollenwatte oder sonst einen schlechten Wärmeleiter wickelt.

Durch die bedeutende Reduktion der Temperatur, welche in *B* hervorgebracht wird, beginnt eine lebhaftere Cirkulation des Spiritus in der in **Fig. 3** durch Pfeile bezeichneten Richtung. Um dieselbe noch zu beschleunigen, wird in den Cylinder *b* eine Pumpvorrichtung *E* eingeführt, deren Kolben nicht gar zu fest an den Wänden anliegt, sodass er leicht beweglich ist. Derselbe ist mit zwei grossen Zinkblech-Ventilen versehen. Wenn infolge zu starken Pumpens oder eines geringen Defektes in den Verbindungen des oberen Röhrensystems, Luft in den Apparat kommt, sodass der Spiritus in der Glaskugel *p* sinkt, so muss letztere durch Saugen wieder gefüllt werden, damit man sicher ist, dass die Cirkulation ununterbrochen fortgehe. Ein Thermometer in der Röhre *n* dient dazu, die Temperatur, welcher die Probestange ausgesetzt wird, anzugeben. Die Röhre *D* ist mit zwei kleinen Röhren *xx* zur Aufnahme von Thermometern versehen. Da diese aber beim Bruche der Stange Gefahr laufen würden, mit zerbrochen zu werden, finden sie nur gelegentlich zur Kontrolle der Angaben des Instrumentes in *n*, Anwendung. Natürlicherweise

4) Dieser Muff ist bei den Experimenten über Zugfestigkeit bei niedriger Temperatur natürlich überflüssig, doch ist er nöthig, wenn derselbe Apparat zu den Experimenten bei hohen Temperaturen benutzt werden soll.

müssen Spiritusthermometer benutzt werden, wenn die Temperatur unter oder bis nahe an den Gefrierpunkt des Quecksilbers fällt.

3. Beschaffenheit der bei den Experimenten über Zugfestigkeit bei niedrigen Temperaturen verwendeten Probestangen.

Bei allen Experimenten über Zugfestigkeit bei niedrigen Temperaturen waren die Stangen ungefähr 3 Fuss lang und in der Mitte des Theiles, welcher in die Röhre *D* eingeschlossen wurde, auf ungefähr 6 Zoll Länge quadratisch abgefeilt, sodass durch diese Schwächung der Bruch der Stange an einem andern Punkte, wo die Temperatur höher war, nicht erfolgen konnte. Der abgefeilte Theil der Probestange wurde durch Querlinien in Zehntelzolle, einige auch in Zwanzigstel, vermittelt der oben beschriebenen Mikrometerschraube, die auch während des Abfeilens zur Sicherung der Gleichmässigkeit der Dimensionen verwendet worden war, eingetheilt. Die Probestangen wurden in dem Apparate immer auf die oben beschriebene Weise befestigt, indem man sie nämlich, wie in **Fig. 2** dargestellt, durch Stauchen an beiden Enden verdickte und mit einer Schraube an dem einen, mit einer Mutter am andern Ende, oder wenn dies zweckmässig erschien, auch mit Muttern an beiden Enden versah.

Die Probestange, sowie die Röhren *b* und *c* wurden vermittelt über die Enden derselben gespannter Gummiblättchen gedichtet. Wird weiches Eisen zerbrochen, so muss eines derselben so lang und so angebracht sein, dass sich die Stange mindestens einen Decimalzoll ausdehnen kann.

Ist der Röhren-Apparat *D* mit Carré's Gefrier-Apparat verbunden, und, wie oben beschrieben, mit Spiritus gefüllt, so beginnt das Pumpen in *E*, wodurch die Temperatur in *D* sehr schnell fällt. Ist dieselbe genügend reducirt worden, so wird die Stange in der gewöhnlichen Weise durch nach und nach vermehrte Gewichte dem Zuge bis zum Bruche ausgesetzt. Bei diesen Experimenten wurde die Last immer um ein Gewicht von 10 Pfd. in der Schale am langen Arme des Winkelhebels, oder um höchstens 20 Pfd. pro Quadratlinie

des Querschnittes des abgefeilten Theiles, vermehrt. War die Stange gebrochen und aus dem Apparate entfernt worden, so wurde ihre Ausdehnung zwischen den auf ihr gemachten Theilzeichen, sowie der Querschnitt der Bruchfläche gemessen.

4. Vergleichende Experimente über Zugfestigkeit bei 16° C. (gewöhnliche Temperatur).

Um diese Experimente bezüglich des Einflusses der Temperatur auf die Festigkeit und Ausdehnbarkeit des Stahls und Eisens möglichst ergiebig zu machen, wurde gewöhnlich die Probestange, wenn sie ursprünglich 6 Fuss lang war, in zwei, je 3 Fuss lange Theile getheilt, worauf eine der beiden Hälften bei niedriger, die andere bei der gewöhnlichen Temperatur von ungefähr 16° C. geprüft wurde. War die ursprüngliche Länge der Stange so beschaffen, dass sie mehr als zwei 3füssige Theile hergab, so wurde wenigstens einer bei 16° geprüft. Dieser Verlauf der Experimente nimmt zwar viel Zeit in Anspruch, wurde aber für nöthig erachtet, weil bei verschiedenen Arten des Stahles und Eisens, einzelne Stangen derselben Fabrikation, in Bezug auf Festigkeit und Ausdehnbarkeit bedeutende Differenzen ergaben. Dagegen kann man aber wohl annehmen, dass eine und dieselbe sorgfältig hergestellte Stange beinahe durchaus gleichmässig sei, und diese Annahme ist durch das Experiment bestätigt worden. Mit Ausnahme einiger Stangen von sehr hartem und nur wenig ausdehnbarem Stahle, waren alle Stangen, die bei 16° C. zerbrochen wurden, während des Experiments mit Wasser dieser Temperatur umgeben. Denn wenn die Streckung anfängt, eine permanente Ausdehnung hervorzubringen, so erhöht sie auch die Temperatur der Stangen, und besonders derer von weichem Eisen, und deshalb würde es, wäre die Streckung in freier Luft vorgenommen worden, unmöglich gewesen sein, die Temperatur der Stange nach der Luft zu bestimmen, da erstere möglicherweise bedeutend höher gewesen sein kann, als letztere.

5. Experimente über Zugfestigkeit bei hohen Temperaturen.

Da die Kenntniss der absoluten Festigkeit und Ausdehnbarkeit von Stahl und Eisen bei Temperaturen von 100° bis 200° C. in vielen Fällen von grossem praktischen Nutzen ist, wie z. B. bei der Verwendung dieser Materialien zu Kesseln, so sind auch nach dieser Richtung hin Nachforschungen angestellt worden, und zwar sind diese Experimente zum grössten Theile in ganz ähnlicher Weise wie die bei niedriger Temperatur vorgenommen worden. Jede Probestange war 3 Fuss lang und in der Mitte 6 Zoll lang abgefeilt, damit der Bruch an dieser Stelle sicher erfolgen musste. Um die entsprechenden hohen Temperaturen auf sie wirken zu lassen, wurden sie in den oben beschriebenen, zu den Experimenten bei niedrigen Temperaturen verwendeten Apparat eingeführt, der auf **Taf. VI, Fig. 1 bis 4** abgebildet ist. Doch waren in diesem Falle die Probestangen nicht mit Wasser, sondern mit geschmolzenem Paraffin, welches wegen seiner Dünnpflüssigkeit hierzu besonders geeignet erschien, umgeben. Das Paraffin wird in einem cylindrischen Kupferkessel erhitzt, welcher durch eine kupferne Röhre mit dem die Stange umgebenden Apparate in Verbindung steht. Auf **Taf. VI, Fig. 4** stellt *A* dieses Kupferreservoir, umgeben von dem grossen Behälter *B*, vor, *C* ist die Pumpvorrichtung, durch welche die Cirkulation des heissen Paraffins beschleunigt wird, sodass die Stange stets von einer Flüssigkeit ziemlich gleicher Temperatur umgeben ist; *D* ist der Röhrenapparat, welcher die Probestange umschliesst und von einem Muff aus Zinklech umgeben, welcher den Hitzeverlust möglichst verhindern soll. Das heisse Paraffin wird von unten durch die Röhren *a* und *l* hineingedrückt und geht oben durch *k* und *b* wieder hinaus. *xx* sind wie oben bemerkt, kurze Röhren, in welche Thermometer gesteckt werden können, und *e* in dem Cylinder *A* hat denselben Zweck. Bemerkt man, dass die Stange nahe am Bruche ist, so müssen die Thermometer in den Röhren *xx* etwas in die Höhe gezogen werden. Da sie aber auch in dieser Lage in grosser Gefahr sind, durch den Stoss, welchen der ganze Apparat erhält, wenn die Stange bricht, verletzt zu werden,

so haben wir gewöhnlich vorgezogen, nur den einen Thermometer zu benutzen, welcher sich in der Röhre *c* in Verbindung mit dem Cylinder *A* befindet; auch thaten wir dies besonders deswegen, weil seine Angaben während des Pumpens nur um 1 oder 2 Grad höher waren, als die der Thermometer in *xx*, eine Differenz, die bei derartigen Experimenten von keiner Wichtigkeit ist.

Die Probestange kann in den Röhren *hi* dadurch dicht gemacht werden, dass man Gummimembran über die Stange und die Röhren bindet, wie bei den Experimenten bei niedrigen Temperaturen. Das Gummimembran bei *h* war dick, damit es desto besser der Einwirkung des Paraffins widerstehen könnte, während das bei *i* dünn und zusammengelegt war, so dass es in Falten lag und der Ausdehnung der Stange keinen erheblichen Widerstand entgegensetzen konnte.

Da geschmolzenes Paraffin vulkanisirten Gummi selbst bei Temperaturen von nur 130 oder 150° C. angreift, so haben wir versucht, die Kupferröhre *i* kühler zu halten und so den Gummi zu sichern, theils indem wir die Röhre *i* länger machten als die entsprechende auf der andern Seite, theils indem wir die Circulation des Paraffins in *i* dadurch verzögerten, dass wir die Probestange mit einem Gummiringe umgaben, der fast den ganzen Raum zwischen derselben und der Kupferröhre ausfüllte.

Die Vereinigungspunkte der Röhren *a* und *l*, und *b* und *k* wurden mit starkem Kautschuckschlauche umgeben, und kam eine höhere Temperatur, als 160° C., so wurde derselbe mit ausgeglühtem Messing- oder Eisendraht umwickelt. Die Flantschen von *a* und *b* und die kurze Röhre auf dem Cylinder *A* wurden mittelst eingeschobener, durch Glühen weich gemachter Kupferringe gedichtet.

Der ganze Röhrenapparat war aufgehangen und ausbalancirt, sodass er nicht auf die Probestange drücken konnte.

Um die Stange, wenn sie durch die Streckung gehoben würde, vor einem aus der Verbindung des Cylinders *A* mit dem Apparate herrührenden seitlichen Drucke sicher zu stellen, war dieser Cylinder mit Eisendrähten *ee* an den Griffen *dd*

an dem obern Theile des Cylinders, befestigt, sodass er sich frei in dem Behälter *B* bewegen konnte.

Das Paraffin war natürlich vorher in einem aparten Gefässe geschmolzen und auf die nöthige Temperatur erwärmt worden. Es wurde während des Verlaufs des Experimentes mittelst einer Gaslampe, welche sich unter dem Cylinder *A* befand, und aus drei Elsner'schen Brennern, deren jeder seinen eigenen Hahn hatte, bestand, je nach Umständen auf dieser Temperatur erhalten oder noch mehr erhitzt. Nach jedem Experimente wurde das Paraffin mittelst des Hahnes in der Röhre *a* abgelassen.

Wie oben bemerkt, greift das Paraffin bei hohen Temperaturen den Gummi sehr stark an, und aus diesem Grunde wurde bei einigen Experimenten die Probestange in eine gusseiserne Röhre eingeschlossen, welche direkt mittelst eines solchen Gasapparates, wie gewöhnlich bei der organischen Analysis benutzt wird, erhitzt wurde. Diese eiserne Röhre ist auf **Tafel II** dargestellt, wo die **Figuren 5** und **6** eine Vorder- und eine Rück-Ansicht zeigen.

In diesen Figuren sind *aa* kurze Röhren, über welche Gummi gespannt ist, um den Luftzutritt zu verhindern, und *bbb* sind drei zur Aufnahme von Thermometern bestimmte Röhren. Sind die Gasbrenner so regulirt, dass die nöthige Hitze erreicht ist, und zeigen die drei Thermometer ziemlich dieselbe Temperatur, welche leidlich konstant bleibt, so können die Thermometer entfernt und nur noch zur jeweiligen Kontrolle benutzt werden, um zu sehen, ob die Temperatur um die Stange eine bedeutende Veränderung erlitten hat. Sollen die Thermometer während des Bruches der Stange im Apparate verbleiben, so müssen sie wenigstens in den Röhren in die Höhe gezogen und durch Kautschuckringe gesichert werden, sodass sie bei dem Rucke, welcher den Bruch der Stange begleitet, nicht gegen die Wände der Röhre geschlagen werden können.

6. Resultate der Experimente über Zugfestigkeit bei verschiedenen Temperaturen.

Die Resultate all dieser Experimente über Bruch bei hohen und niedrigen Temperaturen, sind zum Vergleiche mit den bei der gewöhnlichen Temperatur erhaltenen in **Tabelle VII** zusammengestellt.

In dieser Tabelle haben wir als Maass der Ausdehnbarkeit, den Procentsatz der Ausdehnung nach dem Bruche gegeben, theils berechnet nach dem gemessenen und eingetheilten Abschnitte der Stange, in welchem der Bruch nicht erfolgte, theils nach der ganzen Länge des eingetheilten Theiles, wenn die Stange nicht ausserhalb der äusseren Theilstriche brach. Dieser abgefeilte Theil ist jedoch nicht immer gleich lang gewesen, sondern hatte bei sehr harten Stangen, die sich schlecht feilen liessen, manchmal nur 3,5 oder 4 Zoll, statt der gewöhnlichen Länge von 4,5 Zoll. Um die in diesen Fällen erreichte Ausdehnung soweit wie möglich, mit der anderer, nach dem Bruche gemessener vergleichbar zu machen, haben wir den Procentsatz der Ausdehnung berechnet, welchen man erreicht hätte, wenn der eingetheilte Abschnitt ursprünglich auch 4,5 Zoll lang gewesen wäre. Diese Ausdehnung ist stets in der Zollabtheilung, wo der Bruch erfolgt, am grössten, und natürlicherweise wird die Ausdehnung an dieser Stelle, den Procentsatz der ganzen Ausdehnung um so mehr erhöhen, je kürzer der eingetheilte Abschnitt ist.

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass von allen bei niedriger Temperatur zerbrochenen Stangen nur eine, die Gussstahlstange **No. 18**, mit einem geringeren Gewichte brach, als nöthig gewesen war, um einen andern Theil derselben Stange bei der gewöhnlichen Temperatur zu zerbrechen. Doch in diesem einzelnen Falle ist der Unterschied zwischen den beiden brechenden Gewichten zu gering, um Beachtung zu verdienen und überdies wurde auch ein entgegengesetztes Resultat mit einer Stange derselben Art, **No. 20**, erhalten. Im Allgemeinen hat sich herausgestellt, dass die Ausdehnbarkeit bei niedriger Temperatur nicht geringer ist, als bei gewöhnlicher.

Dagegen ist bei höheren Temperaturen, zwischen 100 und 200° C. die absolute Festigkeit des Eisens bedeutend grösser als bei gewöhnlichen, wie auch Dr. Fairbairn bei Anstellung seiner Experimente gefunden hat, doch scheint die Ausdehnbarkeit etwas geringer zu werden. Beim Stahle jedoch scheint sich weder in Bezug auf Festigkeit noch auf Ausdehnbarkeit innerhalb der bezeichneten Temperaturgränzen eine irgend beträchtliche Differenz zu ergeben.

Der bedeutendste Zuwachs an Festigkeit fand sich bei den Eisenarten vor, welche einen nur geringen Beisatz von Kohle enthalten. Um uns nur zu versichern, dass dieses Resultat ein nicht zufällig dadurch bedingtes gewesen sei, dass der abgefeilte Theil der Stange härter war als das Uebrige, bestimmten wir den Betrag der Kohle an der Bruchstelle der in **Tabelle VII**, mit **No. 71** bezeichneten Stange, welche in einem Paraffinbade zerbrochen worden war. Die Kohlenbeimischung an dieser Stelle, ergab sich zu 0,07 Proc., und war daher nicht grösser als die in anderen Eisenstangen derselben Art. Aus diesem Experimente sowohl, als auch aus denen, welche mit dem auf **Tafel II** abgebildeten gusseisernen Apparate in heisser Luft angestellt wurden, erhellt nun deutlich, dass die grössere absolute Festigkeit, welche das Eisen bei hohen Temperaturen zeigt, weder von einem chemischen Einflusse, noch von einer Kohlenstoffverbindung, welche das Paraffin während des Experimentes mit dem Eisen eingeht, herrührt.⁵⁾

Da es eine bekannte Thatsache ist, dass das specifische Gewicht des Eisens durch Streckung bei gewöhnlicher Tem-

5) Es ist allerdings sehr unwahrscheinlich, dass Paraffin bei so niedriger Temperatur und in so kurzer Zeit, als zu unsern Experimenten nöthig war (selten mehr als eine Stunde) im Stande sein sollte, sich mit dem in einer eisernen Stange enthaltenen Kohlenstoffe zu verbinden. Nichtsdestoweniger versichert der französische Metallurg Chenot, dass geschmolzenes, leicht aufsaugendes Eisen, wenn es in Oel gelassen wird, bei der gewöhnlichen Temperatur cementirt und in Stahl verwandelt wird. Soviel der Autor weiss, ist aber dieses Experiment von keinem andern Beobachter bestätigt worden.

peratnr verringert wird, so hielten wir die Nachforschung für nicht uninteressant, ob dieselbe Wirkung hervorgebracht wird, wenn die Streckung bei anderen Temperaturen erfolgt, und wenn dies geschieht, in welcher Weise. Zu diesem Zwecke bestimmten wir die specifischen Gewichte einiger in **Tabelle VII** aufgeführter Stangen nach dem Bruche, indem wir sowohl den abgefeilten als auch den im ursprünglichen Zustande befindlichen Theil prüften, welcher im Allgemeinen keine merkliche Veränderung durch die Streckung erlitt. Wir hofften aus dieser Bestimmung einige Aufklärung über die sehr merkwürdige Eigenschaft des Eisens, bei einer bestimmten höheren Wärme fester zu werden, als es bei gewöhnlichen Temperaturen ist, zu erhalten. Wie jedoch aus **Tabelle VII** zu ersehen, ergaben sich im Allgemeinen keine bedeutenden Differenzen zwischen den Verminderungen der specifischen Gewichte, wenn der Bruch durch Dehnung bei verschiedenen Temperaturen herbeigeführt wurde.

7. Experimente über Elasticitäts-Modul und Elasticitäts-Gränze des Eisens und Stahles bei verschiedenen Temperaturen: Beschreibung des dabei benutzten Apparates.

Es sind auch Experimente angestellt worden, um zu bestimmen, in wie weit die Lage der Elasticitätsgränze und der Werth des Elasticitätsmoduls des Stahles und Eisens von der Temperatur abhängig sind, bei welcher die Streckung erfolgt. Die bei diesen Experimenten verwendeten Stangen waren je 6 Fuss lang und wurden in den oben beschriebenen und auf **Taf. VII, Fig. 1 bis 4** dargestellten Apparat eingespannt. Dieser Apparat besteht, wie schon erwähnt, der Hauptsache nach aus einer Messingröhre *A* von ungefähr 4,76 Fuss Länge und 2 Zoll Weite. An dem unteren Theile dieser Röhre ist eine ebensolche kleinere *B* mit ihren beiden Enden eingelassen, und von der Mitte laufen zwei krumme Röhren *D* und *E* aus. Während der Experimente bei grosser Kälte wurde *D* mittelst Röhren mit dem obern Theile von Carré's Gefrierapparate in Verbindung gebracht, und eine auf *B* festgelöthete Röhre *C* ist mit dem untern Theile in der den Hauptsachen

nach gleichen Weise wie auf **Taf. VI, Fig. 3** gezeigt, verbunden. Ist der Apparat in Thätigkeit, so geht ein Strom von kaltem Spiritus von dem Boden des Cylinders *b* durch den Gummischlauch nach *C*, wo er in zwei Theile getheilt wird, deren je einer nach beiden Enden der grossen Röhre *A* geht. Er tritt also an der unteren Seite ein, nimmt aber seinen Ausgang in der Mitte des oberen Theiles durch *D* und kehrt durch die Verbindungsröhren nach den oberen Theilen des Gefrierapparates zurück. Zwei kleine Röhren *cc* sind auf *A* aufgelöthet, um die Thermometer aufzunehmen, deren Kugeln, wenn nöthig, fast bis auf den Boden von *A* herabgelassen werden können, da die Röhren *cc* parallel der vertikalen Ebene liegen, welche durch die Axe von *A* geht. Der Röhrenapparat ist auch wie bei den Bruch-Experimenten mit einem Zink-Muffe umgeben, dessen Aussenseite mit einer dicken Schicht Watte belegt ist, welche wir nicht mit abzubilden brauchen. Hat die in dem Gefrier-Apparate befindliche Pumpe ungefähr eine Viertelstunde gearbeitet, so wird, wenn der Apparat gut isolirt ist, die Temperatur um die Stange ganz gleichmässig, und der Thermometer in der Mitte von *A* steht um 0,04 bis 0,1° C. höher als die an den beiden Enden von *A*, wo der Strom von kaltem Spiritus eintritt.

Damit der Apparat, wenn er mit Spiritus gefüllt ist, nicht auf die unter Probe befindliche Stange drückt, so wurde er stets wie bei anderen Experimenten mittelst einiger Schnuren an zwei Balanciers aufgehängt, die ungefähr 1 Fuss lang waren und auf einem darüber befindlichen Gerüste ruhten; diese wurden dann mit einem solchen Gegengewichte versehen, dass, wenn die Muttern der Schrauben *kk* (**Taf. I, Fig. 2**) gelöst wurden, die Stange sich frei in den Oeffnungen der Querriegel *h* und *i* (**Taf. I, Fig. 3** und **4**) bewegen konnte.

Bei Experimenten in hohen Temperaturen wurden die Röhren *C* und *E* (deren letztere S-förmig gebogen und elliptisch von Form ist, um die Biegung zu erleichtern) durch starke Gummischläuche mit den Röhren *a* und *b* verbunden, welche von dem auf **Taf. VI, Fig. 4** und **5** dargestellten Kupfer-Bassin *A* ausgehen. Ist der ganze Apparat mit heissem Paraffin gefüllt, so wird dasselbe durch die in *A* befindliche Pumpe

durch die Röhre *a* nach *B* gedrückt (Taf. VI, Fig. 4), wo es sich in zwei Ströme theilt, welche in *A* an der untern Seite nahe den beiden Enden eintreten. Wie das Paraffin abkühlt, so fällt es zu Boden und nimmt daher an der untern Seite von *A* durch die Röhre *E* seinen Ausgang und kehrt durch *b* (Taf. VI, Fig. 4) nach dem oben beschriebenen Kupferreservoir zurück, wo es von Neuem erhitzt wird. Natürlicherweise ist der Röhren-Apparat, welcher die Probestange umgiebt, während dieser Experimente von dem Zinkmuffe mit der Watthülle umgeben.

