

W 379

STROUHAL-BARUS,

Anlassen des

STAHLs

ÜBER
ANLASSEN DES STAHL'S

UND
MESSUNG SEINES HÄRTEZUSTANDES.

388/48
VON

DR. V. STROUHAL und DR. C. BARUS. **ÚSTAV MECHANICKÉ TECHNOL.**
ZUŠENÍS. INV. **UMÍSTENÍ**
225c

(Sep.-Abdr. aus den Verhandl. der phys.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. XV. Bd.)

WÜRZBURG.

DRUCK UND VERLAG DER STAHEL'SCHEN BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.
1880.

HERRN PROF. DR. F. KOHLRAUSCH

HOCHACHTUNGSVOLL

GEWIDMET

VON DEN VERFASSERN.



547/63

Inhalt.

	Seite.
I. Einleitung	7
II. Härtungsverfahren	8
III. Bestimmung der thermoelektrischen Stellung	11
IV. Bestimmung des galvanischen Leitungswiderstandes	17
V. Allgemeine Resultate der Härtung	20
VI. Anlassen in Leinölbad	23
VII. Bedeutung der Einwirkungsdauer der Anlasstemperatur	27
VIII. Anlassen in Methylalkoholdampf	31
IX. Anlassen in Wasserdampf	33
X. Anlassen in Anilindampf	37
XI. Anlassen in Bleibad	39
XII. Allgemeine Resultate des Anlassens	41
XIII. Verhalten der bei bestimmter Temperatur angelassenen Stahldrähte tieferen und höheren Temperaturen gegenüber	43
XIV. Verhalten ausgeglühter Stahldrähte	46
XV. Beziehung zwischen galvanischen Leitungswiderstand des Stahls und dessen thermoelektrischer Stellung	48
XVI. Fehlerquellen	52
XVII. Schluss	54

Vorgetragen in der VIII. Sitzung der physikalisch-medizinischen Gesellschaft am 24. April und in der IV. Sitzung der chemischen Gesellschaft am 7. Juni 1880.

I. Einleitung.

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit war es unsere Absicht, den Zusammenhang zwischen dem permanenten Magnetismus des Stahls und dessen Härtezustande einer neuen Untersuchung zu unterziehen. Geleitet wurden wir zu dieser Absicht durch die Ergebnisse einer früheren von *C. Barus*¹⁾ angestellten Untersuchung, aus welcher hervorgeht, dass als *Maass* des Härtezustandes des Stahls sowohl dessen *thermoelektrisches Verhalten* als auch sein *galvanischer Leitungswiderstand* in vorzüglicher Weise verwendbar ist. Demgemäß lag es in unserem Plan, vor Allem durch Härteten und Anlassen von Stahldrähten recht verschiedene Härtegrade herzustellen und dadurch ein Material uns zu verschaffen wie es für jene Untersuchung wünschenswert erschien.

Im Verlaufe der Arbeit nahm indessen das Verhalten des Stahls beim Härteten und Anlassen im Zusammenhange mit dessen thermoelektrischer Stellung und galvanischem Leitungswiderstand so sehr unser Interesse in Anspruch, dass es uns lohnend erschien, bei diesen Beziehungen länger als beabsichtigt war, zu verweilen, um so mehr, als sich im Verlaufe der Untersuchung Analogien ergaben, die es möglich machten, den Gegenstand von einem allgemeineren Gesichtspuncte aus zu erfassen. So viel gleich im Voraus zur richtigen Beurtheilung der ganzen Anlage der Arbeit.

¹⁾ *C. Barus*: Die thermoelektrische Stellung und das elektrische Leitungsvermögen des Stahls. *Wied. Annalen* 1879, VII pag. 338.

Die zur Untersuchung gewählten Stahldrähte, in der Dicke zwischen 0,3 mm und 1,0 mm variirend und (angeblich) derselben Stahlsorte („englischer Silberstahl“) angehörig, wurden durch Vermittelung von *H. E. Hartmann* von der Fabrik *M. Cooks Brothers* Sheffield und Manchester bezogen. Bei der grossen Mannigfaltigkeit verschiedener Stahlsorten schien es uns von besonderer Wichtigkeit zu sein, die Untersuchung zunächst bei einer und derselben Stahlsorte durchzuführen.

Die Arbeit wurde im *physikalischen Institut der Universität Würzburg* ausgeführt. Mit besonderer herzlicher Dankbarkeit gedenken wir der freundlichen Unterstützung, die uns von Hrn. Professor *F. Kohlrausch* mit Rath und That jederzeit zu Theil geworden.

II. Härtungsverfahren.

Bei der grossen Menge von Stahldrähten, die wir zu härten hatten, mussten wir ganz besonders darauf bedacht sein einen Apparat zu construiren, der möglichst bequem und rasch zu arbeiten gestattete. Derselbe bewährte sich in vorzüglicher Weise in folgender Form:

A ist eine (90 mm lange) aus dichtem Holz (Buxbaum) gedrehte und in ein festes, in der Mitte durchbohrtes Stativ *S* leicht von oben (mittels Bajonetverschluss) anzubringende cylindrische Hülse. In die nach unten gekehrte, breitere (30 mm) Bohrung passt dicht ein Wasserhahn, der durch starken Schlauch mit einer Wasserleitung communicirt; in die nach oben gekehrte engere (15 mm) Bohrung wird eine (etwa 300 mm lange), den zu härrenden Draht einschliessende Glasröhre eingesetzt. Ausser diesen beiden in einander übergehenden Bohrungen in ihrer Axenrichtung, hat die Hülse noch senkrecht zur Axe eine Bohrung, in welche ein (5 mm dicker) Stahlstab *B* dicht eingesetzt werden kann.