Wenn das Paraffin durch die in *C* befindliche Pumpvorrichtung in beständiger Bewegung, und der Apparat in der oben beschriebenen Weise bedeckt erhalten worden war, so wichen die an den beiden Enden von *A* angebrachten Thermometer selten um mehr als $0,05^{\circ}$ von einander ab. Wenn das Pumpen ungefähr eine Viertelstunde vor sich gegangen war, so differirte der Thermometer in der Mitte mit denen an beiden Enden gewöhnlich nicht um mehr als um $0,25^{\circ}$. Bei höheren Temperaturen als 150° C. greift Paraffin dünne Gummischläuche sehr schnell an, und deshalb liessen wir bei unsern Experimenten die Temperatur selten höher als bis zu diesem Punkte steigen.

In der Mitte der Röhre *A*, Taf. VII, Fig. 1 und 2, ist die oben beschriebene Vorrichtung angebracht, durch welche die Lage der Probestange so justirt werden kann, dass die dehrenden Kräfte so centrisc h als möglich wirken; daher können die nöthigen Korrekturen für die verschiedenen Krümmungen der Stange bei den einzelnen Fällen vorgenommen werden.⁶⁾ Die Formel für diese Korrekturen, sowie für die

6) Zuseiten der Röhren *ee* (Taf. VI, Fig. 1 bis 4) und parallel mit ihnen befinden sich zwei grosse Röhren *ll*, in denen zwei an ihrem untern Ende rechtwinklig aufgebogene Stangen *mm* liegen. Der Zweck dieser Stangen ist der, die Probestange unten aufzunehmen, und sie so hoch zu heben, dass sie die Stäbe *dd* berührt, die bei einem vorhergehenden Experimente adjustirt worden sind und von Schrauben gehalten werden, sodass die Mitte der Stange genau in dieselbe Lage gebracht wird, wie vorher. Wenn die Stangen *mm* die Probestange gehoben haben, müssen sie natürlich festgelegt werden, was Styffe, Eisen und Stahl.

der Temperaturen, hat sich als die folgende herausgestellt, wenn die Ebene der Skalen, wie dies gewöhnlich der Fall war, ungefähr 3,6 Linien über der Axe der Stange lag:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0,064 (x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 7248 \delta (t_1 - t_0).$$

Zum Theil, und zwar hauptsächlich, auf Grund gewisser wohlbekannter Experimente über den Expansions-Koefficienten von Stahl und Eisen, und zum Theil auf Grund unserer eigenen Experimente, bei welchen die Länge verschiedener, in unsern Apparat eingeführter und durch entsprechende geringe Gewichte gestreckter Stangen, bei Temperatur-Differenzen von -13° bis 8° C. gemessen wurden, befanden wir es für nöthig, dem Koefficienten $t_1 - t_0$ in der obigen Formel folgende Werthe zu geben:

	7248 δ =
Für Stahl bei ungefähr $- 25^\circ$ C.	0,065
„ „ „ „ $+ 15^\circ$ „	0,078
„ „ „ „ $+ 130^\circ$ „	0,088
Für Eisen „ „ $- 25^\circ$ „	0,072
„ „ „ „ $+ 15^\circ$ „	0,085
„ „ „ „ $+ 130^\circ$ „	0,095

Der Expansions-Koefficient scheint beim Stahle so abzunehmen, wie die Kohlenbeimischung zunimmt, da aber die Temperatur-Differenz bei zwei aufeinander folgenden Ausdehnungen selten mehr als $0,25^\circ$ betrug, so fanden wir es nicht für nöthig, diesen Umstand zu notiren. Ueberdies wird

durch kleine Schoten erreicht wird, die so an die Spitzen angeschraubt sind, dass sie die Deckel auf den oberen Theilen von *ll* berühren. Soll die Länge der Stange gemessen werden, wenn sie, wie oben angegeben, freigemacht worden ist, was besonders der Fall sein kann, wenn der Hebel mit Gewichten belastet ist, die schwer zu entfernen sind, so können wir die Stange auf diese Weise in dieselbe Lage bringen, welche sie bei der vorigen Messung einnahm, wenn sie durch eine solche Last gestreckt wird, dass sie fast gerade ist. Da sich jedoch herausstellt, dass selbst vermittelt der Haken die freie Stange nicht mit derselben Genauigkeit gemessen werden konnte, als wenn sie von einer geringen Kraft gestreckt wurde, so liessen wir diese Haken gewöhnlich unbenutzt; denn ein solcher Grad von Genauigkeit war selten nöthig.

D. Verf.

die Temperatur der Probestangen von den Thermometern nicht genau angegeben, woher denn auch die korrigirten Längenmessungen immer dann die grösste Uebereinstimmung zeigten, wenn die Temperatur fast konstant erhalten werden konnte.

Bei allen diesen Nachforschungen wurde das zum Messen der Ausdehnungen benutzte Instrument in Baumwolle und Kalliko gewickelt, so dass es von der Temperatur des Apparates nicht afficirt werden konnte. Auf diese Weise war das Instrument so wohl geschützt, dass Thermometer, welche in Baumwolle gesteckt wurden, selten um mehr als $0,5^{\circ}$, während einer mehrstündigen Reihe von Experimenten, fielen oder stiegen. Unter diesen Umständen ist es sicher, dass die Länge des Messinstrumentes während der kurzen Zeit, welche zwischen den auf einander folgenden Maassbeobachtungen verfloss, sich nicht merklich verändern konnte, ein Punkt, welcher bei der Bestimmung des Elasticitätsmoduls natürlich von der grössten Wichtigkeit ist.

8. Experimente über die Lage der Elasticitätsgränze bei verschiedenen Temperaturen.

Da bei diesen Experimenten die Temperatur derjenigen Theile der Probestangen, welche zwischen den Abzweigungen der Röhre *A* und den Fixpunkten der Skalen liegen, in bedeutendem Maasse von der innerhalb der Röhre *A*⁷⁾ befindlichen abweichen konnten, so fanden wir es für nöthig,

7) Um uns eine annähernde Vorstellung von der Temperatur, welche in diesen Theilen der Probestange herrscht, zu verschaffen, lötheten wir Drähte von Britanniametall und Eisen an denjenigen Punkten der Stange fest, welche ungefähr 5 Fuss derselben abtheilten, also die Fixpunkte der Skalen waren. Die andern Enden der Britanniametall-Drähte wurden an andere Eisendrähte gelöthet, und ihre Vereinigungspunkte in ein Bad von kaltem Spiritus oder heissem Paraffin gelegt, dessen Temperatur genau regulirt und gemessen werden konnte. Wurden die Eisendrähte mit einem Galvanometer in Verbindung gebracht, so konnte die Temperatur durch diese thermoelektrische Vorrichtung bestimmt werden. Auf diese Weise fanden wir, dass, wenn einer der Fixpunkte der Skalen 1,744 Zoll ausserhalb der Abzweigung von der Röhre *A* stand, und die Temperatur inner-

bei den Experimenten über die Lage der Elasticitätsgränze, eine permanente Ausdehnung dieser Theile zu verhindern. Wir haben bei dieser Art unserer Nachforschungen daher nur Stangen benutzt, welche auf eine Länge von ungefähr 4,5 Fuss abgefeilt waren, sodass der Querschnitt an dieser Stelle, wenn er auch vorher rund war, nun fast quadratisch und um 33 Proc. kleiner als derjenige der andern Theile geworden war. Diese Stangen wurden so in dem Apparate befestigt, dass der abgefeilte Theil vollständig in der Röhre *A* eingeschlossen war (Taf. VII, Fig. 1 und 2) und seine beiden Enden sich in ungefähr gleichen Entfernungen von den Abzweigungen der Röhre befanden. Diese Vorsicht war besonders deshalb sehr nöthig, weil sich bei früheren Flexions-Experimenten gezeigt hatte, dass die Elasticitätsgränze des Stahles und Eisens, bei sehr niedrigen Temperaturen höher ist als bei gewöhnlichen.⁸⁾

Die Lage der Elasticitätsgränze des Stahles und Eisens ist, wie oben bewiesen, in hohem Maasse von der mechanischen Behandlung, welche das Material vorher erfahren, und

halb derselben — 4° C. war, alsdann die Temperatur am Fixpunkte der Skala — 5° C. betrug, und dass, wenn sie am ersteren Orte 137° C., sie am letzteren nur 76° war, während in beiden Fällen die Temperatur innerhalb der Röhre wenigstens eine Viertelstunde lang fast konstant erhalten wurde.

Durch Auflöthung von Argentan- und Eisendrähnen an dem Vereinigungspunkte des abgefeilten und nicht abgefeilten Theiles der Stange fanden wir auf dieselbe Weise, dass, wenn die Stange in einem Paraffinbade von ungefähr 140° C. erwärmt wurde, und der betreffende Vereinigungspunkt sich ungefähr 1,166 Zoll innerhalb der Abzweigungen der Röhre *A* befand, die Temperatur um nicht mehr als 0,15° niedriger war, als die von dem in der Röhre befindlichen Thermometer angezeigte. Daher können wir annehmen, dass die Thermometer in *A* die Temperatur immer mit genügender Genauigkeit angaben.

D. Verf.

8) Diese Experimente wurden mit Stahl- und Eisendrähnen von ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser vorgenommen, welche in der Axe des Cylinders *b* von Carré's Gefrier-Apparat eingespannt, und mittelst einer Art Schraube an dem untern Theile des Reservoirs *B* befestigt, und oben an einer eisernen Axe angebracht wurden. Diese lag in einem Messinghalter in dem Mittel-

und von der Temperatur, welcher es darauf ausgesetzt worden ist, abhängig. Diese Gränze kann man daher ohne vorhergegangene specielle Bestimmung niemals mit Genauigkeit angeben, und eben durch diese Bestimmung wird die Elasticitätsgränze selbst erhöht. Es hat sich gefunden, dass für eine Stange, welche über ihre Elasticitätsgränze hinaus gedehnt worden ist, die Lage der neuen Gränze unter gewöhnlichen Umständen sich leicht durch graphische Darstellung der permanenten Ausdehnungen, bestimmen lässt. Denn es liegen, wie oben erklärt worden, die oberen Theile der Kurven für eine neue Reihe von Experimenten bei derselben Temperatur, in der Verlängerung der vorhergehenden Kurven. Beim Beginne dieser Experimente nahmen wir daher an, dass durch Benutzung dieses Umstandes es möglich sein werde, die Abhängigkeit der Lage der Elasticitätsgränze von der Temperatur, bei welcher die Ausdehnung erfolgte, mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Es sollte daher zu diesem Zwecke für jede einzelne Stange die Elasticitätsgränze zuerst bei gewöhnlicher und dann bei sehr hoher oder niedri-

punkte eines hölzernen Deckels, welcher am Cylinder *b* befestigt und mittelst eines Griffes beweglich war. Der Cylinder *b* wurde während des Experimentes zur grösseren Hälfte voll Spiritus gegossen.

Es stellte sich heraus, dass, sobald sich ein Theil des Drahtes über dem kalten Spiritus befand, nur derjenige Theil, welcher weniger kalt war, sich zusammendrehte bis er endlich brach, während, wenn die eiserne Axe den Spiritus berührte, sich der Draht ziemlich gleichmässig zusammendrehte. Indem man die eine Seite des Drahtes mit Kupfer bekleidete, war es leicht, zu zählen, wie oft sich die Drähte auf eine bestimmte Länge zusammendrehen konnten, ehe sie brachen. In dieser Weise prüften wir Eisendraht von Lesjöfors und Gunnebo, der aus sehr kaltbrüchigem Eisen, das durch den schwedischen Raffinir-Process hergestellt worden, gezogen war, und 0,25 Proc. Phosphor enthielt, sowie auch englischen Gussstahl-Draht. Es stellte sich heraus, dass sich diese Drähte auf eine bestimmte Länge, ohne zu brechen, fast eben so oft bei einer niedrigen Temperatur von -6° bis $+4^{\circ}$ C. als bei gewöhnlicher, zusammendrehen liessen.

Diese vorläufigen Experimente scheinen zu beweisen, dass Stahl und Eisen bei niedriger Temperatur nicht brüchig wird, wie man vorher glaubte, sondern eine eben so grosse Streckbarkeit und Zähigkeit behalten, wie bei gewöhnlichen Temperaturen. D. Verf.

ger Temperatur bestimmt werden. Dann sollten die Elongations-Kurven für beide Theile der Experimente konstruirt und endlich der Punkt bestimmt werden, in welchem die Tangente an dem obern Theile der letzten Kurve die Ordinate des Endpunktes der ersteren schneidet, wie dies durch die punktirten Linien in den drei ersten Kurven auf **Taf. VIII** gezeigt ist, welche der Stange **No. 2** in **Tabelle VIII** angehören. Die Länge desjenigen Theils der Ordinate, welcher zwischen der erwähnten Tangente und dem Ende der vorhergehenden Kurve liegt, würde also die temporäre Erhöhung oder Erniedrigung der Elasticitätsgränze messen, welche aus der Differenz der Temperatur bei den verschiedenen Experimenten resultirt. Auf diese Weise fanden wir, dass die Elasticitätsgränze des Stahles und Eisens bei niedrigen Temperaturen stets höher und beim Eisen bei hohen Temperaturen niedriger liegt, als wenn die Streckung bei der gewöhnlichen Temperatur erfolgt, dass sie aber andererseits für harten Stahl bei 130° bis 150° C. manchmal höher, manchmal niedriger ist. Fand sich für solchen Stahl die Elasticitätsgränze bei ungefähr 140° C. höher als bei 15° C., und wurde die Prüfung bei letzterer Temperatur noch einmal vorgenommen, so war das Resultat oft etwas grösser, als man nach den Experimenten bei hohen Temperaturen hätte voraussetzen sollen. Dies war dem nachmals beobachteten Umstande zuzuschreiben, dass, wenn eine gestreckte Stange, nur bis zu so gemässigten Temperaturen wie 130 und 150° C., erwärmt wird, eine Veränderung in der Lage der Molekullen ihres Metalls vor sich geht, welche auch nach Aufhören der Hitze fortbesteht; und aus diesem Grunde ändert sich oft die Elasticitätsgränze permanent. Da wir wussten, dass die Elasticitätsgränze des Stahles und Eisens durch Ausglühen herabgedrückt wird, nachdem sie vorher durch Streckung oder andere mechanische Behandlung erhöht worden war, so konnten wir nicht erwarten, dass eine mässige Erhitzung dieselbe noch erhöhen könne.⁹⁾ Mitunter fanden wir selbst, dass die Elasticitätsgränze gestreckter Stangen

9) Vergl. Tabelle VIII, Stange No. 1, 2. Exp. mit No. 6, 2. Exp. und No. 9, 7. Exp.

ganz allein dadurch erhöht wurde, dass wir sie nach der Streckung mehrere Tage ruhig stehen liessen. Oben haben wir nachgewiesen, dass auch der Elasticitätsmodul gestreckter Stangen von Stahl und Eisen durch die Einwirkung der Ruhe oder mässigen Hitze erhöht werden kann. Das Metall scheint hierdurch gleichsam neue Kräfte zu sammeln, nachdem es an denselben durch übergrosse Ausdehnung gelitten hatte. Dagegen haben wir nicht gefunden, dass durch sehr niedrige Temperaturen irgend ein merklicher permanenter Einfluss auf die Lage der Elasticitätsgränze im Stahl und Eisen ausgeübt worden wäre.

Indem wir auf diese Weise die Lage der Elasticitätsgränze bei hohen Temperaturen bestimmten, konnte der temporäre Einfluss der Hitze nicht scharf genug von dem permanenten getrennt werden, und aus diesem Grunde geben die durch obige Methode erhaltenen Resultate, wenigstens bei Eisen, keine zuverlässigen Maasse für den temporären Lagewechsel der Elasticitätsgränze. Da jedoch nach dieser Seite hin bisher nur wenige Forschungen angestellt worden sind, hielten wir unsere Resultate für die Veröffentlichung wichtig genug. Wir haben deshalb in **Tabelle VIII** die Resultate der auf die Lage der Elasticitätsgränze bei sehr niedrigen Temperaturen, bezüglich, sowie der zur Bestimmung des permanenten Einflusses der Erhitzung und Abkühlung unternommenen Experimente, gegeben. Experimente über die Lage der Elasticitätsgränze bei verschiedenen Temperaturen, sollten jedoch mit, zum mindesten für praktische Zwecke, genügender Genauigkeit angeben, um wieviel dieselbe für Eisen und Stahl, wenn bei niedrigen Temperaturen gestreckt, erhöht wird, und innerhalb welcher Gränzen dieselbe variiren kann, wenn das Material bei Temperaturen, die nicht höher sind, als 150° C. gestreckt wird.¹⁰⁾ Einige dieser Experimente sind auf **Tafel VIII** graphisch dargestellt.

10) Wir wären in der That im Stande gewesen, den Wechsel der Lage der Elasticitätsgränze mit der Temperatur zu bestimmen, wenn wir mehrere Theile derselben Stange bei verschiedenen Temperaturen geprüft hätten. Doch hatten wir keine Stangen zu unserer Disposi-

9. Experimente über die Veränderung des Elasticitätsmoduls bei verschiedenen Temperaturen.

Bei unsern Experimenten über den Wechsel des Elasticitätsmoduls mit den Temperaturen, haben wir, wie oben bemerkt, zuerst durch mehrere Experimente bei gewöhnlichen Temperaturen die Differenzen zwischen den elastischen Ausdehnungen bestimmt, wenn die Stange nach und nach durch passende Gewichte gestreckt wird, und haben den Durchschnitt dieser Differenzen, korrigirt durch die gegebene Formel, berechnet. Aehnliche Bestimmungen wurden darauf bei hohen und niedrigen Temperaturen vorgenommen, und dann bei gewöhnlichen erneuert.

Ist die Stange weder vor dem Experimente noch während desselben überstreckt worden, so haben die Resultate der Streckung bei gewöhnlichen Temperaturen, wenn dieselbe nach der Erhitzung oder Abkühlung vorgenommen wurde, immer die engste Uebereinstimmung gezeigt. Wir nahmen alsdann den Durchschnitt aller und verglichen ihn mit den mittleren Resultaten der Experimente bei hohen und niedrigen Temperaturen. Wenn E_1 den Elasticitätsmodul bei hoher oder niedriger Temperatur bezeichnet, $L_1 - L_0$ den mittleren Werth der korrigirten Differenzen zwischen den durch die Belastungen P_1 und P_0 hervorgebrachten elastischen Ausdehnungen, und $E, L' - L, P'$ und P die entsprechenden, durch Streckung bei gewöhnlichen Temperaturen erzielten Werthe, so erhalten wir

$$\frac{E_1}{E} = \frac{L' - L}{L_1 - L_0} \cdot \frac{P_1 - P_0}{P' - P};$$

oder wenn, wie es gewöhnlich der Fall war, $P_1 - P_0 = P' - P$, so ist

$$\frac{E_1}{E} = \frac{L' - L}{L_1 - L_0}.$$

Das Verhältniss $\frac{E_1}{E}$ ist auf diese Weise also stets von dem Querschnitte der Stange, und die Genauigkeit, mit welcher
tion, die für solche Nachforschungen lang oder glatt genug gewesen wären.
D. Verf.

es bestimmt werden kann, wenn die dehnende Kraft bei allen Experimenten dieselbe ist, nur von der Genauigkeit, mit welcher die Differenzen zwischen den elastischen Ausdehnungen gemessen werden, abhängig.

Ist die Stange entweder vor dem Experimente oder während desselben überstreckt worden, oder ist sie vorher in kaltem Zustande oft krumm und wieder gerade gebogen worden, so ergeben die Experimente, welche mit derselben Belastung bei gewöhnlicher Temperatur nach einer Reihe von Experimenten bei höherer (manchmal auch nach denen bei niedriger) Temperatur vorgenommen werden, geringere Differenzen zwischen den elastischen Ausdehnungen, als diejenigen, die vor einer solchen Experiment-Reihe veranstaltet wurden. Dies rührt von dem schon angedeuteten Einflusse her, welchen jeder bedeutende Temperaturwechsel auf überstreckte Stangen ausübt, indem er zum Theil die durch die Ueberstreckung verloren gegangene elastische Kraft des Materials wieder herstellt.¹⁾

Die Resultate dieser Experimente, welche viel Zeit in Anspruch nahmen und deren Ermittlung von grossen praktischen Schwierigkeiten begleitet waren, sind in **Tabelle IX** in übersichtlicher Form gegeben.

10. Resumé der Resultate der Experimente über Zugfestigkeit bei verschiedenen Temperaturen.

Aus den Experimenten über Zugfestigkeit bei bedeutend von einander abweichenden Temperaturen haben wir gefunden:

- 1) dass die absolute Festigkeit des Stahles und Eisens durch Kälte nicht verringert wird, dass sie aber selbst bei der

1) Ehe uns dieser Umstand bekannt war, versuchten wir die Abhängigkeit des Elasticitätsmoduls von der Temperatur zugleich mit der Elasticitätsgränze zu bestimmen. Doch wichen die erhaltenen Resultate bedeutend von einander ab, obgleich wir niemals diejenigen Experimentreihen mit einander verglichen, zwischen welchen die Stange eine permanente Ausdehnung angenommen hatte.

Die zahlreichen Experimente, welche wir nach dieser Richtung hin unternahmen, ergaben kein Resultat, ausser dem, dass wir mit

- niedrigsten Temperatur, welche in Schweden vorkommt, mindestens so gross ist, als bei gewöhnlicher (16° C.).
- 2) dass bei Temperaturen zwischen 100 und 200° C. die absolute Festigkeit des Stahles fast dieselbe wie bei den gewöhnlichen, die des weichen Eisens aber stets grösser ist.
 - 3) Dass bei grosser Kälte die Ausdehnbarkeit des Stahles und Eisens nicht geringer ist, als bei gewöhnlichen Temperaturen, dass sie aber von 130° bis 150° C. im Allgemeinen verringert wird, und zwar beim Stahle in nicht so bedeutendem Maasse als beim Eisen.
 - 4) Dass die Elasticitätsgränze des Stahles und Eisens bei grosser Kälte höher liegt, dass sie aber, zum wenigsten für Eisen, bei 140° C. niedriger ist, als bei gewöhnlichen Temperaturen.
 - 5) Dass der Elasticitätsmodul des Stahles und Eisens mit der Reduktion der Temperatur wächst, mit Erhöhung derselben aber kleiner wird, dass aber diese Variationen $0,05$ Proc. für $0,9^{\circ}$ C. niemals überschreiten, woher denn dieselben, wenigstens für gewöhnliche Zwecke, nicht von Wichtigkeit sind.

II. Gründe des häufigen Bruches gewisser eiserner Gegenstände bei grosser Kälte.

Da die soeben angeführten Resultate unserer Experimente augenscheinlich der bisher allgemein geäusserten Meinung: dass Stahl und Eisen bei niedrigen Temperaturen spröde werden, direkt widersprechen, so sei es dem Autor erlaubt, seine Ansicht über die Ursache, weshalb gewisse aus Stahl oder Eisen gefertigte Gegenstände, wie Jedermann weiss, während strenger Winterkälte häufiger brechen als zu andern Jahreszeiten, äussern zu dürfen. Die Fälle, auf welche derartige Beobachtungen sich gründen, sind, soviel wir wissen, hauptsächlich solche, wo die Gegenstände in der Weise be-

der Lage-Veränderung der Molekule gestreckter Stangen und mit einigen durch diese Veränderung bedingten Verhältnissen bekannt wurden.

D. Verf.

festigt sind, dass sie sich bei der Reduktion der Temperatur nicht zusammenziehen können. Sind sie also an irgend einem Punkte, z. B. durch den Durchgang einer Schraube oder Niete geschwächt worden, so muss der Bruch aus oben angegebenen Gründen erfolgen, selbst, wenn der Gegenstand aus ziemlich gutem Material gefertigt war. Andere Fälle des Bruches bei niedrigen Temperaturen sind diejenigen, wo das Objekt in freier Luft immer wiederkehrenden Stössen ausgesetzt ist, deren Intensivität hauptsächlich von der grösseren oder geringeren Festigkeit oder Elasticität des Metalles abhängt. Die nachtheilige Wirkung dieser Stösse ist hauptsächlich auf Eisenbahnen beobachtet worden. Während der strengen Winterkälte sind nicht allein die Schwellen hart und nur wenig elastisch, sondern es giebt auch der Grund, welcher oft bis in eine Tiefe von mehreren Fuss ausfriert, verhältnissmässig nur wenig nach, sodass die Stösse, welche jedesmal erfolgen, wenn die Waggonen über die geringste Unregelmässigkeit hinfahren, unter übrigens gleichen Umständen im Winter viel stärker wirken müssen, als zu andern Jahreszeiten.²⁾

2) Man könnte annehmen, dass die grössere oder geringere Elasticität des Bodens unter übrigens gleichen Umständen einzig und allein davon abhängt, wie tief er gefroren ist, und dass dieselbe in keiner Weise von der Anzahl von Graden, um welche die Temperatur unter den Gefrierpunkt fällt, beeinflusst werde. Doch dem wird durch den erfahrungsmässigen Satz, dass Brüche z. B. von Eisenbahnradreifen und Axen am häufigsten bei der strengsten Kälte vorkommen, widersprochen.

Um zu bestimmen, in welchem Maasse feuchtes Holz von Temperaturen unter 0° C. beeinflusst wird, wurde eine quadratische Tannenholzstange von 4,3 Fuss Länge und 0,625 Zoll Stärke unter Wasser gehalten, bis sie, wie die darauf folgende Prüfung ergab, 50 Proc. Flüssigkeit absorbirt hatte. Alsdann wurde sie mit Gutta-percha bedeckt, um eine Absorption, wenn sie in Spiritus getaucht würde, zu verhindern. Um den Betrag der Veränderung, welche sie durch dasselbe Gewicht bei verschiedenen Graden von niedriger Temperatur erlitt, zu bestimmen, wurde sie in den auf Taf. VII dargestellten, später zu beschreibenden Apparat eingespannt. Infolge der Eigenschaft der schlechten Wärmeleitung des Holzes, konnte die Temperatur im Innern der Stange nicht so schnell wechseln, wie die

Deshalb wird auch der Druck nicht nur auf die Schienen, sondern auch auf die Axen und Räder, und hauptsächlich auf die Radreifen, da diese den Stoss direkt erhalten, bedeutend grösser. Es ist daher klar, dass die Radreifen bei starker Kälte der Gefahr, zerbrochen zu werden, am meisten ausgesetzt sind.

Demnach kann den nachtheiligen Einwirkungen der niedrigen Temperaturen auf den Eisenbahnverkehr nur durch solche Mittel vorgebeugt werden, welche dahin zielen, die Heftigkeit der Stösse, welchen das Material ausgesetzt ist, zu verringern, wie z. B. geringere Geschwindigkeit der Züge und alle Mittel, durch welche die Fuhrwerke grössere Elasticität erhalten.

Es hat sich herausgestellt, dass Axen und andere eiserne Gegenstände, welche dadurch geprüft wurden, dass man sie auf zwei Unterlagen legte und ein Gewicht auf sie fallen liess, nur einer geringeren Anzahl von Schlägen oder nur Schlägen von geringerer Wucht widerstanden, wenn die sie umgebende Temperatur niedrig war, als unter andern Umständen. Und hieraus hat man denn allgemein geschlossen, dass Eisen bei niedrigen Temperaturen spröder sei, als bei gewöhnlichen. Doch ist zu beachten, dass bei solchen Experimenten dem Einflusse des hartgefrorenen Grundes, auf welchem die Unterlagen stehen sollten, oder der Art und Weise, wie ihre grössere oder geringere Solidität den durch das betreffende Objekt aus-

des sie umgebenden Spiritus. Da dieselbe durch einen Thermometer nicht angegeben werden konnte, so benutzten wir wieder eine thermoelektrische Vorrichtung, welche aus einem Paar Argentan- und Eisen-
drähten bestand, die aufeinander gelöthet, und in der Mitte der Stange befestigt waren. Nehmen wir den Betrag der Abweichung bei einer gewissen Belastung und $2^{\circ} \text{C.} = 100$ an, so wird sie bei $-2^{\circ} = 97,5$ bei $-4^{\circ} = 95$; bei $-17^{\circ} \text{C.} = 88$, und nimmt daher im letztern Falle um 12 Proc. ab.

Das Experiment beweist, dass feuchtes Holz bei sehr niedriger Temperatur bedeutend weniger nachgiebt, als wenn dieselbe nur einige Grad unter 0° ist, und wahrscheinlich ist dies derselbe Fall mit dem gefrorenen Grund.

geübten Widerstand afficirt, keine Rechnung getragen worden ist.³⁾

3) Von der grossen Sorgfalt und Genauigkeit, mit welcher diese Experimente ausgeführt wurden, vollständig überzeugt, kann der Uebersetzer nicht den geringsten Zweifel gegen die Richtigkeit der numerischen Resultate, oder gegen die Endgültigkeit der aus diesen gezogenen und oben angeführten Schlüsse erheben, dass nämlich die absolute Festigkeit des Stahles und Eisens durch den Einfluss der Kälte auf das Metall selbst, wenn es durch Streckung geprüft wird, nicht verringert werde. Wenn aber der Autor, wie soeben, diese neue Theorie auf den Fall: Eisenbahn-Material, wie Axen, Radreifen und Schienen, praktisch anwendet, welche, wie er sagt, Schlägen, und nicht der Wirkung eines todten Gewichtes ausgesetzt sind, und sich auf die verschiedene Elasticität der Schwellen zu verschiedenen Jahreszeiten als einzigen Grund, warum solches Material im Winter eher bricht, als im Sommer, bezieht, so kann der Uebersetzer keinesfalls mit ihm übereinstimmen. Der Autor wurde über diesen Punkt zu Rathe gezogen, da er aber darauf bestand, dass Eisen in seiner Widerstandsfähigkeit gegen Schläge durch die Kälte nicht beeinträchtigt werde, vorausgesetzt, dass die Elasticität der Unterlagen konstant bleibt, so hielt der Uebersetzer es für seine Pflicht, als Inspektor des Eisenbahnmaterials der schwedischen Regierung, die wahre Lage des Falles durch praktische Experimente zu erörtern. Es wurden daher unter Bewilligung der Staats-Eisenbahn-Administration, und nachdem der Autor zu Rathe gezogen war, im Winter und Sommer 1867 zu Stockholm Experimente angestellt. Es wurden eiserne Schienen auf Granitblöcke gelegt, die ihrerseits wieder auf soliden Granitfelsen lagen, und dann die in zwei Hälften zerbrochenen Schienen durch den Fall einer schweren Kugel geprüft: eine Hälfte im Winter bei -12°C. , die andere im Sommer bei -29°C. Die Resultate dieser Experimente waren, dass im ersteren Falle eine Schiene nicht mehr als ein Viertel des Schlages aushalten konnte, wie im letzteren. Vergl. den Anhang. C. Sandberg.

IV. Kapitel.

Flexions-Experimente bei verschiedenen Temperaturen.

I. Einleitung.

Da sich aus den soeben beschriebenen Experimenten ergeben hatte, dass der Elasticitätsmodul bei der Streckung für Stahl und Eisen von demselben specifischen Gewichte fast gleich ist, dass er aber mit der fallenden Temperatur zu- und mit der steigenden abnimmt, so hielten wir es der Mühe werth, zu untersuchen, welchen Einfluss diese Umstände bei der Biegung haben würden, denn die elastischen Verbiegungen können viel bedeutender sein, als die elastischen Ausdehnungen bei der Streckung, und deshalb lassen sich die ersteren auch genauer messen.

2. Beschreibung des bei den Flexions-Experimenten benutzten Apparates.

Wir hatten zu unserem Zwecke den auf **Taf. VII, Fig. 5** bis **10** abgebildeten Apparat benutzt. **Fig. 5** ist die Längs-Ansicht, **Fig. 6** der vertikale Längsschnitt durch die Mitte des Apparates, **Fig. 7** der Grundriss, und die übrigen Figuren Querschnitte; **Fig. 8** nach *XY* und **Fig. 9** nach *UV* in **Fig. 5**. **Fig. 10** ist ein Querschnitt nach *WZ* in **Fig. 7**. Bei Benutzung

dieses Apparates wird die Stange in die Messing-Röhre *a*, welche ungefähr 4,3 Fuss lang ist, und die in den Querschnitten **Fig. 8, 9 und 10** gezeigte Form hat, eingeschlossen. An beiden Enden der Röhre ist unten das eine Ende einer kleineren Röhre *b* befestigt, welche in der Mitte mit einer kürzeren, senkrecht auf ihr stehenden Röhre *c* versehen ist. Während der Flexions-Experimente bei niedrigen Temperaturen wird die Röhre *c* mit dem unteren Theile von Carré's Gefrier-Apparat in Verbindung gebracht, wie oben bei den Streckungs-Experimenten beschrieben worden ist. Der durch *c* einströmende Strom von kaltem Spiritus theilt sich dann in zwei Arme, welche nach *a* dicht an seinen beiden Enden hineinkommen und nach dem Gefrier-Apparate durch eine kurze Röhre *d* zurückkehren, welche von der obern Seite von *a* ausgeht. Bei den Flexions-Experimenten bei hohen Temperaturen dagegen sind die Röhren *c* und *d* durch einen festen Gummischlauch mit *a* und *b* auf **Taf. VI, Fig. 4** verbunden. Dann wird der Apparat mit heissem Paraffin gefüllt, welches durch die Pumpvorrichtung gezwungen wird, durch den ganzen Apparat zu cirkuliren, und dann in dem Reservoir *A* wieder erhitzt wird. An den beiden Enden von *a* sind kurze Röhrenstücke *ee* angebracht, durch welche die Probestange eingeführt wird. Sie sind mit dünnem Kautschuck überzogen wie in **Fig. 5 und 7** zu sehen, der so angebracht ist, dass die Stange regulirt werden kann, ohne dass man den Apparat zu leeren braucht. Starke eiserne Balken *ff* gehen durch die Wände von *a* nahe an dessen Enden, und sind in der Mitte so abgefeilt, dass eine scharfe Kante nach oben stehen bleibt, auf welcher die Probestange *A* während des Experimentes ruht, wie **Fig. 6** zeigt. Die Biegung der Stange geschieht durch einen eisernen Reif *h*, in dessen oberem Theile ein Stahlstab *i* mittelst einer Schraube und Mutter befestigt ist. Dieser Stab *i*, welcher in einer scharfen Ecke endigt, hat die in **Fig. 9** gezeigte Form und ruht während des Experimentes auf der Mitte der Probestange zwischen ihren beiden Stützen. Er kann sich in der Röhre *g*, welche oben auf *a* steht, frei auf und ab bewegen. Unten an *h* ist ein Haken *k* befestigt, in welchen eine Wagschale

zur Aufnahme der Gewichte gehängt wird. Oben auf dem Stabe *i* ist eine kleine Silber-Skala aufgelöthet, deren vertikale Mittellinie mit der Axe von *i* zusammenfällt. Der Haken *k*, an welchem die Schale hängt, soll eigentlich auch in der Verlängerung der Axe von *i* angebracht sein.

Ein an dem oberen Ende dieser silbernen Skala befestigter Faden dient dazu, den Reif *h* während des Experimentes mit dem einen Arme eines kleinen oberhalb befindlichen Balanciers in Verbindung zu bringen, an dessen andern eine Wagschale aufgehängt ist. Vermittelst passender Gewichte, welche in diese und die an dem Haken *k* hängende Schale gelegt werden, kann der Stab *i* immer in vertikaler Richtung, und der Reif *h* mit seinen Anhängseln nach Belieben im Gleichgewichte erhalten werden. Die Gewichte waren zu meist so gewählt, dass allemal ein neu hinzugefügtes Gewicht von 2 Pfd. einen neuen Druck auf die Stange ausübte. Die durch die Gewichte verursachte vertikale Abweichung der Stange nach unten, wurde durch einen Kathetometer gemessen, von welchem man $\frac{1}{50}$ Millimeter ablesen konnte. Es ist klar, dass sowohl der Apparat, in welchem die Probestange eingeschlossen war, als auch der Kathetometer auf vollständig soliden Unterlagen ruhen mussten. Oben auf *a* ist eine kleine Eisenstange *m* aufgelöthet, deren oberes Ende eine sehr empfindliche Indexskala trägt, von welcher vermittelst des Kathetometers abgelesen werden kann, ob die Unterlage der Probestange zwischen den verschiedenen Operationen des Apparates merklich erschüttert oder verschoben worden ist. Während des Experimentes wurde dünner Gummi über die Röhre *g* gebunden, welcher straff angezogen wird, wenn die Pumpe in dem Gefrier-Apparate oder in dem heissen Paraffin in Thätigkeit ist, aber nachgelassen wird, wenn mit dem Kathetometer Beobachtungen angestellt werden sollen. Die Röhren *mm* dienen zur Aufnahme von Thermometern. Unter der Wagschale, am Haken *k* aufgehängt, befindet sich eine kleine runde Platte, welche sich vermittelst einer Schraube nach Belieben in die Höhe oder herunterschrauben lässt, sodass das Gewicht ohne Erschütterung aufgelegt werden kann.

Bei den Experimenten bei hohen und niedrigen Temperaturen wurde natürlicherweise der Apparat, wie bei den Streckungs-Experimenten mit einem schlechten Wärmeleiter umgeben.

3. Experimente über die verschiedenen Grade der Steifigkeit des Eisens bei verschiedenen Temperaturen.

Ogleich der soeben beschriebene Apparat hauptsächlich zur Bestimmung des Elasticitätsmoduls konstruirt worden war, so wurde er doch auch zu einigen wenigen Experimenten über den Wechsel der Steifigkeit des Eisens bei verschiedenen Temperaturen benutzt. Zufolge der geringen Tiefe desselben konnten die Stangen bei diesen Experimenten nur eine leichte Verbiegung erleiden, und deshalb erachteten wir es nicht für nöthig, die Details dieser Experimente zu geben. Es wird genügen, wenn wir bestätigen, dass das Eisen bei der Flexion in kalten Temperaturen steifer war, als bei der in gewöhnlichen, und dass die Steifigkeit abnimmt, wie die Temperatur steigt.

4. Bestimmung des Elasticitätsmoduls bei der Biegung.

Bei Bestimmung des Werthes des Elasticitätsmoduls durch Biegung benutzten wir einige Stangen, die schon vorher durch Streckung geprüft worden waren, wie in **Tabelle IX** verzeichnet, wenn dieselben noch die nöthige Länge von 4,3 Fuss hatten, welche sie besitzen müssen, um in den auf **Taf. VII, Fig. 6 bis 10** gezeigten Apparat eingespannt werden zu können. Es sind auch noch andere Stangen bei diesen Experimenten geprüft und mit grosser Sorgfalt abgefeilt worden.

Für die vorliegende Art von Nachforschungen ist es von ungleich grösserer Wichtigkeit, als bei der Bestimmung des Elasticitätsmoduls durch Streckung, dass der Querschnitt der Stange, und besonders dessen Höhe gleichmässig und genau gemessen sei. Es sind daher bei diesen Experimenten die Dimensionen des Querschnittes mittelst der Mikrometerschraube nach jedem Zolle gemessen worden.

Styffe, Eisen und Stahl.

In die Formel zur Berechnung des Elasticitätsmoduls tritt nun noch der dritte Faktor, der der Höhe ein. Für vollständig regelmässige Stangen mit rechtwinkligem Schnitte, deren freie Enden auf den beiden Kanten im Apparate ruhen, gestaltet sich die Formel, wenn die Last in der Mitte wirkt, folgendermaassen:

$$E = \frac{Pl^3}{4bh^3f},$$

wenn P die Last in der Mitte der Stange, l die Entfernung zwischen den beiden Kanten, b die Breite der Stangen, h deren Höhe und f die Verbiegung der belasteten Stange bedeuten. Wenn die Stange nur gering belastet war, so war es nicht möglich, ihre Lage im Apparat genau zu bestimmen, sondern man konnte nur die Differenz zwischen den Abweichungen bei zwei verschiedenen Belastungen messen.

Bezeichnen wir diese Differenz zwischen den beiden Belastungen mit p , die Differenz der entsprechenden Deflektionen mit d , und setzen wir für l die wirkliche Länge zwischen den beiden Kanten im Apparate, welche 46,5 Zoll betrug, so erhalten wir die Formel:

$$E = \frac{p}{d} \cdot \frac{16000000}{bh^3}$$

Die in **Tabelle X** gegebenen Resultate zeigen unter Anderm, dass der Elasticitätsmodul einer und derselben Stange bei der Flexion im Allgemeinen fast denselben Werth hat, als derjenige, welcher durch die Streckung bestimmt worden war. Es ist oben in einer Anmerkung schon gesagt worden, dass vollständige Uebereinstimmung zwischen den Elasticitätsmoduls bei Flexion und Traktion nur unter gewissen Bedingungen erwartet werden kann. Auch darf nicht vergessen werden, dass, wenn das Material der Probestange auch nicht durchaus gleichmässig war, die gegenseitige Lage der verschiedenartigen Theile keinen Einfluss auf den Betrag der durch die Streckung verursachten elastischen Ausdehnungen hat, dass aber dagegen bei der Flexion die Qualität des Materials in der Mitte der Probestange, mehr als an jeder andern Stelle den Grad der elastischen Deflektionen beeinflusst.

5. Mittel, durch welche der Werth des Elasticitätsmoduls verändert werden kann.

Sowohl bei den Flexions- als auch bei den Extensions-Experimenten hatten wir Gelegenheit zu beobachten, wie die elastische Kraft einer und derselben Stange je nach der Behandlung die sie erleidet, variirt. Durch permanente Verbiegung wird der Elasticitätsmodul verringert, durch mässige Erhitzung wird er theilweise wieder hergestellt, und durch Rothglühhitze auf sein Maximum erhoben. Geringe, durch Belastung der Mitte der Stange verursachte permanente Verbiegungen vermindern den Elasticitätsmodul nur wenig, denn durch ein auf diese Art wirkendes Gewicht wird die Stange nur in der Mitte gebogen, während die andern Theile unberührt bleiben. Würde aber die Stange ihrer ganzen Länge nach gebogen, so dass eine Veränderung in der Lage aller ihrer Molekule oder doch wenigstens derjenigen des grössten Theiles derselben erfolgte, so könnte die Verringerung des Elasticitätsmoduls mehrere Procent betragen, wie sich dies aus den mit der Stange **No. 13** in **Tabelle X** angestellten Experimenten ergab.

Um noch deutlicher zu machen, welchen Einfluss mässige Erhitzung auf die elastische Kraft einer Stange ausübt, welche eine permanente Verbiegung erlitten hat, wollen wir beispielsweise die mit Stange **No. 1** in **Tabelle X** angestellten Experimente anziehen.

Nachdem der Reifen *h* nebst Zubehör in der oben beschriebenen Weise ins Gleichgewicht gebracht worden war, wurde in die unter demselben hängende Wagschale ein Gewicht von 70 Pfd. gelegt, und die Depression der silbernen Skala *l*, die an dem obern Ende des Stabes *i* befestigt ist (**Tafel VII Fig. 5, 6 und 9**) vermittelst des Kathetometers bestimmt. Aus der Differenz zwischen den Belastungen ($= 70$ Pfd.) wurde berechnet, dass die Differenz *d* zwischen den Verbiegungen im Durchschnitte 23,65 Millimeter betrug. Nachdem dieselbe Stange in der Mitte ungefähr um $\frac{3}{8}$ Zoll aufwärts gebogen und dann wieder gerade gezogen worden war, hatte sich *d* bei derselben Belastung bis 24,415 Millimeter vergrössert,

und zwar ist dies das Mittel aus mehreren Experimenten. Alsdann wurde die Stange ungefähr eine halbe Stunde lang in einem Paraffinbade von 125° C. erhitzt und hierauf langsam abgekühlt, worauf sich d bei demselben Gewichte nur mit 24,030 Millimetern ergab. Durch anstrengende Behandlung vor der Erhitzung war also die elastische Kraft der Stange um 3,1 Proc. verringert worden und nur die ungefähre Hälfte des Verlustes war durch die Erhitzung restituirt worden.

Betreffs der Wirkung des Ausgleiches auf die elastische Kraft des Stahles und Eisens wird es genügen, wenn wir auf **Tabelle X** verweisen.

Um den Einfluss der Härtung auf die elastische Kraft des Stahles zu bestimmen, wurde die Stange zuerst geprüft, nachdem sie erhitzt worden war, dann nach der Härtung, und endlich nachdem die Härtung durch Hitze wieder neutralisirt worden war. Wollte man den Elasticitätsmodul einer Stange, welche nicht erhitzt worden ist, mit dem für dieselbe Stange nach der Härtung geltenden vergleichen, so würde dies nur wenig Licht auf die Wirkung der Härtung werfen. Denn die Stange muss, um gehärtet zu werden, erst erhitzt werden, und aus diesem Grunde würde es bei den Experimenten mit gehärteten Stangen nicht möglich sein, zu bestimmen, ob die Veränderung der elastischen Kraft der Härtung oder der Erhitzung zuzuschreiben sei, oder in welcher Weise sie auf beide Einflüsse vertheilt werden müsse.

6. Experimente über den Einfluss der Temperatur auf den Elasticitätsmodul bei der Flexion.

Bei allen Experimenten, welche den Einfluss der Temperatur auf den Elasticitätsmodul betrafen, wurden die Stangen zuerst bei der gewöhnlichen, dann bei höherer oder niedrigerer Temperatur, und endlich wieder unter den gewöhnlichen Verhältnissen geprüft. Stimmen beide Experimentreihen bei der gewöhnlichen Temperatur überein, so ist es klar, dass der Temperaturwechsel die elastische Kraft der Stange nicht permanent verändert hat, sondern dass die bei

der gewöhnlichen und hohen oder niedrigen Temperatur beobachteten Differenzen zwischen den gewöhnlichen Verbiegungen nur von den thermometrischen Verhältnissen während des Experimentes herrührten.

Wenn E_1 und E_0 den Werth des Elasticitätsmoduls bei zwei verschiedenen Temperaturen t_1 und t_0 bezeichnen, d_1 und d_0 die gemessenen Differenzen der Verbiegungen bei demselben Gewichte, a den linearen Expansionskoeffizienten des Materials der Röhre a , so erhalten wir mit genügender Genauigkeit den Werth für das Verhältniss $\frac{E_1}{E_0}$ folgendermaassen:

$$\begin{aligned} \frac{E_1}{E_0} &= \frac{d_0}{d_1} [1 + a (t_1 - t_0)]^3 \\ &= \frac{d_0}{d_1} [1 + 3a (t_1 - t_0)]. \end{aligned}$$

Bei Abkühlung unseres Apparates von 15° auf -20° C. haben wir den mittleren Werth für $a = 0,000013$ und bei Erhitzung von 15° auf 130° C. $a = 0,00002$ gefunden.

Die erhaltenen Resultate sind in **Tabelle X**⁴⁾ gegeben. Es ist bei diesen Berechnungen keine Korrektur für die aus dem Temperaturwechsel resultirenden Dimensionsveränderungen vorgenommen worden, weil die Messung der Dimensionen im Allgemeinen bei Temperaturen zwischen 0° und 20° C. vorgenommen wurde, — und die Anwendung der Resultate auf einzelne Fälle mit dieser Korrektur viel schwieriger geworden wäre. Soll eine Vergleichung zwischen den Einflüssen der Temperatur auf die elastische Kraft bei Flexion

4) Die Art und Weise, in welcher die elastische Kraft von der Temperatur abhängig ist, ist auch von Kupffer mittelst transversaler Vibrationen gemessen worden. Seine Experimente wurden mit verschiedenen Stahl- und Eisensorten zwischen 15° und -17° C. und auch mit schwedischem und englischem Eisen bei ungefähr 100° C. vorgenommen. Nach seinen Experimenten sollte der von uns mit β_1 bezeichnete Koeffizient, der den Werth dieses Verhältnisses nach Procenten angiebt, für einen Temperaturwechsel von 1° C. = $0,019$ bis $0,028$ für Stahl und = $0,028$ bis $0,036$ für Eisen sein.

und Traktion, oder mit andern Worten zwischen den Werthen der Koefficienten β und β_1 , die in **Tabelle IX** und **X** gegeben sind, angestellt werden, so müsste die Korrektur genau genommen für beide Fälle vorgenommen werden, obgleich β dadurch nur um ungefähr 0,001 und β_1 um 0,004 vergrößert wird.

7. Resumé der Resultate der Flexions-Experimente.

Die Resultate aller dieser Flexions-Experimente können folgendermaassen kurz zusammengefasst werden:

- 1) Eisen hält bei niedrigen Temperaturen eine grössere, und bei hohen eine geringere Last aus als bei gewöhnlichen, ehe es eine merkliche permanente Deflektion annimmt.
- 2) Der Elasticitätsmodul für Stahl und Eisen bei Flexion kann für praktische Zwecke, und ohne dass dabei ein bedeutender Fehler begangen wird, gleich dem bei Traktion angenommen werden. Er wird durch permanente Deflektion verringert, kann aber durch Erhitzung, besonders wenn sie bis zum Rothglühen steigt, retabliert werden.
- 3) Wird Stahl gehärtet, so wird der Elasticitätsmodul vermindert, doch betrug diese Verminderung bei keiner der geprüften Stangen mehr als ungefähr 3 Proc.
- 4) Die elastische Kraft des Stahles und Eisens wird bei der Flexion wie bei der Traktion durch Temperaturerniedrigung erhöht, durch Temperaturerhöhung dagegen verringert. Der Betrag dieses Zuwachses oder dieser Abnahme für einen Temperaturwechsel von $1,8^\circ \text{ F.} = 1^\circ$ 100theiligen Thermometers, steigt im Allgemeinen nicht höher als bis 0,03 Proc. und erreicht unzweifelhaft niemals 0,05 Proc.

Anhang

von C. P. Sandberg.

1) Einleitung. 2) Experimente mit Eisen, welches bei verschiedenen Temperaturen plötzlichen Stössen ausgesetzt wird, bei gleichmässiger oder doch annähernd konstanter Elasticität der Unterlagen. 3) Resultate derselben. 4) Schlüsse daraus. 5) Wahrscheinliche Ursachen dieser Resultate. 6) Stahl *versus* Eisen.

I. Einleitung.

Obgleich die lange Reihe der von der schwedischen Regierungs-Kommission (bestehend aus den Herren Ekman, Styffe und Grill) angestellten und vom Autor im Vorhergehenden beschriebenen Experimente, den speciellen Zweck hatten, den Werth des schwedischen Roheisens für Herstellung von Eisenbahnmaterial (wie Schienen, Axen, Räder, Radreifen, Federn u. s. w.) zu bestimmen, so hat sie der Uebersetzer, in Betracht der Genauigkeit, mit welcher diese Experimente ausgeführt wurden, der Erstreckung auf Materialien fremd-Länder und der Schlüsse, auf welche sie führten, als der Aufmerksamkeit nicht nur der Eisenbahn-Techniker im Allgemeinen, sondern auch aller Eisen- und Stahl-Fabrikanten für würdig gehalten.

In unserer Zeit, wo Stahl *versus* Eisen die grosse technische Frage des Tages ausmacht, ist es von besonderer Wichtigkeit, alle Mittheilungen, welche Licht auf diesen Gegen-

stand werfen können und denen unpartheiische Erfahrung zu Grunde liegt, zu sammeln.

Betreffs der Frage, ob der Stahl an Stelle des Eisens treten solle, sind besonders in den Ländern, welche unter einem strengen Klima leiden, wie die Skandinavische Halbinsel, Russland, Canada und der nördliche Theil von Amerika, gewisse Einwürfe schon seit langer Zeit geltend gemacht worden.¹⁾ In Betreff dieses Punktes ist der Autor durch seine fleissigen Experimente zu gewissen bemerkenswerthen Resultaten gelangt, welche dem allgemeinen Glauben direkt entgegenlaufen — Resultate, welche faktisch nachweisen, dass Stahl und Eisen bei strenger Kälte, wenn überhaupt Etwas, stärker sind, als bei gewöhnlichen Temperaturen. Dieser Thatbestand stellte sich bei mehreren Experimenten heraus, wo Stahl und Eisen auf ihre Ausdehnbarkeit, Stärke und absolute Festigkeit geprüft wurden. Doch kann der Autor das Faktum nicht ableugnen, dass sowohl Stahl als auch Eisen, wenn sie zu Eisenbahnmateriale verwendet, also plötzlichen Erschütterungen ausgesetzt werden, bei starker Kälte häufiger brechen, als bei gewöhnlichen Temperaturen; er erklärt diese Thatsache aber dadurch, dass er die veränderte Elasticität der Unterlagen, auf welchen das Metall ruht, als Grund anführt.²⁾

1) Der allgemeine Einwurf gegen die Benutzung des Stahles in Stellvertretung des Eisens, ist der Mangel der Gleichmässigkeit bei der Herstellung. Wenn man sich auf die Stärke, Elasticität u. s. w. des Stahles verlassen könnte, so würde er in kurzer Zeit mit bedeutend höherem Preise an die Stelle des Eisens treten. — W. Fairbairn.

2) Es scheint, als ob harte Unterlagen, wie gefrorener Boden, nicht den einzigen Grund der schlechteren Beschaffenheit des Eisens und Stahles bei niedrigen Temperaturen ausmachten. In geringem Maasse wirkt dieser Umstand ein, aber doch nicht genügend, um die auf der betr. Tafel gegebene geringe Widerstandskraft zu erklären. Ohne Zweifel findet zwischen den Extremen der hohen und niedrigen Temperaturen eine Molekularveränderung statt, aber auch diese ist nicht beträchtlich, wie aus meinen eigenen Experimenten zu ersehen. Man wird finden, dass diese Experimente bei einer Temperatur von 30° unter dem Fahrenheit'schen Gefrierpunkte begannen, und der Reihe nach bis zu 212°, 435° und bei Tageslicht sichtbarer Rothglühhitze fortgesetzt wurden. Bei all diesen Veränderungen wurde die

Der Autor giebt auch die Richtigkeit der Behauptung zu, dass Brüche bei der intensivsten Kälte am häufigsten vorkommen. Aber auch dies führt er auf dieselbe Ursache zurück, indem er von seinen Experimenten mit einer nassen hölzernen Schwelle darauf schliesst, dass bei einer Temperaturreduktion von 2° auf -17° C. die Elasticität des Bodens um 12 Proc. verringert werde. (Vergl. pag. 122 ff.) Gestützt auf diese Experimente äussert der Autor die Ansicht, dass die einzigen Mittel, um Unfälle auf Eisenbahnen, welche in strengen Klimaten liegen zu verhindern, die wären, entweder die Geschwindigkeit während des Winters zu verringern, oder der rollenden Last durch Kautschuckfedern oder sonstwie mehr Elasticität zu verleihen.

Während des Winters 1865, in welchem zuerst Schnellzüge zwischen Stockholm und Gothenburg abgelassen wurden, ereignete sich ein Unfall, welcher den Schleier der Trauer über ganz Schweden zu werfen drohte. An einem Januar-Morgen verliess Seine Majestät der König Karl XV. Stockholm bei einem Thermometerstande von -29° C. mit dem gewöhnlichen Schnellzuge. Nachdem man mehrere Stunden lang mit einer Geschwindigkeit von 35 (engl.) Meilen pro Stunde gefahren war, brach der Radreifen eines der Räder am königlichen Wagen in drei Stücke, in Folge dessen sprang letzterer aus dem Gleise und wurde eine beträchtliche Strecke weit auf dem Damme hingeschleift. Glücklicherweise wurde aber Niemand beschädigt. Zwei Tage darauf ereignete sich

Zugfestigkeit der Platten und Stangen nicht beträchtlich afficirt, und gab Resultate, welche von den in Ihrem Falle (durch Stösse erreichten weit abwichen. Hieraus geht hervor, dass die Zähigkeit eiserner Platten und Stäbe bei einer so hohen Temperatur wie 435° nicht beträchtlich verändert wird, womit das Maximum der Zugfestigkeit erreicht wird, noch scheint sie in irgend bemerkenswerthem Grade zu leiden, wenn die Temperatur auf -30° F. reducirt wird. Bei dieser Temperatur wird aber die Elasticität bedeutend beeinträchtigt, und man riskirt bei Weitem mehr, wenn Vibration oder eine Reihe von Stössen eintritt. Vergl. „*On the tensile Strength of Wrought Iron at various Temperatures*“ veröffentlicht in den „*Transactions of the British Association for the Advancement of Science*“ für 1856, p. 405. — W. Fairbairn.

ein anderer Unfall bei ähnlicher Temperatur durch Bruch eines Radreifens, hatte aber glücklicherweise ausser dem Stosse, welchen ein Postmeister erhielt, der sich in dem Postwagen befand und in demselben eine steile Böschung hinabratschte, keine weiteren schlimmen Folgen. Der Eintritt eines dritten, ähnlichen Unfalles während dieser strengen Witterung bestimmte die Eisenbahn-Verwaltung, während des Winters auf eine verringerte Geschwindigkeit von ungefähr 25 Meilen pro Stunde zurückzugehen, und seitdem kam denn auch ein ähnlicher Unfall nicht wieder vor. Die Radreifen, welche bei den erwähnten Gelegenheiten brachen, waren aus Eisen hergestellt, welches in England bereitet worden und vermittelst Bolzen auf gewöhnlichen eisernen Rädern befestigt war. Seitdem benutzte man hölzerne Scheiben-Räder mit soliden Radreifen oder solchen ohne Schweissung und zugleich wurden Kautschuck-Federn zwischen dem Kastenrahmen und dem Kasten der Wagen eingeführt, Verbesserungen, durch welche die Bequemlichkeit der Passagiere bedeutend erhöht, und dem Eintritte fernerer Unfälle vorgebeugt wurde. Bemerkenswerth ist der Umstand, dass die drei oben erwähnten Unfälle alle gerade an den Tagen sich ereigneten, wo die Kälte am strengsten war, nämlich bei -29° C., während eines Frostes aber, wo der Thermometer nicht unter -15° C. fiel (einer Temperatur, die auf eine Dauer von mehreren Wochen hinter einander im schwedischen Winter gar nicht selten ist), kein einziger.

Um den Grund aufzufinden, warum Eisen in solchen Fällen wie die eben angeführten, geneigt ist, bei starker Kälte eher zu brechen als bei gewöhnlichen Temperaturen, und um zu bestimmen, inwieweit dies wirklich der verringerten Elasticität der Unterlagen, oder auch der grösseren Sprödigkeit des Metalles selbst zuzuschreiben sei, schlug der Uebersetzer der königlichen Staats-Eisenbahn-Administration vor, einige Experimente in grossem Maassstabe aber in einfacher, doch praktischer Weise ausführen zu lassen. Da die Resultate dieser Nachforschungen schon angegeben worden sind (vergl. die Anmerkung auf p. 125), so wird der Uebersetzer alle De-

tails dieser Experimente, welche, wie oben erwähnt einigen Schlüssen des Autors widersprechen, in Folgendem anführen.

2. Experimente mit Eisen, welches bei verschiedenen Temperaturen plötzlichen Stößen ausgesetzt wird, bei gleichmässiger oder doch annähernd konstanter Elasticität der Unterlagen.

Nachdem der Uebersetzer von der bezeichneten königlichen Administration mit der Ausführung dieser Experimente beauftragt worden war, unterbreitete er seinen vorgeschlagenen *modus operandi* dem Autor.

Die grösste Schwierigkeit bestand darin, Unterlagen zu finden, welche durch Temperaturwechsel nicht afficirt wurden. Wir nahmen jedoch an, dass die Elasticität des Granits innerhalb der Temperaturgränzen eines heissen Sommer- und eines kalten Wintertages nicht variiren werde, oder doch wenigstens nicht in dem Maasse, um die Resultate der Experimente zu beeinträchtigen. Demzufolge stellte der Uebersetzer seine Nachforschungen folgendermaassen an: Es wurde ein Granitfelsen in der Nähe von Stockholm auf seinem Platze planirt, und auf die so gewonnene Ebene legten wir 4 Fuss von einander entfernt, zwei Granitwürfel von je ungefähr 10 Kubikfuss, welche als Unterlagen dienen sollten. Eine 9 Centner schwere Kugel wurde so angebracht, dass man sie bis auf eine Höhe von 15 Fuss erheben und dann auf die Mitte der Schienen zwischen den beiden Blöcken fallen lassen konnte.³⁾ Die geprüften Stangen waren Eisenschienen aus den Aberdare Works in South-Wales und von Le Creusot in Frankreich, alle von genau demselben Querschnitte und unter der Aufsicht des Uebersetzers hergestellt. Jede Schiene zeigte Vignole's Profil,

3) Es sei hier erwähnt, dass alle harten Unterlagen als solche für Eisenbahnschienen nachtheilig sind, und dass ein zusammendrückbares und elastisches Material, wie Holz, welches in Erde gebettet ist, Steinblöcken unendlich überlegen ist, da dasselbe mit der porösen Erde gegenüber der rollenden Last als Kissen erscheint. Viele hundert Meilen, welche mit Steinblöcken belegt waren, mussten zur Zeit des Anfanges der Eisenbahnen neu mit Holzschwellen belegt werden. W. Fairbairn.

wog 66 Pfd. pro Yard, maass $4\frac{3}{4}$ Zoll in der Höhe und 4 Zoll Breite an der Basis. Auch wurden zwei belgische Schienen aus den Werken der Herren Dorlodot geprüft, doch waren dieselben von leichterem Konstruktions und wogen nur ungefähr 50 Pfd. pro Yard. Alle Schienen wurden durch die Kugel geprüft, welche beim ersten Schlage 5 Fuss hoch und bei jedem folgenden um 1 Fuss höher herabfiel, bis der Bruch erfolgte. Die Deflektion wurde nach jedem Stosse gemessen. Auf den Kopf jeder Schiene wurde ein kleines Stück Schmiedeeisen gelegt, um hiedurch die Wirkung des Stosses auf einen Raum von $1\frac{1}{2}$ Zoll zu konzentriren. Jede Schiene wurde zuerst in der Mitte zerbrochen und dann jede Hälfte (je 10,5 Fuss lang) mit derselben Nummer versehen. Alsdann wurden komparative Experimente mit diesen Hälften angestellt, indem die eine bei der strengsten Winterkälte, die andere an einem sehr heissen Sommertage geprüft wurde. Bei ersterem Experimente war die durchschnittliche Temperatur — 12° C., bei letzterem 29° C. Unglücklicherweise war der Winter zur Zeit; wo diese Experimente begannen, schon so weit vorgeückt, dass die Temperatur nie unter — 12° C. fiel.⁴⁾ In ähnlicher Weise wurden auch einige Schienen bei einer Temperatur von $+ 2^{\circ}$ C. geprüft.

Der erste Theil der Nachforschungen ging unter der persönlichen Beaufsichtigung des Uebersetzers, dem noch ein Aufseher im Staats-Eisenbahndienste zur Seite stand, vor sich. Der letzte Theil derselben, oder die Sommer-Experimente, wurden jedoch von des Uebersetzers Aufseher geleitet, da er selbst während des ganzen Sommers in Staats-Geschäften in England beschäftigt war. Er hat jedoch allen Grund zu der Annahme, dass die Experimente, welche in seiner Abwesenheit angestellt wurden, vollständig zuverlässig waren. Die beigegebene Tabelle giebt alle Details dieser Experimente indem sie die Länge und Qualität jeder Schiene, die Zahl der

4) In Schweden und Norwegen und allen nördlichen Gegenden, wo die Winter sehr streng sind, würden doppelt starke Holzschwellen den Schienen grössere Sicherheit bieten, und die Schwingung oder vibrirende Bewegung der Schienen und der rollenden Last verhindern. — W. Fairbairn.

erfolgten Schläge, die Höhe des Falles der Kugel, die Abweichung, welche jeder Schlag hervorbrachte, bis der Bruch erfolgte und die Temperaturen, bei welchen die Experimente angestellt wurden, aufführt. Bei Prüfung dieser Tabelle ist das erste Resultat, welches dem Beobachter ins Auge springt, die grosse Verschiedenheit in den Stärkeäusserungen der verschiedenen Schienen, wenn sie in der Mitte zerbrochen wurden. So brach z. B. die Schiene No. 4 beim ersten Schlage aus der Höhe von 5 Fuss, während eine andere Schiene aus denselben Werken No. 5 fünf Schläge aushielt, jeder folgende mit einem Zuwachs von 1 Fuss Fall der Kugel. Diese Differenz wird aber Denen, welche mit der Herstellung von Schienen praktisch bekannt sind, leicht verständlich sein, wenn sie sich erinnern, wie oft in denselben Werken die Qualität des Eisens sich ändert, und wie sehr es von der Länge der Zeit, während welcher die Stufe im Ofen geblieben ist, abhängt, sowie davon, dass es überhitzt ist, wenn es zu lange darin blieb. Dies Alles sind Gründe für die bedeutende Verschiedenheit der Schienen betreffs ihrer Stärke. Nichtsdestoweniger kann man wohl annehmen, dass die eine Hälfte einer Schiene nicht so gar bedeutend von der andern Hälfte abweichen werde, eine Annahme, auf welcher der Werth dieser Experimente basirt. Denjenigen aber, welche steif und fest darauf beharren, dass doch eine Verschiedenheit eben in derselben Schiene möglich, sei gesagt, dass die grosse Anzahl der geprüften Schienen (nämlich 7 von Aberdare, 5 von Creusot und 2 von Dorlodot) dennoch ein durchschnittliches Resultat ergaben, welches hinreicht, um auf sichere Schlüsse zu führen. Die in Fussen ausgedrückten Gesammthöhen, aus welchen die Kugel herabfiel, ehe die Schiene brach, können daher als komparativ numerische Ausdrücke für die bei diesen Experimenten geäusserten Widerstände und Stärken dienen.

3. Resultate der Experimente.

Aus den Details, welche in der beigegebenen Tabelle aufgeführt sind, entnehmen wir die totalen Werthe und stellen sie folgendermaassen zusammen:

Ganze Höhe des Falles der Kugel, welche nöthig ist, um jede einzelne Schiene bei verschiedenen Temperaturen zu zerbrechen.

Fabrikationsort der Schienen.	Laufende Nummer der Schienen.	Schienen von 21 Fuss Länge.			Schienen von 10,5 Fuss Länge.		
		Temperatur nach Cels.			Temperatur nach Cels.		
		29°	20	— 12°	29°	20	— 12°
Ganze Höhe des Falles in Fussen.							
Aberdare (Wales)	1.	—	11	—	45	26	—
„	2.	—	11	—	56	26	—
„	3.	—	18	—	35,5	11	—
„	4.	—	5	—	45,3	5	—
„	5.	—	45	—	56	—	18
„	6.	—	—	11	56	—	5
„	7.	—	—	5	35	—	5
Le Orensot (Frankreich)	1.	—	26	—	45	—	26
„	2.	—	18	—	35	—	11
„	3.	—	11	—	35	—	18
„	4.	—	35	—	45	—	11
„	5.	—	26	—	35	—	5
Fabrik von Dorlodot (Belgien)	1.	—	—	4	22	—	9
„	2.	—	—	4	30	—	4
Durchschnitt von:							
7 Englischen Schienen	—	—	18	8	49,6	17	9,3
5 Französischen Schienen	—	—	23,2	— 4	39	—	14,2
2 Belgischen Schienen	—	—	—	—	26	—	6,5
Durchschnitt von:							
3 Englischen Schienen	—	—	—	—	—	—	—
5 Französischen Schienen	—	—	—	—	—	—	—
2 Belgischen Schienen	—	—	—	—	—	—	—

Es zeigt die Durchschnittszahl von 10 geprüften Schienen, dass das eine Ende einer solchen bei 29° C. einen Schlag aus der Höhe von 39 Fuss aushielt, während das andere bei -12° C. nur einen solchen aus 11 Fuss Höhe aushielt.

Unsere Tabelle giebt die Nummer jeder Schiene, die ganze Höhe des Falls in Fussen, durch welchen die Schiene zuerst zerbrochen wurde, und den Widerstand, welchen jede Hälfte bei verschiedenen Temperaturen leistete. Die Summe der Resultate für jede Art von Schienen dividirt durch die Anzahl der Prüfungen, giebt den Durchschnitt für jede Sorte, wie in dem untern Theile der Tabelle zu ersehen. Die so erhaltenen Resultate zeigen, dass, wenn die Unterlagen konstant blieben, dieselbe Schiene, welche mittelst plötzlicher Stösse bei 29° C. und -12° C. geprüft wurde, Differenzen in der Widerstandsfähigkeit zeigte, welche durch die Zahlen, resp. 39 und 11 ausgedrückt werden können. Dieselben repräsentiren die ganze Höhe des Falles der Kugel, welcher die beiden Hälften jeder Schiene bei der Prüfung widerstanden, die eine bei 29° C., die andere bei -12° C.

4. Schlüsse hieraus.

Diese Experimente haben den Uebersetzer auf folgende Schlüsse geführt:

- 1) Dass für solches Eisen, wie in den drei hauptsächlichsten Schienenfabrikations-Gegenden (Wales, Frankreich und Belgien) zu denselben gewöhnlich benutzt wird, die brechende Kraft durch die Kälte bedeutend beeinflusst wird, indem dasselbe bei -12° C. nur ein Drittel bis ein Viertel der Festigkeit äusserte, welche es bei 29° C. besitzt.
- 2) Dass die Streck- und Biegsamkeit auch bedeutend von der Kälte afficirt wird. Denn Schienen, welche bei -12° C. zerbrochen wurden, zeigten im Durchschnitte eine permanente Deflektion von weniger als einem Zoll, während die andern Hälften derselben Schienen, welche bei 29° C. zerbrochen wurden, vor dem Bruche mehr als 4 Zoll Verbiegung zeigten.

- 3) Dass bei der Sommerhitze die Festigkeit der Schienen von Aberdare 20 Proc. grösser war, als derer von Creusot, dass aber im Winter die letzteren um 30 Proc. fester waren, als die ersteren.

5. Wahrscheinliche Ursachen dieser Resultate.

Seit langer Zeit sind wir mit dem Ausdrucke „kaltbrüchig“ in seiner Anwendung auf Eisen vollkommen vertraut, und nahmen dabei an, dass die Anwesenheit des Phosphors diese Eigenschaft bedinge, indem er das Metall, wenn es der Kälte ausgesetzt wird, äusserst spröde mache.⁵⁾ Die eben beschriebenen Experimente wurden zweifellos mit kaltbrüchigem Eisen angestellt (unglücklicherweise war aber der Phosphorgehalt nicht angegeben, doch enthielten, wie oben gesagt worden, Schienen von Cwm Avon 0,24 Proc. Phosphor) und deshalb ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Anwesenheit überhaupt des Phosphors im Eisen, den Grund zu dem anscheinenden Widerspruche zwischen den Resultaten des Uebersetzers, und den früheren Experimenten des Autors, gegeben hat. Hingegen muss erinnert werden, dass die Experimente des Uebersetzers auf der Anwendung plötzlicher Schläge, die des Verfassers dagegen auf der allmäligen Biegens und Streckens basirten, sodass die beiderseitigen Resultate sich nicht wohl vergleichen lassen. Nur dann fühlt sich der Uebersetzer veranlasst, von der Ansicht des Autors abzuweichen, wenn letzterer seine Experimente auf die Beurtheilung des Eisenbahn-Materials ausdehnt (welches als solches unvermeidlich fortwährenden Stössen ausgesetzt ist) und dann weiter schliesst, es sei dasselbe im Winter dem Bruche mehr ausgesetzt als im Sommer, und zwar einzig und allein wegen der verschiedenen Elasticität der Unterlagen. Wenngleich die Experimente, auf welche der Uebersetzer seine Opposition gründet, mit einiger-

5) Ohne Zweifel ist Phosphor und Schwefel ein Theil der in diesen Experimenten angegebenen Festigkeitsverluste zuzuschreiben, doch kann man Schlüsse hierauf nicht gründen, wenn nicht die Quantität angegeben wird. W. Fairbairn.

maassen primitiven Vorrichtungen angestellt wurden, so zeigen sie doch mit grösster Deutlichkeit, dass solches Eisen wie gewöhnlich zu Schienen verwendet wird, in seiner Widerstandsfähigkeit gegen Schläge von der Kälte in bedeutendem Maasse beeinflusst wird. Wäre das Eisen ganz oder wenigstens fast frei von Phosphor gewesen, so lässt sich wohl annehmen, dass von obigen sehr verschiedene Resultate erlangt worden wären. Sehr zu bedauern ist der Umstand, dass zu der Zeit, wo unsere Experimente angestellt wurden, nicht auch der Einfluss der Temperatur auf bessere Eisen- und besonders Stahl-Arten bestimmt werden konnte, doch waren damals noch keine Stahlschienen nach Schweden importirt worden.

6. Stahl *versus* Eisen.

Aus des Autors Experimenten und Schlüssen ist ersichtlich, dass er zur Herstellung sehr wichtiger Artikel dem Stahle vor dem Eisen den Vorzug giebt. Für Länder, welche wie Schweden unter der Strenge des Klimas leiden, empfiehlt er einen weichen Stahl, und zwar nicht nur zu Eisenbahn-Materialien, sondern auch zu Schiffsplatten, Brücken, Hänge werken, Kesseln, und fast zu allen hervorragenden Artikeln der gewöhnlichen Eisen-Manufaktur. Mit Recht sagt auch der Autor, dass nur der hohe Preis des Stahls denselben in seinen Fortschritten als Stellvertreter des Eisens aufgehalten habe. Jetzt ist aber durch die Erfindung des Bessemer Processes und die grossen Fortschritte, welche derselbe neuerdings gemacht hat, dieses Hinderniss zum grossen Theile bei Seite geräumt worden.

Hiermit stimmt nun der Uebersetzer vollständig überein. Er hat deshalb in **Tafel IX** die beiden **Tafeln III** und **IV** vereinigt, und alle diejenigen Kurven, welche die absolute Festigkeit des Bessemer und Gussstahles darstellen, in gezogenen, alle ändern in punktirten Linien angegeben.

Aus dieser Tafel ist leicht ersichtlich, dass das Bessemer Material fast dieselbe Probe der absoluten Festigkeit aushält, als irgend eine andere Stahlsorte, möge sie nun durch Puddeln, Holzkohlen-Raffinirung oder durch Guss hergestellt worden sein, jedoch immer unter der Voraussetzunge, Eisen und Stahl.

setzung, dass das Rohmaterial gleichmässig phosphorfrei sei, und dass das erhaltene Produkt denselben Grad der Härte, oder mit andern Worten denselben Kohlengehalt besitze. Die Kurven liefen fast parallel vom härtesten Stahle mit 1,2 Proc. Kohle bis zum weichsten Eisen mit 0,2 Proc., wenngleich das Produkt durch verschiedene Processe, in verschiedenen Ländern und aus verschiedenem Rohmaterialien hergestellt war. In den Eigenschaften von Eisen und Stahl, welche nach verschiedenen Methoden dargestellt worden waren, mögen sicherlich betreffs der Gesundheit und Gleichmässigkeit, sich leichte Differenzen gezeigt haben, welche aus diesen Experimenten nicht zu ersehen waren. Im letzteren Punkte sind aber Bessemer und Gussstahl sicherlich dem Eisen oder Puddelprodukten vorzuziehen, da letztere selten frei von Schweisstellen sind.

Hierüber sei dem Uebersetzer die Bemerkung gestattet, dass sämmtlicher Bessemer Stahl, von welchem Prüfungs-Resultate in den Kurven vorliegen, aus reinem schwedischem Holzkohlen-Roheisen gefertigt war, welches nur eine sehr geringe Beimischung von Phosphor, Schwefel und ähnlichen Unreinigkeiten und nur 1 Proc. Kiesel enthielt. Neuerdings hat man in mehreren Werken Englands die Bemerkung gemacht, dass die Einwirkung des Kiesels ähnlich der der Kohle ist, indem er nämlich den Stahl härtet. Dieselbe Erscheinung ist auch in Oesterreich beobachtet worden, denn als das Rohmaterial in Roheisen umgewandelt wurde, nahm der Stahl Härte und Sprödigkeit an. (Vergl. Professor Tunner's Brief an Dr. Percy in einer Schrift: „Ueber Herstellung und Abnutzung der Schienen“ *Proc. Inst. Civ. Engineers* 1868.)

Alles Roheisen, welches in England und Westphalen zum Bessemer Prozesse verwendet wird, ist mit Koke aus Haematite-Erz hergestellt und enthält durchschnittlich 2,5 Proc. Kiesel. Obgleich die Menge der Unreinigkeiten in Gestalt von Phosphor und Schwefel nicht bedeutend grösser ist als die im Holzkohlen-Roheisen, so ist doch der aus Kokeisen fabricirte Stahl dem aus Holzkohleneisen an Qualität bei Weitem nicht gleich. Solange also, als irgend Holzkohlen-Eisen auf dem Markte zu Preisen bis zu 20 Schilling per Tonne zu

haben ist, mag es nun aus Canada, Neu-Schottland, Schweden oder Norwegen sein, so würde es eine schlechte Politik der Bessemer Stahlfabrikanten sein, ihr Urtheil durch eine so geringe Differenz im Kostenpunkte des Rohmaterials beeinträchtigen zu lassen, und ganz besonders dann, wenn sie wichtige Artikel, wie Schäfte, Axen, Radreifen, Träger, Platten u. s. w. fabriciren. Für Schienen jedoch ist Kokeisen gut genug, wenn es im Bessemer Schiffe gehörig durchgearbeitet worden ist. Die Wahl des Rohmaterials zum Bessemer Prozesse ist aus dem Grunde von grösserer Wichtigkeit, als bei jeder anderen Fabrikationsmethode, weil die Unreinigkeiten durch denselben nicht in dem Maasse entfernt werden, wie z. B. durch Puddeln. Die Bemerkung dürfte vielleicht nicht uninteressant sein, dass mit den besten Sorten des schwedischen Holzkohlen-Eisens, durch den Bessemer Process ebensowohl als durch andere, der vorzüglichste Stahl erzielt wird. Z. B. hat das Dannemora-Eisen einen Stahl geliefert, welcher in Sheffield zum Zwecke der Messerfabrikation geprüft wurde und hierbei nicht nur die befriedigendsten Resultate lieferte, sondern sich auch dem Bessemer Stahle aus ordinären Nummern von schwedischem Roheisen überlegen erwies.

Das fortwährende Fallen der Bessemer und Gussstahl-Preise durch die Vervollkommnung ihrer Herstellung ist sicherlich für die Welt eine grosse Wohlthat. Ja, man kann mit vollem Grunde annehmen, dass über kurz oder lang wir Bessemer Stahl zu demselben Preise bekommen werden, wie Eisen, wodurch wir der Forderung der Gleichmässigkeit der Schweissstellen u. dergl. überhoben sein würden. Der einzige Unterschied würde ein Zuschlag von ungefähr 20 Schilling per Tonne des benutzten Roheisens sein, denn Aufwand und Mühe, welche auf den Bessemer Process verwendet werden muss, sind schon auf oder sogar unter die Kosten des Puddel- oder Raffinir-Processes reducirt worden.

Zur Bestimmung der Kohle-, Kiesel-, Schwefel-, Phosphor- und anderen Bestandtheile des Stahles sind in den verschiedenen Stahl-Werken schon viele neue Methoden im erfolgreichsten Gange, da fast alle ein eigenes Laboratorium und einen Chemiker besitzen, was in Eisenwerken nur selten der Fall ist.

Immerhin liegt es aber im Interesse des Konsumenten, den Charakter des empfangenen Stahles einer sorgfältigen Prüfung zu unterwerfen, und sich nicht allein durch niedern Preis bestimmen zu lassen. Denn der Verlust, welchen ein einziger Unfall, der seinen Grund im schlechten Materiale hatte, nach sich ziehen kann, wird den gesparten Unterschied zwischen dem Preise von gutem und schlechtem Material, stets übersteigen. Da der Uebersetzer kein Interesse dabei hat, das eine oder das andere Material zur Benutzung zu empfehlen so ist er der Ansicht geneigt, dass die Experimente des Autors, welche mit der grössten Genauigkeit, Geschicklichkeit und Unparteilichkeit, und auf Kosten einer fremden Regierung ausgeführt wurden, die Aufmerksamkeit der Fabrikanten sowohl als auch der Stahl- und Eisenkonsumenten dieses Landes wohl verdienen. Er giebt sich daher der Hoffnung hin, dass die Lösung seiner Aufgabe, dieses Werk ins Englische zu übersetzen, nicht vergeblich erfolgt ist. Zugleich bittet er das Publikum um Nachsicht für die Fehler, welche er möglicherweise unwissentlich hat mit unterlaufen lassen, und ersucht schliesslich die Herren Dr. Percy und Dr. Fairbairn, seinen besten Dank für ihren schätzbaren Beistand in Empfang nehmen zu wollen.



TABELLEN,

auf welche im Vorhergehenden Bezug genommen ist.

Tabelle I. Resultate der Versuche über Zugfestigkeit des gepuddelten

Beobachter.	Nummer des Experimentes.	Bezeichnungen des Eisens.	Querschnitt.		Zug pro Zoll der Fläche.		Zug pro Zoll bei Erreichung der Elasticitäts-Grenze nach Wertheim.	
			Form.	Schnittfläche.	Pfd.	Pfd.	Pfd.	
Thalén	1 ¹	N.H.1	Quadratisch.	0,2343	11,116	32,868	41,172	
Cronstrand	2 ²		Rund.	0,1934	—	—	43,916	
Thalén	3 ³	N.P.1	Quadratisch.	0,2316	12,214	45,289	56,954	
Cronstrand	4 ⁴		Rund.	0,1913	—	—	57,640	
Thalén	5	N.1	Quadratisch.	0,2328	11,185	37,123	39,799	
"	6		"	0,2353	—	—	38,427	
"	7 ³	B.1	"	0,2332	11,185	37,051	41,858	
"	8 ³	"	Rund.	0,1952	13,312	27,585	43,916	
Cronstrand	9 ³		"	0,1940	—	—	43,916	
Thalén	10	P.1	Quadratisch.	0,2328	11,116	37,051	41,858	
"	11		"	0,2351	—	—	39,113	
"	12	G.1	"	0,2324	11,116	37,051	39,799	
"	13 ¹		Rund.	0,1899	13,724	40,551	43,230	
"	14 ³	N.H.2	Quadratisch.	0,2362	10,979	30,673	38,427	
"	15 ⁴	"	"	0,2367	—	—	36,368	
Cronstrand	16	"	Rund.	0,1925	—	—	44,172	
Thalén	17 ⁴	N.P.2	Quadratisch.	0,2367	10,979	32,535	43,230	
"	18		"	0,2343	—	—	45,975	
Cronstrand	19	"	Rund.	0,1940	—	—	45,289	
Thalén	20 ¹	N.2	Quadratisch.	0,2336	11,116	33,006	37,741	
"	21 ¹		"	0,2328	—	—	34,996	
Cronstrand	22	"	Rund.	0,1913	—	—	39,113	
Thalén	23 ³	B.2	Quadratisch.	0,2324	11,185	29,163	39,799	
"	24 ⁴		Rund.	0,1846	10,293	29,091	41,172	
"	25	P.2	Quadratisch.	0,2324	11,185	27,173	39,799	
"	26 ³	"	Rund.	0,1913	16,949	34,378	41,172	
"	27		"	0,1949	—	—	41,858	
"	28	G.2	Quadratisch.	0,2399	10,841	34,035	43,230	
"	29 ⁴	N.H.3	"	0,2362	7,067	30,673	34,996	
Cronstrand	30		Rund.	0,1899	—	—	37,051	
Thalén	31 ⁴	N.P.3	Quadratisch.	0,2362	7,067	33,555	34,310	
Cronstrand	32		Rund.	0,1952	—	—	37,741	
Thalén	33 ³	N.3	Quadratisch.	0,2392	10,841	25,320	36,368	
"	34 ⁴	"	Rund.	0,1903	13,380	36,780	38,427	
"	35	"	"	0,1879	17,086	36,368	37,051	
"	36 ⁴	B.3	Quadratisch.	0,2351	11,047	30,810	37,741	
"	37 ⁴	"	Rund.	0,1837	9,949	24,360	37,051	
Cronstrand	38		"	0,1906	—	—	39,113	
"	39	P.3	"	0,1899	10,155	23,879	33,623	
"	40		"	0,1956	—	—	34,996	
Thalén	41 ⁴	G.3	Quadratisch.	0,2328	11,116	31,084	41,172	
"	42 ³	"	"	0,2344	—	—	40,485	
Cronstrand	43		Rund.	0,1937	—	—	41,858	
Thalén	44	N.H-eisen	Quadratisch.	0,2336	11,116	26,006	29,506	
"	45		Rund.	0,1928	13,449	26,967	30,192	
Cronstrand	46		"	0,1952	—	—	28,820	
Thalén	47	N.P-eisen	"	0,1921	—	—	28,820	
"	48		"	0,1930	13,449	22,095	30,879	
"	49	N-eisen	Quadratisch.	0,2362	11,047	26,761	29,506	
"	50		Rund.	0,1906	9,675	31,565	33,623	
Cronstrand	51		"	0,1915	—	—	34,310	
Thalén	52	B-eisen	Quadratisch.	0,2386	10,979	27,722	30,879	
"	53		Rund.	0,1899	9,675	21,889	34,623	
"	54	P-eisen	Quadratisch.	0,2378	10,910	27,516	28,131	
"	55		"	0,2367	—	—	29,506	
"	56	"	Rund.	0,1913	—	—	30,879	
"	57	"	"	0,1918	11,087	27,036	30,879	
"	58	G-eisen	Quadratisch.	0,2339	5,146	26,967	30,879	
"	59	"	"	0,1915	11,087	31,908	32,937	

1 Was unter Maximalbiegung gemeint ist, wurde auf Seite 16 auseinandergesetzt.

2 Die Ausdehnung auf die Fuss-Einheitung, in welcher der Bruch erfolgt, ist nicht gerechnet. — 3 Vergl. Pag. 8.

Stahls und Eisens von Surahammar bei der Temperatur von +15,5° C.

Zerreisender Zug pro □ Zoll des ursprünglichen Querschnittes		Querschnitt beim Zer- reißen.	Zerreisendes Gewicht pro □ des Quer- schnittes beim Bruche.	Verhältnis zwischen dem Zuge beim Brechen und der Maximal- Biegung.	Verhältnis zwischen dem Querschn. beim Bruch und vor d. Experimente.	Ausdehnung durch den Zug. ²	Zahl der ange- wandten Schel- len. ³
Pfd.	Tons. ⁵	□"	Pfd.	—	—	Proc.	Proc.
85 187	38,02	0,1613	117,065	2,07	0,73	6,06	—
86,804	38,75	—	—	1,98	—	7,37	—
98,538	43,99	0,1562	146,023	1,73	0,67	3,00	—
111,987	49,99	—	—	1,94	—	8,98	2
85 706	38,26	—	—	2,15	—	7,20	2
76 854	34,30	—	—	2,00	—	10,87	2
88,725	39,60	0,1752	118,095	2,12	0,75	4,56	—
85 021	37,95	0,1376	120,613	1,93	0,70	3,85	—
89 411	39,91	0,1784	97,234	2,03	0,92	5,98	1
93,666	41,81	0,1722	126,603	2,24	0,74	6,95	—
80,302	35,84	—	—	2,07	—	5,99	1
85,843	38,32	0,1800	110,752	2,15	0,77	5,65	2
79,599	35,71	0,1264	119,604	1,84	0,66	4,83	—
79,736	35,59	0,1608	117,065	2,07	0,68	8,23	—
74,795	33,39	—	—	2,06	—	5,71	—
81,583	36,42	0,1376	113,840	1,97	0,71	11,74	2
87,078	38,87	0,1656	120,408	2,01	0,70	5,63	—
98,606	44,02	0,2001	115,281	2,14	0,85	8,30	2
97,097	43,79	0,1492	126,192	2,14	0,77	8,70	2
76,648	34,21	0,1951	91,676	2,17	0,83	6,70	—
76 854	34,30	0,1851	96,754	2,20	0,79	8,01	—
78,072	34,85	0,1453	102,724	2,00	0,76	9,36	2
84 196	37,58	0,1579	123,721	2,11	0,68	8,91	1
75,115	33,84	0,1030	110 546	1,89	0,70	3,98	—
85,021	37,95	0,1608	122,829	2,14	0,69	6,47	—
75,138	33,54	—	—	1,82	—	4,08	—
86,118	38,44	0,1030	129,074	2,06	0,66	9,62	1
82,344	36,76	0,1603	116,036	1,90	0,71	13,42	2
73,080	32,62	—	—	2,07	—	14,74	—
72,717	32,47	0,1191	115,967	1,96	0,62	17,95	1
66,767	29,80	0,1358	116,036	1,94	0,57	10,63	—
68,894	30,75	0,1087	123,721	1,82	0,55	17,82	1
68,208	30,31	0,1384	117,889	1,88	0,57	12,11	—
71,639	31,98	0,1087	125,437	1,86	0,57	11,31	—
72,531	32,38	0,1156	117,889	1,96	0,61	14,40	—
80,019	35,74	0,1675	112,399	2,12	0,71	7,93	—
73,256	32,25	0,1101	110,752	2,13	0,65	6,42	—
79,324	35,41	0,1030	116 212	2,03	0,61	10,22	—
62,993	28,12	0,1135	106,566	1,87	0,59	18,23	1
61,140	27,29	0,1227	97,410	1,75	0,62	14,57	—
86,461	38,59	0,1752	114,869	2,10	0,75	6,03	—
73,766	32,93	—	—	1,82	—	5,97	—
86,667	38,69	0,1453	115 555	2,07	0,75	11,34	2
47,622	21,27	0,1060	104,988	1,61	0,45	22,04	—
49,543	22,11	0,0862	110,684	1,64	0,44	22,85	—
48,926	21,84	0,0862	110,684	1,70	0,44	17,29	—
46,318	20,67	0,0862	103,135	1,61	0,46	18,15	—
45,632	20,37	0,0832	105,674	1,48	0,43	21,82	—
52,219	23,31	0,0985	125,094	1,77	0,41	21,36	—
52,013	23,22	0,0862	115,007	1,55	0,45	18,20	—
53,729	23,98	0,0955	107,664	1,56	0,50	19,09	—
48,926	21,84	0,0985	118,506	1,58	0,41	21,87	—
50 219	22,42	0,0832	114,595	1,49	0,43	21,30	—
46,798	20,89	0,0913	121,731	1,66	0,38	19,85	—
45,838	20,40	0,0892	121,526	1,55	0,37	16,45	—
49 886	22,26	—	—	1,62	—	20,69	—
43 710	19,51	0,0463	122,898	1,55	0,39	22,50	—
50,298	22,45	0,0949	124,061	1,63	0,40	17,34	—
51,739	23,09	0,0862	114,938	1,57	0,45	19,12	—

4 Die Stangen brachen ausserhalb der Fuss-Eintheilung.

5 Im schwedischen Originale war dies Gewicht nur in Pfunden gegeben. Es erschien passend, um kleinere Zahlen zu erhalten, das Bruchgewicht auch in Tons auszudrücken. C. Sandberg.

**Tabelle II. Mittlere Resultate erhalten beim Bruch von 130 Stangen
gegebenen eingeschlossen. 94 wurden von Thalén, 21 von Ångström,
15,5° Cels.**

Gattung des Eisens oder Stahles.	Nummer der geprüften Stangen.	Quadratische Stangen.				
		Dehnung beim Bruche.	Bruchgewicht pro □" des ursprünglichen Querschnittes.		Bruchgewicht pro □" d. Querschnittes beim Bruche.	
			Pre.	Pfd.		Tons.
Harter gepuddelter Stahl bez. NH 1						
	3	10,01	85,020	37,95	118,026	
" " " " NP 1	3	3,91	105,331	47,02	140,671	
" " " " N 1	3	7,76	84,647	37,78	104,919	
" " " " B 1	3	3,25	87,559	39,08	131,681	
" " " " P 1	3	6,13	87,216	38,93	127,152	
" " " " G 1	3	6,13	85,363	38,10	111,233	
Durchschnitt		..	6,20	89,189	39,81	122,240
Mittelharter gepuddelter Stahl bez. NH 2						
	3	5,27	77,677	34,67	121,251	
" " " " NP 2	3	5,55	86,118	38,44	118,095	
" " " " N 2	3	7,58	77,952	34,80	107,321	
" " " " B 2	3	5,48	84,402	37,67	116,654	
" " " " P 2	3	7,40	74,384	33,20	112,948	
" " " " G 2	3	9,59	83,236	37,15	117,751	
Durchschnitt		..	6,98	80,628	35,99	115,670
Weicher gepuddelter Stahl bez. NH 3						
	2	10,40	72,188	32,22	110,684	
" " " " NP 3	2	11,59	66,081	29,50	113,634	
" " " " N 3	3	11,44	69,923	31,21	113,497	
" " " " B 3	2	7,18	79,867	35,65	112,536	
" " " " P 3	2	14,76	61,689	27,54	110,340	
" " " " G 3	3	7,24	77,883	34,76	114,869	
Durchschnitt		..	10,43	70,272	31,81	112,593
Puddeleisen bez. NH						
	2	22,42	47,279	21,01	110,066	
" " NP	3	21,76	45,014	20,09	113,634	
" " N	2	21,10	51,876	23,15	126,947	
" " B	2	21,10	47,896	21,38	124,476	
" " P	3	18,90	47,416	21,16	123,035	
" " G	2	16,87	50,435	22,51	126,466	
Durchschnitt		..	20,36	48,319	21,55	120,770

1 Die Dehnung auf der getheilten Skala, bei der der Bruch erfolgte, ist ausser Betracht gelassen. Vergl. Note auf pag. 15.

Puddelstahl und Eisen von Surahammar (Schweden) die auf Tabelle I 15 von Cronstrand untersucht. Alle Experimente wurden bei gemacht.

Gattung des Eisens oder Stahls.	Nummer der geprüften Stangen.	Runde Stangen.				
		Dehnung beim Bruche.	Bruchgewicht pro □ " des ursprünglichen Querschnittes.		Bruchgewicht pro □ " d. Querschnittes beim Bruche.	
			Prc.	Pfd.		Tons.
Harter gepuddelter Stahl bez. NH 1						
	3	4,98	84,647	37,78	120,290	
„ „ „ „ NP 1	3	4,58	104,714	46,74	142,660	
„ „ „ „ N 1	2	6,61	78,158	34,89	112,399	
„ „ „ „ B 1	3	4,41	88,451	39,48	114,115	
„ „ „ „ P 1	3	9,47	75,629	32,87	122,143	
„ „ „ „ G 1	4	6,32	81,795	36,51	125,437	
Durchschnitt		..	6,06	85,232	38,04	122,840
Mittelharter gepuddelter Stahl bez. NH 2						
	3	6,95	83,922	37,47	116,928	
„ „ „ „ NP 2	2	5,57	93,803	41,87	132,093	
„ „ „ „ N 2	3	8,92	77,471	34,58	112,948	
„ „ „ „ B 2	3	5,36	82,618	36,88	114,526	
„ „ „ „ P 2	4	6,23	79,530	35,50	115,967	
„ „ „ „ G 2	2	7,69	77,883	34,76	104,302	
Durchschnitt		..	6,79	82,571	36,84	116,127
Weicher gepuddelter Stahl bez. NH 3						
	2	15,32	73,080	32,62	106,841	
„ „ „ „ NP 3	2	14,56	67,384	30,08	121,526	
„ „ „ „ N 3	3	12,74	72,256	32,25	121,663	
„ „ „ „ B 3	3	6,86	74,246	33,14	113,497	
„ „ „ „ P 3	3	15,57	62,512	27,90	96,205	
„ „ „ „ G 3	2	9,50	86,323	38,53	115,487	
Durchschnitt		..	12,43	72,633	32,42	112,536
Puddeleisen bez. NH						
	3	19,75	48,926	21,84	106,429	
„ „ NP	2	19,98	45,975	20,52	104,371	
„ „ N	3	19,25	53,249	23,77	114,595	
„ „ B	3	17,73	48,651	21,71	127,152	
„ „ P	3	19,87	49,475	22,08	124,059	
„ „ G	2	19,48	49,100	21,91	111,507	
Durchschnitt		..	19,34	49,229	21,79	114,352

1 Die Dehnung auf der getheilten Skala, bei der der Bruch erfolgte, ist ausser Betracht gelassen. Vergl. Note auf. pag. 15.

Tabelle III. Resultate von Versuchen über Zugfestigkeit
15,5° Cels.

Nommer des Experiments.	Gattung des Eisens oder Stahls.	Gehalt an Kohlenstoff.			Querschnitt.	
		Nach der Bestimmung der Fabrikanten.	Nach der Bestimmung der Bergbau Schule zu Fahlun.	Gehalt an Phosphor nach den Untersuchungen der Bergbau-Schule zu Fahlun.	Form.	Mittlerer Quer- schnitt.
		—	□"			
1	Gehämmerter Bessemer Stahl von Högbo	1,2	—	—	Rund	0,1918
2	" " "	1,2	1,35	—	"	0,1969
3	" " "	1,0	1,14	0,018	"	0,1754
4	" " "	1,0	—	—	"	0,1829
5	" " "	0,9	—	—	"	0,1872
6	" " "	0,9	1,05	—	"	0,1829
7	" " "	0,6	0,85	—	"	0,1882
8	" " "	0,6	—	—	"	0,1855
9	Gehämmertes Bessemer Eisen v. Högbo	0,3	0,33	—	"	0,154
10	" " "	0,3	—	—	"	0,1891
11	" " "	0,3	—	—	"	0,1846
12	Gewalzter Bessemer Stahl von Carlsdal No. 3 ältere Härteummer . .	—	1,85	—	Quadratisch.	0,2441
13	" " "	—	—	—	"	0,2441
14	" " "	—	2,16	—	Rund.	0,2009
15	" " "	—	—	—	"	0,2045
16	" " "	—	0,99	—	Quadratisch.	0,2593
17	" " "	—	0,98	—	"	0,2593
18	" " "	—	1,39	—	Rund.	0,1868
19	" " "	—	1,19	—	"	0,1909
20	" " "	0,40	0,42	—	Quadratisch.	0,2313
21	" " "	0,40	—	—	"	0,2283
22	" " "	0,32	—	—	"	0,2321
23	" " "	0,32	0,38	0,023	"	0,2313
24	" " "	0,32	—	—	"	0,2294
25	Gewalzter Gussstahl (Uchatius) von Wykmanshyttau, Härte No. 0,2	—	1,57	—	Rund.	0,1876
26	" " "	—	1,56	—	"	0,1799
27	" " " No. 1	—	—	—	"	0,1775
28	" " "	—	1,16	0,011	"	0,1749
29	" " "	—	1,22	—	"	0,1691
30	" " " No. 3	—	0,69	—	"	0,1913
31	" " "	—	—	—	"	0,1702
32	Gehämmerter Gussstahl von Krupp bezeichnet mit 1 Krone	—	0,62	0,022	"	0,2121
33	" " mit 2 Kronen	—	0,61	0,03	"	0,2094

1 Die Stange wurde vor dem Experiment angelassen.

mit Bessemer Stahl und Eisen und Gussstahl bei circa angestellt.

Belastung pro □ bei Erreichung der Elasticitätsgrenze.	Bruchgewicht pro □ des ursprünglichen Querschnittes.		Querschnitt des Bruchs. □	Bruchgewicht pro □ der Bruchfläche.	Proportion zwischen Belastung bei Bruch und Elasticitätsgrenze.	Proportion zwischen ursprünglicher und Bruchfläche.	Dehnung beim Bruche.	Mittlere Dehnung zwischen Elasticitätsgrenze und Bruch für einen Belastungszuwachs von 100 Pfd. pro □ Linie.
	Pfd.	Tons.						
78.9 3	105.125	46.93	0.1754	113.017	1.33	0.93	2.1	0.55
76.511	107.184	47.85	0.1537	137.308	1.40	0.77	2.8	0.65
85.431	127.564	56.94	0.1053	216.153	1.49	0.59	2.9	0.47
78.913	125.574	56.06	0.1088	211.075	1.59	0.59	2.8	0.41
67.147	97.783	43.65	0.0955	191.5 8	1.45	0.51	3.9	0.87
68.6 0	108.213	48.30	0.1122	176.422	1.57	0.61	2.9	0.50
68.620	101.214	45.18	0.1227	155.218	1.47	0.65	3.7	0.78
69.649	106.704	47.63	0.1170	169.079	1.53	0.63	4.6	0.85
52.151	71.364	31.85	0.0663	191.930	1.37	0.37	5.5	1.95
56.268	71.296	31.82	0.0717	188.0 2	1.27	0.38	6.5	2.96
37.054	67.933	30.32	0.0585	214.368	1.83	0.37	10.0	2.22
57.640	99.842	44.61	0.2385	102.173	1.73	0.97	1.75	0.28
61.758	89.549	39.97	0.2441	89.549	1.45	1.00	1.15	0.28
64.502	86.804	38.75	0.1945	89.617	1.34	0.97	2.96	0.91
—	97.783	43.65	0.1946	102.724	—	0.95	3.9	—
65.875	102.998	45.98	0.2514	106.223	1.56	0.97	3.7	0.68
—	111.987	49.99	0.2441	118.918	—	0.94	3.9	—
66.992	135.936	60.68	0.3058	191.175	1.94	0.71	5.5	0.57
67.933	139.919	62.46	0.1580	168.942	2.06	0.82	4.1	0.39
—	68.757	30.69	0.0985	161.325	—	0.43	16.7	—
34.310	70.472	31.46	0.1189	136.759	2.05	0.51	15.2	2.88
37.741	69.081	29.50	0.0914	167.844	1.76	0.39	15.7	3.80
34.990	64.708	28.88	0.1060	141.219	1.85	0.46	16.7	3.85
34.653	65.257	29.13	0.0878	170.383	1.88	0.38	17.7	3.97
—	1 6.516	52.01	0.1631	133.946	—	0.47	1.9	—
83.167	121.388	54.19	0.1771	123.378	1.46	0.98	2.5	0.45
72.737	138.886	62.00	0.1453	169.628	1.91	0.81	4.5	0.46
71.707	139.847	62.43	0.1533	159.610	1.95	0.88	4.6	0.46
73.089	144.719	64.60	0.1610	151.993	1.98	0.95	4.5	0.43
67.147	103.547	46.22	0.1191	166.334	1.54	0.62	11.3	2.14
60.728	118.643	52.96	0.1226	164.688	1.95	0.72	10.8	1.28
50.092	85.431	38.13	0.0972	186.440	1.70	0.46	6.1	1.24
55.925	82.549	36.85	0.0991	172.304	1.47	0.48	5.5	1.14

Tabelle IV. Resultate von mit Eisen über dessen

Nummer des Experimenta.	Gattung des Eisens.	Kohlengehalt nach der Bergbauschule zu Fabrik.		Phosphorgehalt nach der Bergbauschule zu Fabrik.		Querschnitt.	
		Proc.	Proc.	Form.	Mittlerer Querschnitt.		
						—	□"
1	Gewalztes Puddelleisen von Low Moor	—	—	Rund.	0,206		
2	"	0,21	0,068	"	0,204		
3	"	—	—	"	0,206		
4	"	—	—	"	0,2007		
5	"	—	—	"	0,196		
6	Desgl. v. Middlesbro'-on-Tees, bez. „Cleveland"	—	—	"	0,313		
7	"	—	—	"	0,308		
8	"	—	—	"	0,309		
9	"	—	0,24	"	0,311		
10	"	0,07	0,295	"	0,309		
11	"	—	—	"	0,304		
12	"	—	0,27	"	0,306		
13	von Dudley	—	—	"	0,192		
14	"	0,09	0,346	"	0,2003		
15	"	0,09	0,346	"	0,196		
16	"	—	—	"	0,187		
17	"	—	—	"	0,189		
18	Exemplar einer aus der Aussenseite eines Low Moor-Radreifens gewalzten Stange	—	0,158	Quadratisch.	0,270		
19	"	—	—	"	0,270		
20	"	—	—	"	0,268		
21	aus d. Kopfe einer Schiene v. Cwm Avon (Wales)	—	—	"	0,262		
22	"	—	0,240	"	0,262		
23	"	—	—	"	6,262		
24	aus d. Stege	—	0,222	"	0,272		
25	"	—	—	"	0,270		
26	Gewalztes Puddelleisen von Motala (Schweden)	0,2	0,02	Rund.	0,188		
27	"	—	—	"	0,193		
28	"	—	—	"	0,191		
29	"	—	—	"	0,183		
30	"	—	—	"	0,188		
31	"	—	—	"	0,192		
32	Gewalztes Holzkohleneisen—	—	—	"	—		
	von Åryd Småland (Schweden)	0,07	—	Quadratisch.	0,277		
33	"	0,18	0,264	"	0,282		
34	"	—	—	"	0,278		
35	"	0,07	—	"	0,275		
36	"	—	—	"	0,278		
37	Desgl. von Hallstahammar (Schweden)	0,07	—	"	0,215		
38	"	—	—	"	0,213		
39	"	—	—	"	0,215		
40	Gewalztes Eisen von einem Lancashireherde zu Lesjöfors (Schweden)	0,07	0,022	"	0,243		
41	"	—	—	"	0,230		

Anmerkungen. No. 11 war vor dem Experimente leicht angelassen worden, No. 12 war vorher stark angelassen worden. Ein Theil der gebrochenen Stange wurde durch fortgesetztes Anlassen so stark erhitzt, dass sie sich stark bog. Sie wurde dann auf eine Länge von 4' quadratisch abgefeilt, in Zolle getheilt und geprüft. Sie brach nun bei einem Zuge von 59,630 Pfd. nach einer Dehnung von 18 Proc., den Zoll, wo der Bruch erfolgte, ausser Rechnung gelassen. Der Bruch war halb krystallinisch, halb sehnig.

No. 14 und 15 waren ursprünglich eine Stange gewesen.

No. 16 war stark angelassen worden.

Zugfestigkeit bei 15,5° Cels. angestellten Versuchen.

Belastung bei der Elasticitätsgränze.	Bruchgewicht pro □" des ursprünglichen Querschnittes		Bruchfläche. □"	Bruchgewicht pro □" der Bruchfläche.	Proportion der Belastung bei der Elasticitätsgränze und beim Bruche.	Proportion zwischen ursprünglichem Querschnitt und Bruchfläche.	Dehnung beim Bruche.	Mittlere Dehnung zwischen Elasticitätsgränze u. Bruch bei einer Gewichtszunahme von 686 Pfd. pro □"
	Pfd.	Tons.						
35,682	55,650	24,84	0,095	120,496	1,56	0,46	20,1	6,91
36,025	58,944	26,31	0,092	130,583	1,63	0,45	20,5	6,13
35,682	52,974	23,64	0,102	107,253	1,48	0,49	20,6	8,17
—	52,700	23,54	0,095	110,822	—	0,47	19,0	—
—	56,748	25,33	0,095	116,654	—	0,49	18,0	—
32,937	58,464	26,10	0,1699	106,978	1,77	0,54	16,3	4,11
—	61,414	27,50	0,174	109,174	—	0,56	18,9	—
31,222	53,317	23,80	0,187	88,176	1,71	0,60	18,8	5,84
33,623	56,474	25,21	0,1698	103,478	1,68	0,54	19,6	5,88
—	72,531	32,38	0,205	109,723	—	0,66	18,7	—
31,565	61,071	27,26	0,189	108,076	1,93	0,62	14,6	3,39
33,280	57,023	25,45	0,178	98,057	1,70	0,54	14,1	4,18
35,339	55,856	24,93	0,151	71,296	1,58	0,78	12,6	1,21
28,134	41,738	18,63	0,165	57,778	1,50	0,82	6,6	2,95
28,683	47,553	21,22	0,151	62,032	1,66	0,76	7,4	2,69
30,879	51,808	23,12	0,1702	57,023	1,67	0,90	7,8	2,57
34,653	52,013	23,22	0,141	69,649	1,50	0,75	8,3	3,29
34,996	53,592	23,92	0,156	92,568	1,53	0,58	12,9	4,76
—	52,906	23,66	0,2109	67,727	—	0,78	10,2	—
—	53,798	24,01	0,165	87,353	—	0,62	13,2	—
20,879	44,465	19,85	0,238	48,994	1,44	0,91	4,7	2,37
—	48,720	21,75	0,250	51,190	—	0,95	6,6	—
—	50,847	22,69	0,214	62,169	—	0,82	8,5	—
—	44,259	19,75	0,264	45,632	—	0,97	3,4	—
—	43,642	19,48	0,250	47,485	—	0,92	3,2	—
29,506	52,631	23,49	0,098	100,665	1,74	0,52	17,3	5,29
26,761	45,632	20,37	0,137	64,091	1,74	0,71	11,4	4,14
26,761	46,181	20,61	0,112	78,775	1,73	0,59	11,2	3,96
32,937	50,710	22,63	0,083	111,507	1,54	0,45	13,4	5,17
25,389	48,651	21,71	0,058	157,551	1,92	0,31	13,3	3,92
27,104	46,867	20,92	0,112	80,148	1,73	0,58	17,8	6,18
37,397	65,669	29,31	0,141	129,417	1,61	0,51	14,1	3,42
40,485	63,473	28,33	0,232	76,864	1,57	0,82	8,2	2,44
42,545	61,758	27,57	0,261	65,737	1,42	0,94	6,5	2,32
47,004	69,728	27,22	0,275	60,728	1,29	1,00	5,5	2,75
38,084	47,690	21,29	0,267	49,612	1,24	0,96	1,1	0,78
27,104	50,916	22,73	0,094	115,761	1,87	0,44	16,7	4,85
27,448	50,572	22,57	0,059	182,735	1,84	0,27	18,6	5,51
27,791	50,916	22,73	0,076	142,866	1,83	0,35	19,9	5,90
24,360	45,014	20,09	0,056	192,753	1,85	0,23	22,0	7,31
30,879	48,720	21,75	0,081	132,985	1,58	0,37	20,3	7,81

No. 27 und 28 waren eine Stange gewesen.

No. 32 brach zuerst dreimal ausserhalb der Theilung beim Gewinde. Doch mit Schellen geprüft, brach sie bei einem Gewichte von 65,679 Pfd. nach einer Dehnung von 14 Proc. in der Mitte.

No. 35 war vorher leicht angelassen worden.

No. 36 war vorher stark angelassen worden, brach ausserhalb der Theilung. Nochmals geprüft brach sie bei einem Gewichte von 49,337 Pfd. pro Quadratzoll mit einer Dehnung von 1,5 Proc.

Tabelle V. Zuwachs der permanenten Dehnung bei Zuwachs von Zuggewicht.

1.			2.			3.			4.			5.		
Gussstahl von Wykmanshyttan, No. 30, Tabelle III, Zuggewicht = 16.880 Pfd, pr. □'.			Puddeleisahl von Surahammar, N. P. 1, No. 3, Tabelle I, Zuggewicht = 12.224 Pfd, pr. □'.			Puddeleisahl von Surahammar, B. 3, In Wasser gestreckt, Runder Querschnitt, Mittlerer Querschnitt, 0,2367 □' Zuggewicht = 12,077 Pfd, pr. □'.			Puddeleisen von Middlebro-on-Tees, No. 9, Tabelle IV, Zuggewicht = 9188 Pfd, pr. □'.			Puddeleisen von Motala, No. 27, Tabelle IV, Zuggewicht = 14,753 pr. □'.		
Belastung pr. □'.	Permanente Dehnung.	Zuwachs an Dehnung.	Belastung pr. □'.	Permanente Dehnung.	Zuwachs an Dehnung.	Belastung pr. □'.	Permanente Dehnung.	Zuwachs an Dehnung.	Belastung pr. □'.	Permanente Dehnung.	Zuwachs an Dehnung.	Belastung pr. □'.	Permanente Dehnung.	Zuwachs an Dehnung.
Pfd.	Proc.	Proc.	Pfd.	Proc.	Proc.	Pfd.	Proc.	Proc.	Pfd.	Proc.	Proc.	Pfd.	Proc.	Proc.
38941,85	0,000	—	31290,72	0,000	—	27821,29	0,000	—	15178,744	0,0000	—	16243,04	0,0005	0,0005
44452,036	0,000	—	—	—	—	28607,678	0,000	—	—	—	—	17690,236	0,0011	0,0006
49962,222	0,002	0,002	35270,68	0,001	0,001	29396,808	0,001	0,001	24758,096	0,0000	0,0000	19138,118	0,0020	0,0009
55472,408	0,004	0,002	37260,66	0,001	0,000	30179,076	0,004	0,003	25352,084	0,0004	0,0004	21059,478	0,006	0,001
58224,070	0,005	0,001	39319,26	0,001	0,000	30969,206	0,009	0,005	27152,934	0,0014	0,0010	22987,7	0,008	0,002
60975,732	0,008	0,003	41309,24	0,003	0,002	31757,336	0,011	0,002	27448,0	0,0018	0,0004	24915,922	0,021	0,013
62080,514	0,010	0,002	43299,22	0,004	0,001	32546,466	0,014	0,003	27749,928	0,0023	0,0005	26363,804	0,043	0,017
63178,431	0,012	0,002	45289,20	0,006	0,002	33328,734	0,018	0,004	28044,994	0,0030	0,0007	27331,346	0,103	0,055
64283,216	0,015	0,003	47279,18	0,007	0,001	34117,864	0,023	0,005	28346,922	0,0031	0,0001	28292,026	0,286	0,183
65387,998	0,018	0,003	49337,78	0,011	0,004	34906,994	0,031	0,008	28648,85	0,0033	0,0002	29259,568	0,576	0,290
66485,918	0,021	0,003	51327,76	0,017	0,006	35689,262	0,033	0,022	28943,916	0,0042	0,0009	30220,248	1,036	0,460
67590,70	0,025	0,004	53317,71	0,024	0,007	36478,392	0,038	0,035	29245,844	0,0045	0,0003	31187,79	1,764	0,728
68688,62	0,030	0,005	55307,72	0,035	0,011	37260,66	0,046	0,048	29545,772	0,0052	0,0007	32148,47	2,042	0,978
69793,402	0,036	0,006	57297,70	0,043	0,028	38056,652	0,055	0,059	29842,838	0,0057	0,0005	33076,692	2,622	1,380
70891,322	0,042	0,006	59356,30	0,051	0,051	38838,92	0,061	0,076	30144,766	0,0058	0,0001	34004,914	3,263	1,661
71996,104	0,050	0,008	61479,36	0,059	0,059	39628,05	0,068	0,094	30446,694	0,0063	0,0005	34933,136	4,098	1,845

73094.024	0.062	0.012	67247.60	0.424	0.175	41199.418	0.664	0.149	30755.484	0.0071	30961.358	5.188
74198.806	0.079	0.017	"	0.454	0.030	42777.708	0.767	0.103	31043.688	0.008	41789.58	6.567
75296.726	0.098	0.019	"	0.409	0.015	44349.106	0.917	0.50	31338.751	0.009	43717.802	8.717
76401.508	0.129	0.031	"	0.479	0.010	45927.306	1.040	0.123	31640.082	0.010	45646.024	11.67
77506.290	0.199	0.070	"	0.486	0.007	47498.764	1.192	0.152	31942.610	0.011	Bruch.	
78604.20	0.284	0.085	"	0.493	0.007	49070.162	1.35	0.16	32237.676	0.012		
79708.992	0.363	0.079	"	0.497	0.004	50648.422	1.51	0.16	32539.604	0.014		
80806.912	0.406	0.043	"	0.503	0.006	52226.682	1.67	0.6	32841.532	0.016		
81911.694	0.428	0.022	"	0.506	0.003	53794.08	1.89	0.22	33136.598	0.020		
82869.028	0.453	0.025	"	0.509	0.003	55369.478	2.13	0.24	33438.526	0.018		
84114.396	0.455	0.032	71361.80	0.611	0.102	56940.876	2.37	0.24	33733.592	0.036		
85219.178	0.455	0.030	73344.76	0.821	0.210	58519.136	2.67	0.30	34035.52	0.051		
87415.018	0.569	0.054	79324.72	1.061	0.240	60990.534	2.89	0.22	34337.448	0.078		
89624.582	0.684	0.065	83373.30	1.297	0.236	61668.794	3.31	0.42	34632.514	0.125		
91827.284	0.702	0.068	87421.98	1.615	0.318	63240.192	3.83	0.52	34934.442	0.180		
94029.086	0.777	0.075	89000.14	1.753	0.188	64802.21	4.35	0.52	35236.370	0.280		
96232.688	0.864	0.087	90578.40	1.904	0.151	66389.85	5.11	0.76	35531.436	0.401		
98435.380	0.954	0.090	92225.28	2.125	0.221	67961.28	6.01	0.90				
100638.092	1.048	0.094	93803.54	2.318	0.193	69539.508	7.17	1.16	3635.292	0.995		
102840.794	1.141	0.093	95381.80	2.539	0.221	70477.844	8.89	1.72	36430.364	1.082		
107246.198	1.32	0.179	97028.68	2.789	0.248	71900.036	9.96	1.07	39127.121	2.05		
111651.602	1.54	0.22	98538.32	3.007	0.220	Bruch.			4218.956	3.07		
116063.868	1.76	0.22	Bruch.						3635.292	0.995		
120469.272	2.02	0.25							36430.364	1.082		
124874.676	2.31	0.32							39127.121	2.05		
125979.448	2.8	0.46							4218.956	3.07		
144705.856	4.52								45110.788	4.37		
Bruch.									48109.482	5.01		
									50497.458	7.06		
									52889.158	10.2		
									55293.996	15.2		
									56187.981	19.6		
									Bruch.		4.4	

Tabelle VI. Resultate der Experimente, welche bei ungefähr 15,5° C. angestellt
Stahles und Eisens zu bestimmen. Alle geprüften Stangen waren in

Die Klammern vor den Nummern bedeuten, dass diesel-

Nummer des Experiments.	Gattung des Stahls oder Eisens.	Behandlung der Stange vor dem Experimente.
1	Bessemer Stahl von Högbo.	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
2	Gez. 0,9 der Stange No. 5 in Tabelle III.	in Oel
3	" " " "	" " " "
4	0,6 " " No. 7	" " " "
5	" " " "	} eine halbe Stunde bei 215,5 Cels. erhitzt
6	Bessemer Eisen von Högbo.	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
7	Gez. 0,3	und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
8	Bessemer Stahl von Carlsdal.	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Oel gehärtet
9	Gez. 0,4 der Stange No. 20 in Tabelle III.	und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
10	" " " "	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
11	Uchäiusstahl von Wikmanshyttan.	" " " "
12	No. 0,2 der Stange No. 26 in Tabelle III.	in Oel
13	No. 1	Nicht erhitzt, sondern in ihrem ursprüngl. Zustande geprüft
14	" " " "	} Bis zur Rothglühhitze erhitzt und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
15	" " " "	Stark erhitzt und in Oel gehärtet
16	" " " "	Leicht erhitzt und in Wasser gehärtet
17	No. 1 der Stange No. 28 in Tabelle III.	} Leicht erhitzt, in Wasser gehärtet und eine halbe Stunde in einem Paraffinbade von 140° C. erhitzt
18	" " " "	Stark erhitzt und in Oel gehärtet
19	" " " "	Leicht erhitzt, in Wasser gehärtet und eine halbe Stunde in einem Paraffinbade von 150° C. erhitzt
20	No. 3	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Oel gehärtet
21	" " " "	" " " "
22	" " " "	und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
23	" " " "	} Bis zur Rothglühhitze erhitzt, in Wasser gehärtet und eine halbe Stunde bei 285,5° Cels. erhitzt
24	" " " "	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Oel gehärtet
25	No. 3 der Stange No. 30 in Tabelle III.	} Bis zur Rothglühhitze erhitzt, in Wasser gehärtet und eine halbe Stunde bei 285,5° Cels. erhitzt
26	" " " "	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Oel gehärtet
27	Krupp'scher Gussstahl.	} Bis zur Rothglühhitze erhitzt, in Wasser gehärtet und eine halbe Stunde bei 275,5° Cels. erhitzt
28	Gez. mit einer Krone	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Oel gehärtet
29	" " " "	" " " "
30	Puddel-Eisen von Surahammar.	" " " "
31	Gez. B.	" " " " und in Wasser gehärtet
32	" " " "	" " " " und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
33	In einem Holzkohlenherde von Äryd fabricirtes Eisen.	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
34	Von der Stange No. 34 in Tabelle IV.	" " " "
35	" " " " No. 35	" " " "
36	In einem Kohlenherde von Hallstahammar fabricirtes Eisen.	" " " "
37	Von der Stange No. 37 in Tabelle IV.	} " " " " und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
38	" " " "	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
39	In einem Holzkohlenherde von Lesjöfors fabricirtes Eisen.	" " " "
40	" " " "	" " " " und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt
41	" " " "	Bis zur Rothglühhitze erhitzt und in Wasser gehärtet
42	" " " "	und langsam in warmem Kohlenstaube abgekühlt

1) Mehrere andere Stahlstangen, welche ein und mehr Procent Kohle enthielten, wurden, nachdem sie Rothglühhitze ausgesetzt und in Wasser gehärtet worden waren, geprüft, da aber alle bei

worden, um den Einfluss der Härtung auf die Dehnbarkeit und Festigkeit des der Mitte auf eine Länge von 0,58 bis 4,65 Zoll quadratisch abgefeilt.

ben ursprünglich Theile einer und derselben Stange sind.

Gehalt an Kohlenstoff,		Der gefeilte und eingetheilte Theil nach		Brechendes Gewicht pro □" des ursprüngl. Querschnittes des abgefeilten Theiles der Stange.		Bruchfläche.	Verhältniss zwischen d. Bruchfläche u. dem ursprüngl. Querschnitt.	Ausdehnung durch den Bruch, ohne Berücksichtigung der Bruchstelle.
in der geprüften Stange.	in andern Stangen derselben Gattung.	der Länge.	dem Querschn.	Pfd.	Tons.			
Proc.	Proc.	Zoll.	□".			□".		Proc.
—	1,05	2,32	0,069	weniger als		0,069	1,00	0,0
—	1,05	2,32	0,068	41,172	18,38	0,068	1,00	0,0
—	1,05	1,74	0,070	173,951	77,65	0,070	1,00	0,0
0,68	—	3,48	0,086	115,350	51,49	0,086	0,99	1,7
0,68	—	3,48	0,089	104,919	46,83	0,054	0,60	1,5
—	0,33	2,32	0,076	101,283	45,21	0,032	0,42	13,0
—	0,33	2,32	0,077	79,873	35,65	0,021	0,27	19,0
0,42	—	1,04	0,100	51,259	22,88	0,050	0,50	—
0,42	—	1,04	0,099	102,243	45,64	0,046	0,46	—
0,42	—	1,04	0,079	77,060	34,40	0,079	1,00	—
1,56	—	2,32	0,065	100,253	44,75	0,094	0,90	1,3
1,22	—	0,93	0,080	132,916	59,33	0,094	0,74	1,1
1,22	—	0,81	0,079	195,018	87,06	0,071	0,89	—
1,22	—	1,04	0,097	152,336	68,00	0,054	0,55	—
1,22	—	0,93	0,091	93,185	41,60	0,045	0,50	—
1,22	—	1,16	0,100	84,814	37,86	0,100	1,00	0,0
1,16	—	1,16	0,080	101,351	45,24	0,070	0,87	—
1,16	—	3,48	0,092	143,209	63,93	0,071	0,77	6,0
1,16	—	1,74	0,068	131,613	58,75	0,068	1,00	0,0
0,78	—	1,62	0,085	{ weniger als }		0,084	0,99	0,0
0,78	—	1,74	0,083	54,896	24,50	0,083	1,00	0,0
0,78	—	1,16	0,095	83,441	37,25	0,095	1,00	—
0,78	—	0,93	0,083	89,892	40,13	0,076	0,91	—
0,69	—	3,48	0,088	146,915	65,58	0,094	0,64	—
0,69	—	1,74	0,067	168,530	75,23	0,048	0,55	3,0
—	0,62	3,48	0,111	96,891	43,25	0,067	1,50	2,0
—	0,62	0,58	0,100	122,280	54,58	0,105	0,93	0,0
—	0,62	0,58	0,103	171,687	76,64	0,100	1,00	—
—	0,20	2,67	0,151	135,836	60,64	0,098	0,95	—
—	0,20	1,51	0,143	69,306	30,94	0,081	0,53	6,2
—	0,20	1,62	0,148	68,757	30,69	0,113	0,79	—
—	0,07	3,48	0,158	46,730	20,86	0,054	0,36	—
—	0,07	1,04	0,157	66,767	29,80	0,043	0,53	25,0
0,07	—	3,48	0,132	60,660	27,08	0,125	0,79	—
—	—	—	—	73,423	32,77	0,113	—	10,0
0,07	—	1,04	0,104	50,641	22,16	0,043	0,42	—
0,07	—	1,04	0,107	47,553	21,22	0,028	0,26	—
0,08	—	4,65	0,112	63,267	28,24	0,046	0,40	—
0,08	—	4,65	0,120	62,581	27,93	0,037	0,33	10,0
—	0,07	1,74	0,126	44,603	19,91	0,039	0,32	19,0
—	0,07	1,74	0,107	63,336	28,27	0,043	0,35	6,0
—	0,07	1,74	0,107	44,877	20,03	0,037	0,35	29,0

weniger als 41172 Pfd. Belastung pro Quadratzoll brachen, so wurden sie in diesen Tabellen nicht erwähnt.

Tabelle VII. Resultate der Experimente über Zugfestig-
Alle geprüften Stangen waren in der Mitte zu kleineren

Die Klammern vor den Nummern bedeuten, dass die betr.

Nummer des Experiments.	Gattung des Eisens oder Stahls.	Probestan- gen.		Querschnitt der Stange an den nicht abgefeilten Theilen.		Mittlerer Querschnitt an der abgefeilten Stelle.
		Gehalt an Kohlenstoff.	Phosphorgehalt.	Form.	Durch- messer oder Seite.	
{ 1	Bessemer Stahl von Högbo gez. 1,0	1,14	0,018	Rund	0,465	0,1115
{ 2	" " " "	"	"	"	"	0,0935
{ 3 ²	" " " "	—	—	"	"	0,1252
{ 4 ²	" " " "	—	—	"	"	0,1261
{ 5	" " " gez. 0,6	0,68	—	"	"	0,1135
{ 6	" " " "	"	—	"	"	0,1203
{ 7	Bessemer Eisen von Högbo gez. 0,3	0,33	—	Quadratisch.	0,348	0,0543
{ 8	" " " "	"	—	"	"	0,0811
{ 9	" " " "	"	—	Rund.	0,465	0,1069
{ 10	" " " "	"	—	"	"	0,1045
{ 11	Bessemer Stahl von Carlsdal gez. 0,4	0,42	—	Quadratisch.	"	0,1883
{ 12	" " " "	"	—	"	"	0,1883
{ 13	Uchatiusstahl von Wikmanshyttan					
{ 14	Härte No. 0,2	1,78	—	Rund.	"	0,1042
{ 15	" " " "	"	—	"	"	0,1042
{ 16	" " " "	"	—	"	"	0,1091
{ 17	Härte No. 3	0,69	"	"	"	0,1014
{ 18	" " " "	"	"	"	"	0,0968
{ 19	Krupp'scher Gussstahl gez. mit einer Krone	0,62	0,02	"	"	0,1299
{ 20	" " " "	"	"	"	"	0,1261
{ 21	" " " "	"	"	"	"	0,1187
{ 22	" " " "	"	"	"	"	0,1141
{ 23	Puddelstahl v. Surahammar gez. N. P. 1.	0,8	—	Quadratisch.	"	0,1956
{ 24	" " " "	"	—	"	"	0,1957
{ 25	" " " gez. N. H. 1.	0,7	—	Rund.	"	0,1233
{ 26	" " " "	"	—	"	"	0,1195
{ 27	" " " gez. B. 2.	0,55	—	"	"	0,1145
{ 28	" " " "	"	—	"	"	0,1180
{ 29	" " " gez. N. P. 3.	—	—	"	"	0,1252
{ 30	" " " "	—	—	"	"	0,1203
{ 31	Englisches Puddelleisen von Low Moor	0,21	0,068	"	"	0,1348
{ 32	" " " "	"	"	"	"	0,1380
{ 33	" " " "	"	"	"	"	0,1348
{ 34	" " " "	"	"	"	"	0,1241
{ 35	" " " "	"	"	"	"	0,1952
{ 36	" " " "	"	"	"	"	0,1234
{ 37	" " " "	"	"	"	"	0,1256
{ 38	" " " "	"	"	"	"	0,1343

1) Vergl. pag. 109. — 2) No. 3, 4, 7 und 8 gehörten nicht zu den direkt von

**keit von Stahl und Eisen bei verschiedenen Temperaturen.
Dimensionen auf eine Länge von 4 bis 6 Zoll abgefeilt.**

Exemplare Theile einer und derselben Stange sind.

Bruchgewicht pro □'' des ursprünglichen mitleren Querschnittes des abgefeilten Theiles der Stange.		Bruchfläche.	Verhältnis zwischen d. Bruchfläche u. dem ursprüngl. mittleren Querschnitte des abgefeilten Theiles.	Ausdehnung durch den Bruch		Specificisches Gewicht nach dem Experimente bestimmt.			Temperatur der Stange während der Experimente.	Die Stange wurde gebrochen in
				exclusive dem Zolle, in welchem der Bruch erfolgte.	auf eine Länge von 5.2 Zoll mit Einschluss der Bruchstelle.	des nicht abgefeilten Theiles.	des abgefeilten Theiles.	Differenz.		
Pfd.	Tons.	□''	—	Proc.	Proc.				Cels.	
140.945	62.92	0.1115	1.00	4.0	4.0	7.8508	7.8491	0.0017	+ 11,6	Wasser.
137.034	61.17	0.0747	0.80	3.5	4.3	—	—	—	+165,5	Paraffin.
115.078	51.37	0.0985	0.79	4.0	5.1	—	—	—	+ 12,7	Luft.
131.032	58.49	0.1137	0.90	5.0	5,5	—	—	—	+180,0	Paraffin.
126.044	56.27	0.0878	0.77	7.0	8.8	—	—	—	+ 4,4	Alkohol.
123.653	55.20	0.0914	0.76	5,9	8,6	—	—	—	+ 15,0	Wasser.
66.286	29.59	0.0148	0.27	5,5	9,4	—	—	—	+ 10,0	Wasser.
77.677	34.67	0.0344	0.42	5,5	9,2	—	—	—	+176,6	Paraffin.
77.482	34.59	0.0313	0.29	2,8	8,0	—	—	—	+ 15,5	Wasser.
76.422	34.11	0.0389	0.37	6,4	10,3	7.8804	7.8781	0.0023	+160,0	Paraffin.
76.991	34.37	0.1257	0.67	19,3	21,2	—	—	—	+ 15,0	Alkohol.
74.689	33.29	0.1299	0.69	15,3	18,1	—	—	—	+ 15,5	Wasser.
141.768	63.28	0.1041	1.00	3,3	3,7	—	—	—	— 33,8	Alkohol.
132.916	59.33	0.1042	1.00	3,1	—	—	—	—	+ 15,0	Luft.
138.818	61.97	0.1060	0.97	2,4	3,9	—	—	—	+138,8	Paraffin.
114.526	51.12	0.0795	0.78	12,9	—	—	—	—	+ 11,6	Wasser.
116.173	51.86	0.0747	0.77	7,5	9,5	7.8431	7.8263	0.0168	+150,0	Paraffin.
93.666	41.81	0.0731	0.56	7,7	11,5	7.8473	7.8463	0.0010	— 29,7	Alkohol.
95.793	42.76	0.0878	0.70	10,0	—	7.8465	7.8292	0.0173	+ 13,8	Wasser.
95.519	42.63	0.0653	0.55	12,2	15,9	—	—	—	— 28,8	Alkohol.
93.666	41.81	0.0699	0.61	6,7	11,0	7.8435	7.8389	0.0046	+ 10,0	Wasser.
123.172	54.98	0.1875	0.96	8,0	—	—	—	—	+ 33,8	Alkohol.
118.300	52.81	0.1656	0.85	10,1	11,5	—	—	—	+ 15,5	Wasser.
102.518	45.76	0.0949	0.77	12,7	15,0	7.7783	7.7361	0.0422	+ 12,7	Wasser.
93.254	41.63	0.1063	0.84	6,8	—	7.7830	7.7600	0.0230	+148,8	Paraffin.
95.724	42.73	0.1003	0.88	9,3	10,4	—	—	—	— 25,0	Alkohol.
89.754	40.06	0.0896	0.76	9,7	11,1	—	—	—	+ 13,8	Wasser.
73.392	32.80	0.0796	0.63	17,6	21,3	—	—	—	+ 15,0	Wasser.
70.266	31.35	0.0699	0.58	7,0	9,9	—	—	—	+155,0	Paraffin.
61.277	27.35	0.0666	0.49	28,8	30,7	—	—	—	— 36,0	Alkohol.
56.474	25.21	0.0654	0.47	19,0	23,1	—	—	—	+ 20,0	Wasser.
64.091	28.61	0.0639	0.47	20,4	24,9	—	—	—	— 37,7	Alkohol.
65.189	29.10	0.0567	0.46	18,9	24,4	—	—	—	+ 15,8	Wasser.
64.159	28.64	0.0596	0.50	7,25	10,7	7.7981	7.7456	0.0525	+155,0	Luft.
65.394	29.19	0.0667	4.54	8,25	11,5	—	—	—	+160,0	Paraffin.
59.091	26.37	0.0624	0.50	15,4	19,4	7.7985	7.7425	0.0460	+ 15,5	Wasser.
66.355	29.62	0.0715	0.53	8,75	11,8	7.7930	7.7284	0.0646	+151,7	Paraffin.

Högbo bezogenen Stangen, sondern war in Stockholm gekauft.

Tabelle VII. (Fortsetzung.) Resultate der Experimente über Zug-

Alle geprüften Stangen waren in der Mitte zu kleineren

Die Klammern vor den Nummern bedeuten, dass die betr.

Nummer des Experiments.	Gattung des Stahls oder Eisens.	Probestangen.		Querschnitt der Stange an den nicht abgefeilten Theilen.		Mittlerer Querschnitt an der abgefeilten Seite.
		Gehalt an Kohlenstoff.	Phosphorgehalt.	Form.	Durchmesser oder Seite.	
		Proc.	Proc.	—	Zoll.	
38	Englisches Puddeleisen von Low Moor	0,21	0,068	Rund.	0,465	0,0823
39	" " " "	"	"	"	"	0,0807
40	" " " "	"	"	"	"	0,1062
41	" " " "	"	"	"	"	0,0784
42	Desgl. von Middlesbrough-on-Tees .	0,07	0,25	"	0,581	0,1909
43	" " " "	"	"	"	"	0,1815
44	" " " "	"	"	"	"	0,1933
45	" " " "	"	"	"	"	0,1881
46	" " " "	"	"	"	"	0,1880
47	" " " "	"	"	"	"	0,1990
48	" " " "	"	"	"	"	0,1946
49	" " " "	"	"	"	"	0,1913
50	Puddeleisen von Motala (Schweden)	0,2	0,02	"	0,465	0,1130
51	" " " "	"	"	"	"	0,1214
52	" " " "	"	"	"	"	0,1069
53	" " " "	"	"	"	"	0,1210
54	" " " "	"	"	"	"	0,1176
55	" " " "	"	"	"	"	0,1196
56	" " " "	"	"	"	"	0,1188
57	" " " "	"	"	"	"	0,1207
58	" " " "	"	"	"	"	0,1145
59	" von Surahammar, N. P.	—	—	"	"	0,1169
60	" " " "	—	—	"	"	0,1039
61	" " " "	—	—	"	"	0,1135
62	Eisen, auf dem Holzkohlenherde von Åryd (Schweden) fabricirt	0,7 bis 0,18	0,26	Quadratisch.	"	0,1810
63	" " " "	"	"	"	"	0,1819
64	" " " "	"	"	"	"	0,1373
65	" " " "	"	"	"	"	0,1373
66	" " " "	"	"	"	"	0,1341
67	" " " "	"	"	"	"	0,1326
68	Eisen, auf dem Lancashire-Herde von Lesjöfors (Schweden) fabricirt	0,06	0,022	"	"	0,1845
69	" " " "	"	"	"	"	0,1800
70	" " " "	0,07	"	"	"	0,1633
71	" " " "	"	"	"	"	0,1613
72 ^a	" " " "	"	"	"	"	0,1303
73 ^a	" " " "	"	"	"	"	0,1199

1) Vergl. pag. 109. — No. 72 und 73 waren von der vorher gebrochenen Stange selben Gattung.

festigkeit von Stahl und Eisen bei verschiedenen Temperaturen.

Dimensionen auf eine Länge von 4 bis 6 Zoll abgefeilt.

Exemplare Theile einer und derselben Stange sind.

Bruchgewicht pro □'' des ursprünglichen mittleren Querschnittes des abgefeilten Theiles der Stange.		Bruchfläche.	Verhältniß zwischen d. Bruchfläche u. dem ursprüngl. mittleren Querschnitte des abgefeilten Theiles.	Ausdehnung durch den Bruch		Specificsches Gewicht nach dem Experimente bestimmt			Temperatur der Stange während der Experimente.	Die Stange wurde gebrochen in
Pfd.	Tons.			□''	exclusive dem Zolle, in welchem der Bruch erfolgte.	auf eine Länge von 5,2 Zoll mit Einschluss der Bruchstelle.	des nicht abgefeilten Theiles.	des abgefeilten Theiles.		
				Proc.	Proc.				Cels.	
57.366	25.60	0.0401	0.49	23.5	23.8	—	—	—	+ 11.6	Wasser.
65.394	29.19	0.0425	0.53	9.0	11.8	7.7833	7.7149	0.0691	+129.4	Paraffin.
60.316	26.92	0.0567	0.53	20.0	24.2	7.7878	7.7404	0.0474	+ 12.7	Wasser.
67.316	30.05	0.0462	0.59	11.5	13.2	7.7889	7.7671	0.0218	+137.7	Paraffin.
61.483	27.44	0.1177	0.62	24.7	29.2	—	—	—	— 39.9	Alkohol.
57.846	25.81	0.1060	0.58	19.6	23.9	—	—	—	+ 13.8	Wasser.
63.885	28.60	0.1177	0.61	23.1	26.8	—	—	—	— 32.7	Alkohol.
59.287	26.46	0.1257	0.67	20.8	24.5	—	—	—	+ 15.0	Wasser.
52.837	23.58	0.1341	0.71	9.7	12.2	7.6808	7.6033	0.0775	+ 15.5	—
55.010	24.60	0.1099	0.55	20.8	24.1	7.6782	7.4807	0.1975	+ 16.6	—
69.717	31.12	0.1216	0.62	14.5	17.0	7.6885	7.5646	0.1239	+158.8	Paraffin.
62.556	27.92	—	—	8.8	10.6	7.6780	7.5629	0.1151	+215.5	—
54.141	24.17	0.0513	0.45	21.5	25.8	—	—	—	— 26.6	Alkohol.
51.121	22.82	0.0626	0.53	16.3	20.8	—	—	—	+ 15.5	Wasser.
63.336	28.27	0.0747	0.71	8.1	—	—	—	—	+160.0	Paraffin.
68.414	30.54	0.0762	0.63	15.7	17.5	—	—	—	+200.0	—
68.482	30.57	0.0580	0.49	21.3	24.3	—	—	—	— 32.7	Alkohol.
50.367	22.48	0.0667	0.56	11.0	—	7.7177	7.6921	0.0256	+ 11.6	Wasser.
53.111	23.71	0.0609	0.51	16.3	19.1	7.7359	7.7091	0.0267	+ 15.5	—
65.394	29.19	0.0715	0.59	9.6	—	7.7159	7.7065	0.0094	+163.9	Luft.
63.199	28.21	0.0624	0.55	8.0	—	7.7294	7.7032	0.0262	+190.0	—
50.710	22.63	0.0654	0.56	16.8	18.5	—	—	—	— 31.1	Alkohol.
46.310	20.67	0.0413	0.40	11.2	15.2	7.7918	7.7105	0.0813	+ 11.6	Wasser.
57.160	25.51	0.0540	0.48	9.7	13.1	7.7762	0.7458	0.0304	+170.0	Luft.
64.159	28.64	0.1257	0.69	18.7	29.9	7.7424	7.6699	0.0725	+ 12.7	Wasser.
79.667	35.56	0.1257	0.69	15.7	—	7.7657	7.7114	0.0543	+150.0	Paraffin.
66.286	29.59	0.0914	0.66	17.3	20.4	—	—	—	— 26.6	Alkohol.
67.590	30.17	0.1099	0.80	20.9	21.5	—	—	—	— 23.8	—
63.130	28.18	0.0654	0.49	14.25	19.5	—	—	—	+ 12.7	Wasser.
73.560	32.83	0.0684	0.52	16.5	20.2	—	—	—	+123.9	Paraffin.
55.376	24.71	0.0684	0.37	22.5	31.6	—	—	—	— 32.7	Alkohol.
51.053	22.79	0.0624	0.35	27.7	—	—	—	—	— 15.5	Wasser.
44.328	19.78	0.0401	0.25	25.4	33.1	7.8457	7.8135	0.0322	+ 13.8	—
62.169	27.79	0.0624	0.39	15.1	20.2	7.8381	7.8339	0.0042	+155.5	Paraffin.
56.199	25.08	0.0527	0.41	10.7	17.2	—	—	—	+ 12.7	Wasser.
62.718	28.00	0.0596	0.49	8.0	11.3	—	—	—	+165.6	Paraffin.

No. 41 in Tabelle IV, deren Bruchgewicht grösser war als das anderer Stangen der-

Tabelle VIII. Resultate der Experimente, welche angestellt wurden
Streckung von Stahl und Eisen, durch die Temperatur,
Die geprüften Stangen waren ungefähr 6 Fuss lang und in

Nummer der Stange.	Gattung des Stahls oder Eisens.	Behandlung der Stangen unmittelbar vor der Prüfung.
	Gehämmerter Bessemer Stahl von Högbo, gez. 1,2.	
1	1. Experiment	Zu geringer Rothgluth erhitzt und langsam abgekühlt
"	Dieselbe Stange 2.	½ Stde. lang i. Paraffin bei 130,0 C. erhitzt
"	" 3.	do. do. do.
"	" 4.	" " " "
"	" 5.	do. do. bei 150,0 C. erhitzt
"	" 6.	2 Stdn. lang i. Paraffin bei 170,5 C. erhitzt
"	" 7.	" " " "
"	" 8.	" " " "
"	" 9.	Erhitzt und langsam abgekühlt
"	" 10.	" " " "
"	" 11.	" " " "
	Gehämmerter Bessemer Stahl v. Högbo mit der alten Nummer: 3,5	
2 ₁	1. Experiment	" " " "
"	Dieselbe Stange 2.	" " " "
"	" 3.	" " " "
"	" 4.	" " " "
"	" 5.	Zu geringer Rothgluth erhitzt und langsam abgekühlt
"	" 6.	½ Stunde lang bei — 12,7° C. abgekühlt
"	" 7.	" " " "
"	" 8.	" " " "
	Gehämmerter Bessemer Stahl v. Högbo gez. 6,9:	
3	1. Experiment	" " " "
"	Dieselbe Stange 2.	" " " "
"	" 3.	" " " "
"	" 4.	Leicht erhitzt und langsam abgekühlt
"	" 5.	" " " "
	Gewalzter Puddelstahl von Surahammar, gez. B1:	
4	1. Experiment	" " " "
"	Dieselbe Stange 2.	" " " "
"	" 3.	" " " "
"	" 4.	" " " "
"	" 5.	" " " "
"	" 6.	" " " "
	Gewalzter Puddelstahl von Surahammar, gez. N1:	
5	1. Experiment	" " " "
"	Dieselbe Stange 2.	" " " "
"	" 3.	" " " "
"	" 4.	" " " "

1) Stange No. 2 war in der Mitte nicht abgefeilt, sondern ihrer ganzen Länge
 2) Diese Stange war vorher zu anderen Experimenten benutzt und dabei ge-

den, um zu bestimmen, inwieweit die Elasticitätsgränze bei der bei welcher man dieselbe vornimmt, beeinflusst wird.

der Mitte auf eine Länge von etwa $4\frac{1}{2}$ Fuss abgefeilt.

Betrag des Kohlenstoffs.		Der ursprüngl. Querschnitt bezüglich	Der mittlere abgefeilte Theil bezüglich		Durchschnittliche Temperatur während des Experiments.	Differenz zwischen der Temperatur während des Experiments und vor denselben.	Elasticitätsgränze.				Ausdehnung des mittlern abgefeilten Theils der Stange während jedes Experimentes.		
in der geprüften Stange.	in Stangen derselben Art.		Form.	Durchmesser oder Seitenlänge.			Länge.	Querschnitt.	Cels.	Cels.		Berechnet nach früheren Experimenten.	
		℥. pr.			gr.	℥. pr.					gr.	Höher	Niedriger
Proc.	Proc.	Zoll.	Fuss.	□''	Cels.	Cels.	℥. pr.	gr.	℥. pr.	gr.	℥. pr.	gr.	Proc.
—	1,35	Rund.	0,488	4,50	0,1679	+ 16,6	—	—	61,414	—	—	—	0,367
—	—	—	—	—	—	+ 20,0	— 14,4	74,109	81,657	7,548	—	—	0,060
—	—	—	—	—	—	+ 12,7	— 19,4	82,481	82,481	0	—	0	0,081
—	—	—	—	—	—	+ 128,8	+ 42,7	83,510	79,256	—	—	4,254	0,027
—	—	—	—	—	—	+ 16,6	— 74,4	79,873	78,226	—	—	1,647	0,521
—	—	—	—	—	—	+ 16,6	— 0	78,913	76,991	—	—	1,992	0,065
—	—	—	—	—	—	+ 130,0	+ 95,5	78,569	91,607	13,038	—	—	0,030
—	—	—	—	—	—	+ 13,8	— 133,9	92,842	96,960	4,118	—	—	0,047
—	—	—	—	—	—	+ 17,7	—	—	61,758	—	—	—	0,101
—	—	—	—	—	—	+ 18,8	— 54,4	72,188	79,736	7,548	—	—	0,092
—	—	—	—	—	—	+ 12,7	+ 13,8	82,344	69,992	—	—	12,352	0,105
1,26	—	Quadrat.	0,372	5,0 ¹⁾	0,1015 ¹⁾	+ 17,7	—	—	67,833	—	—	—	0,150
—	—	—	—	—	—	+ 120,5	+ 85,0	71,158	68,414	—	—	2,744	0,367
—	—	—	—	—	—	+ 12,7	— 115,5	70,404	76,579	6,175	—	—	0,099
—	—	—	—	—	—	+ 136,6	— 106,1	77,540	73,766	—	—	—	0,201
—	—	—	—	—	—	+ 15,0	—	—	65,189	—	—	3,774	0,143
—	—	—	—	—	—	+ 7,7	— 25,0	66,561	66,561	0	—	0	0,113
—	—	—	—	—	—	+ 23,8	— 49,0	67,933	70,678	2,745	—	—	0,085
—	—	—	—	—	—	+ 10,0	+ 3,8	71,364	67,590	—	—	3,774	0,171
—	1,05	Rund.	0,465	4,62	0,1156	+ 13,8	—	—	61,502	—	—	—	0,130
—	—	—	—	—	—	+ 29,9	— 61,6	69,306	72,737	3,431	—	—	0,126
—	—	—	—	—	—	+ 15,0	+ 27,7	—	69,649	—	—	—	0,204
—	—	—	—	—	—	+ 131,6	+ 98,8	75,825	85,431	9,606	—	—	0,171
—	—	—	—	—	—	+ 15,5	— 134,0	88,176	90,921	2,745	—	—	0,762
0,66	—	Rund.	0,5	4,37	0,1214	+ 13,8	—	—	46,318	—	—	—	0,110
—	—	—	—	—	—	+ 29,9	— 61,6	50,435	53,180	2,745	—	—	0,187
—	—	—	—	—	—	+ 10,5	+ 22,7	57,983	55,239	—	—	2,744	0,289
—	—	—	—	—	—	+ 130,0	+ 102,0	62,444	62,444	0	—	0	0,320
—	—	—	—	—	—	+ 11,6	— 136,1	68,620	70,335	1,715	—	—	0,211
—	—	—	—	—	—	+ 128,8	+ 99,4	72,737	71,364	—	—	1,363	0,307
0,56	—	Quadrat.	0,476	4,49	0,1561	+ 15,0	—	—	39,113	—	—	—	0,303
—	—	—	—	—	—	+ 135,0	+ 102,2	43,573	46,318	2,745	—	—	0,324
—	—	—	—	—	—	+ 11,6	— 141,1	53,043	55,414	2,401	—	—	0,318
—	—	—	—	—	—	+ 32,7	— 62,2	56,611	59,03	2,402	—	—	0,396

nach gleich stark, dehnt worden, woher sich ihre hohe Elasticitätsgränze schreibt.

Tabelle VIII. (Fortsetzung.) Resultate der Experimente, welche gränze bei der Streckung von Stahl und Eisen, durch die Tem-
Die geprüften Stangen waren ungefähr 6 Fuss lang und in

Nummer der Stange.	Gattung des Stahls oder Eisens.	Behandlung der Stangen unmittelbar vor der Prüfung.
	Gewalzter Puddelstahl von Surahamar, gez. NP2:	
6 ²	1. Experiment	
"	Dieselbe Stange 2.	½ Stde. lang i. Paraffin bei 140,0 C. erhitzt
"	3.	do. do. bei 150,0 C. erhitzt
"	4.	25 Minuten lang bei 130° C. in Paraffin erhitzt
"	5.	.
"	6.	.
	Gewalztes Puddeleisen v. Low Moor:	
7 ²	1. Experiment	.
"	Dieselbe Stange 2.	.
"	3.	.
	Gewalztes Puddeleisen von Motala (Schweden):	
8	1. Experiment	.
"	Dieselbe Stange 2.	.
"	3.	.
"	4.	.
	Gewalztes Puddeleisen von Motala (Schweden):	
9 ²	1. Experiment	.
"	Dieselbe Stange 2.	.
"	3.	.
"	4.	.
"	5.	.
"	6.	Bis zur Rothgluth erhitzt und lang-sam abgekühlt
"	7.	½ Stde. lang i. Paraffin bei 140,0 C. erhitzt
"	8.	.
"	9.	.
"	10.	½ Stde. lang i. Paraffin bei 140,0 C. erhitzt
"	11.	.
"	12.	.
	Gewalztes Puddeleisen von Surahamar, gez. NH:	
10	1. Experiment	.
"	Dieselbe Stange 2.	.
"	3.	.
	Gewalztes Eisen, auf dem Holzkohlenherde von Aryd (Schweden) fabricirt:	
11	1. Experiment	.
"	Dieselbe Stange 2.	.
"	3.	.

2) Diese Stangen waren vorher zu andern Experimenten benutzt und dabei ge-

angestellt wurden, um zu bestimmen, inwieweit die Elasticitäts-
peratur, bei welcher man dieselbe vornimmt, beeinflusst wird.

der Mitte auf eine Länge von etwa $4\frac{1}{2}$ Fuss abgefeilt.

Betrag des Kohlenstoffs.		Der ursprungl. Querschnitt bezüglich		Der mittlere abgefeilte Theil bezüglich		Durchschnittliche Temperatur während des Experiments.	Differenz zwischen der Temperatur während des Experiments und vor demselben.	Elasticitätsgränze.				Ausdehnung des mittlen abgefeilten Theiles der Stange während jedes Experimentes.
in der geprüften Stange.	in Stangen derselben Art.	Form.	Durchmesser oder Seitenlänge.	Länge.	Querschnitt.			Cels.	Cels.	Berechnet nach früheren Experimenten.		
						℥. pr.	℥. pr.			℥. pr.	℥. pr.	Höher
Proc.	Proc.	Zoll.	Fuss.	□''	Cels.	Cels.	℥. pr.	℥. pr.	℥. pr.	℥. pr.	Proc.	
—	0,7	Quadrat.	0,488	4,50	0,2163	+ 16,6	—	—	52,151 ²	—	—	0,106
—	"	"	"	"	"	+ 16,6	0	62,444	68,276	5,852	—	0,044
—	"	"	"	"	"	+ 13,8	- 20,5	71,776	71,776	0	0	0,048
—	"	"	"	"	"	+ 20,0	- 11,6	72,599	72,051	—	548	0,066
—	"	"	"	"	"	+ 113,9	+ 76,1	74,795	68,620	—	6,175	0,079
—	"	"	"	"	"	+ 17,7	- 113,9	69,992	71,707	1,715	—	0,082
—	0,2	Rund.	0,5	4,72	0,1256	+ 147,7	—	—	41,515 ²	—	—	0,476
—	"	"	"	"	"	+ 10,5	- 155,5	42,201	46,318	4,117	—	0,986
—	"	"	"	"	"	- 26,6	- 55,0	48,377	50,435	2,058	—	0,179
—	0,2	Rund.	0,476	4,65	0,1229	+ 13,8	—	—	34,172	—	—	0,256
—	"	"	"	"	"	+ 135,5	+ 98,8	36,368	34,015	—	2,333	0,571
—	"	"	"	"	"	+ 13,8	- 133,6	35,339	39,662	4,323	—	0,151
—	"	"	"	"	"	+ 133,9	+ 105,0	40,142	35,339	—	4,803	0,705
—	0,2	Rund.	0,476	4,49	0,1112	+ 140,0	—	—	34,447 ²	—	—	0,276
—	"	"	"	"	"	+ 13,8	- 143,8	35,849	39,250	3,431	—	0,374
—	"	"	"	"	"	+ 135,0	+ 103,3	39,799	35,270	—	4,529	0,379
—	"	"	"	"	"	+ 17,7	- 134,1	37,260	42,132	4,972	—	0,978
—	"	"	"	"	"	- 20,5	- 56,1	42,544	45,289	2,745	—	0,230
—	"	"	"	"	"	+ 15,5	—	—	27,448	—	—	0,294
—	"	"	"	"	"	+ 17,7	- 15,5	28,134	31,565	3,431	—	0,484
—	"	"	"	"	"	+ 128,8	+ 93,3	33,344	29,369	—	3,975	0,276
—	"	"	"	"	"	+ 15,5	+ 131,1	29,918	33,898	3,980	—	0,161
—	"	"	"	"	"	17,7	- 15,5	34,653	33,966	—	687	0,093
—	"	"	"	"	"	+ 132,7	+ 97,2	31,653	29,849	—	4,804	0,390
—	"	"	"	"	"	+ 18,8	- 126,1	30,535	34,653	4,118	—	0,935
—	0,2	Rund.	0,476	4,50	0,1269	+ 13,8	—	—	28,134	—	—	0,103
—	"	"	"	"	"	- 27,7	- 59,4	29,506	32,594	3,088	—	0,256
—	"	"	"	"	"	+ 148,8	+ 158,8	35,956	28,820	—	7,136	0,138
—	0,1	Quadrat.	0,511	4,49	0,2087	+ 11,6	—	—	45,426	—	—	0,358
—	"	"	"	"	"	- 29,9	- 59,4	46,455	49,886	3,431	—	0,630
—	"	"	"	"	"	+ 10,0	+ 22,2	50,092	47,347	—	2,745	0,328

dehnt worden, woher sich ihre hohe Elasticitätsgränze schreibt.

Tabelle IX. Resultate der Experimente zur Bestimmung des

Nummer der Stange.	Gattung des Eisens oder Stahles.	Specificches Gewicht der Stange.	Betrag des Kohlenstoffs		Querschnitt ¹⁾ bezüglich	
			in der geprüften Stange.	in Stangen derselben Art.	der Form.	seiner Grösse vor dem Experimente.
1	Gehämmerter Bessemer Stahl von Högbo	7,832	—	1,35	Rund.	0,1823
2 ³	gez. 1,2					
3	Gez. mit der alten Härtenummer 3,5, Stange No. 2 der Tabelle VIII	7,850	1,26	—	Quadratisch.	0,1015
3	Gez. mit der alten Härtenummer 0,9, Stange No. 3 der Tabelle VIII	7,849	—	1,05	"	0,1156
4 ³	Gehämmertes Bessemer Eisen von Högbo.	7,878	0,1	—	"	0,1003
5	Gez. mit der alten Härtenummer 5					
6	Gewalzter Gussstahl von Wikmanshyttan	7,832	1,22	—	Rund.	0,1691
6	Härte No. 1					
7	Gehämmerter Puddelstahl von F. Krupp.	7,843	—	0,61	"	0,2065
7	Gez. mit zwei Kronen					
8	Gewalzter Gussstahl von Surahammar.	7,781	0,66	—	Quadratisch.	0,1214
9	Gez. B. 1, Stange No. 4 der Tabelle VIII					
10	Gewalztes Puddeleisen.	7,780	—	0,20	Rund.	0,1961
11	Von Low Moor					
12	Von Dudley	7,444	—	0,09	"	0,2006
13	Von Motala (Schweden)	7,734	0,05	—	"	0,1942
14	Stange No. 8 der Tabelle VIII	7,734	—	0,2	Quadratisch.	0,1229
15	Von Surahammar, gez. N.	7,789	0,14	—	"	0,2176
16	gez. N.H., Stange No. 10 der Tabelle VIII	7,807	—	0,2	"	0,1269
17	Gewalztes Eisen, in einem Holzkohlenherde fabricirt.	7,780	—	0,07 b.	"	0,2087
18	Von Äryd, (Schweden), Stange No. 11 der Tabelle VIII					
19	Gewalztes Eisen, in einem Holzkohlenherde fabricirt.	7,829	—	0,07	"	0,1891
20	Von Hallstahammar (Schweden)					

1) Für die Stangen in Tabelle VIII, welche in der Mitte auf kleinere Dimensionen ab-
2) Der Einfluss der permanenten Ausdehnung auf den Elasticitätsmodul wurde zuerst Verringerung desselben auf den nach der Erhitzung erlangten Werth zu beziehen ist.
3) Die Stangen No. 2, 4 und 5 waren nicht von Högbo bezogen, sondern in Stockholm

Elasticitätsmoduls durch Streckung des Eisens und Stahls.

Der Elasticitätsmodul

Wenn die Stange nicht erhitzt worden ist.	Die Stange hatte, ehe der Modulus abgenommen wurde, eine permanente Ausdehnung erlangt von	Wenn die Stange zu geringer Rothgluth erhitzt worden war.	Die Stange hatte, ehe der Modulus abgenommen wurde, eine permanente Ausdehnung erlangt von	Verringert durch die permanente Ausdehnung.	Die permanente Ausdehnung, welche die Stange vorher angenommen hatte.	Durch eine Temperaturzunahme		Durch eine Temperaturzunahme von - 16,7° Cels. durchschnittlich erniedrigt.	Erhöhung.	Durch Temperaturabnahme		Durch eine Temperaturabnahme von - 16,7° C. erhöht um	
						von	bis			von	bis		
ℓ. pr. □''	Proc.	ℓ. pr. □''	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Cels.	Cels.	Proc.	Proc.	Cels.	Cels.	Proc.
—	—	31,839,680	0,003	6,4 ²	0,58	—	—	—	—	0,5	+10,0	-22,7	0,015
30,124,180	0,004	30,535,900	0,006	4,9 ²	0,66	3,8	+12,7	+132,7	0,031	1,0	+ 8,8	-29,9	0,025
30,604,520	0,014	31,496,580	0,000	9,24 ²	0,72	—	—	—	—	—	—	—	—
31,320,020	0,002	34,548,480	0,017	6,5	0,61	—	—	—	—	—	—	—	—
34,241,380	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,222,100	0,021	—	—	8,6	0,7	4,2	+15,5	+125,5	0,035	—	—	—	—
31,359,340	0,0008	32,114,160	0,004	6,2	0,78	3,8	+15,0	+130,0	0,033	1,2	+10	-23,8	0,035
—	—	30,330,040	0,015	—	—	—	—	—	—	2,1	+10,5	-32,7	0,047
29,918,320	0,027	—	—	5,7	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—
31,976,920	0,006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28,408,680	0,008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27,418,000	0,077	—	—	6,6	1,77	—	—	—	—	—	—	—	—
30,261,420	0,008	3,779,000	0,001	7,76	0,72	—	—	—	—	—	—	—	—
20,576,220	—	—	—	—	—	5,0	+15,0	+140,0	0,040	1,9	+ 8,8	-32,0	0,046
31,081,860	0,018	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,467,280	0,002	30,741,760	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26,761,800	0,037	—	—	4,3	0,54	—	—	—	—	2,0	+12,7	-32,0	0,044
27,791,000	0,003	29,232,120	0,003	0,78	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—
28,957,640	0,013	—	—	—	—	3,7	+15,0	+127,7	0,033	—	—	—	—
30,810,380	0,001	30,810,380	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

gefleht waren, zeigt diese Tabelle nur die Form und den mittleren Querschnitt, nach der Erhitzung der Stange untersucht, weshalb der Procentsatz der hier gegebenen gekauft worden,

modul des Stahles und Eisens durch Biegung zu bestimmen.
die Entfernung zwischen den Stützen betrug 4 Fuss.

Elasticitätsmodul.

Wenn die Stange nicht erhitzt worden war.	Wenn die Stange erhitzt worden war.	Verringerung durch die permanente Verbiegung der Stange.	Permanente Verbiegung, welche die Stange unmittelbar vorher angenommen hatte.	Verringerung durch Härtung.	Verringerung.	Durch Temperaturzunahme		Durchschnittliche Verringerung durch eine Temperaturzunahme von — 13,4° C. ¹	Zunahme.	Durch Temperaturreduktion		Durchschnittliche Zunahme durch eine Temperaturreduktion von — 13,4° C. ¹
						von	bis			von	bis	
℔. pr. □''	℔. pr. □''	Proc.	Zoll.	Proc.	Proc.	Cels.	Cels.	Proc.	Proc.	Cels.	Cels.	Proc.
30,760,346	—	1,55	6,1476	1,0	1,98	+ 15,0	+ 130,0	0,017	0,64	+ 13,8	— 17,7	0,020
—	31,908,300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	32,388,640	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	3,2	—	—	—	—	1,12	+ 13,8	— 16,6	0,036
29,232,120	30,741,760	—	—	1,1	3,28	+ 10,5	+ 131,6	0,027	1,44	+ 13,8	— 16,6	0,046
—	30,673,140	—	—	—	—	—	—	—	1,20	+ 15,0	— 18,8	0,035
—	—	—	—	1,6	2,18	+ 15,5	+ 125,0	0,020	0,48	+ 10,0	— 10,0	0,024
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,95	+ 18,8	— 12,7	0,030
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,02	+ 15,5	— 15,0	0,033
27,310,160	27,379,380	—	—	—	—	—	—	—	1,33	+ 18,8	— 15,0	0,040
—	29,849,700	—	—	—	—	—	—	—	1,14	+ 18,8	— 17,0	0,031
30,810,380	30,810,380	1,88	0,4476	—	2,60	+ 13,8	+ 133,4	0,022	0,96	+ 12,7	— 18,8	0,030
—	31,839,680	—	—	—	—	—	—	—	0,99	+ 18,8	— 11,6	0,032
27,585,240	27,585,240	1,47	0,0813	—	4,06	+ 13,8	+ 124,4	0,036	1,18	+ 13,8	— 16,6	0,038
—	27,516,620	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,084,860	31,290,720	0,70	0,7034	—	—	—	—	—	1,11	+ 18,8	— 17,7	0,030
—	30,398,660	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Die Stange No. 13 wurde ihrer ganzen Länge nach verbogen und dann wieder gerade gezogen, wodurch der Elasticitätsmodul um 6,6 Proc. verringert wurde.

Der Elasticitätsmodul der ausgeglichenen Stange No. 15 ergab sich bei der Biegung als 27379350 Pfd., und stieg auch bei wiederholtem Ausgleichen nicht höher als auf 27516620 Pfd. pro Quadratzoll.

sprünglichen Zustande der Stange bestimmt, mittelbar vor dem Experimente erhitzt worden, spezifische Gewicht auf 7,882 erhöht.

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

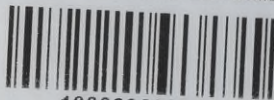
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

7807

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299578