Der zu härrende Draht wird durch zwei Klemmen gefasst, die zugleich mit den Zuleitungsdrähten der Batterie in folgender Weise in Verbindung gesetzt werden können.

Die untere Klemme hat eine Längs- und eine Querbohrung. Man klemmt zuerst in der ersteren den Draht fest, steckt denselben von unten in die auf die Hülse aufgesteckte Glasröhre ein, schiebt dann in die seitliche Bohrung der Hülse den Stahlstab durch die Querbohrung der Klemme durch und klemmt von unten fest. Die Centrirung geschieht durch Verschieben und Drehen des Stahlstabes.

Darauf wird die Hülse mit der Glasröhre und dem Draht in das Stativ eingesetzt, der Wasserhahn von unten eingesteckt und sodann der Draht oben, wo er aus der Glasröhre herausragt, durch eine zweite Klemme gefasst. Diese sitzt an einer Feder *C*, die an dem Stativ verschoben werden kann und zur Spannung des Drahtes dient. Durch Anwendung dieser Feder, die sich in der aus der Figur 1 ersichtlichen parallelepipedischen Form am besten bewährt hat, bleiben die Drähte nach dem Ablöschen gerade. Die Centrirung des Drahtes in der Glasröhre von oben geschieht leicht durch Verstellen der Feder *C*. An diese und an den Stahlstab *B* werden schliesslich durch Klemmen die Zuleitungsdrähte der galvanischen Batterie angesetzt.

Zur Vermeidung der Oxydation des Drahtes während des Glühens wurde durch die Glasröhre ein Strom trockener Kohlensäure hindurchgeleitet. Zu dem Zwecke hat der Wasserhahn — nach dem Prinzip des *Senguerd'schen* Hahnes — nebst seiner Hauptbohrung noch eine enge, von aussen eintretende Nebenbohrung, durch welche ein trockener Kohlensäurestrom in die Glasröhre eintritt. In bekannter Weise ist dann je nach der Stellung des Hahnes entweder die Kohlensäure oder die Wasserleitung abgesperrt.

Bei dem starken Wasserdruck, mit dem wir arbeiten mussten, erwies sich als sehr störend der Umstand, dass beim Oeffnen des Hahnes das Wasser zu allererst stark spritzend einzelne Theile des glühenden Drahtes früher ablöschte, bevor der ganze Draht von der Hauptmasse des Wassers ereilt wurde. Wir benützten deshalb noch einen zweiten in der Wasserleitung befindlichen Hahn in der Weise, dass zuerst einer von uns den ersten Hahn um 90° gedreht — wodurch die Kohlensäure abgesperrt wurde,

wobei aber das Wasser, durch den Luftdruck getragen ruhig blieb — dann sofort den elektrischen Strom unterbrochen hatte, wobei der andere von uns gleichzeitig den zweiten Wasserhahn rasch aufmachte. Das Wasser stürzte dann, die Glasröhre gleichmässig ausfüllend, sehr rasch hinauf, um so rascher, als der Wasserdruck stark und der Querschnitt des Wasserleitungsrohres im Vergleich zum Querschnitt der Glasröhre bedeutend grösser war.

Ohne Zweifel ist gerade dieser Umstand für das Härteln des Stahls von ganz wesentlicher Bedeutung. Bei erster Berührung des Wassers mit dem glühenden Stahl würde sich bei geringer Strömungsgeschwindigkeit des Wassers eine den Stahl schützend einhüllende Dampfschicht bilden, die das rasche Abkühlen und dadurch auch das Härteln hindern würde. Ist aber die Strömung des einstürzenden Wassers stark und heftig, so wird diese Dampfschicht bei ihrer Bildung sofort mitgerissen und neue Schichten des Wassers treten kühlend stets mit Stahl in Berührung.

Das Springen der dünnwandigen Glasröhre trat selten ein, da wir zur Vermeidung stärkerer Erwärmung den Draht nicht länger glühen liessen als gerade notwendig war.

Das jedesmalige Auseinandernehmen und Trocknen einzelner Theile des Apparates nach jedem Versuch nimmt allerdings Zeit und Mühe in Anspruch. Trotzdem spricht für die Zweckmässigkeit des Apparates der Umstand, dass wir bei späteren Versuchen in einem Zeitraum von etwa 5 Stunden bequem 50 bis 60 Drähte gehärtet haben. Von den sämmtlichen Drähten, deren Anzahl gegen 180 stieg, wurden für definitive Bestimmungen nur die aus den letzten Härtungsversuchen hervorgegangenen gewählt. Die Endstücke wurden so weit abgebrochen als nötig schien, um den übrig bleibenden mittleren Theil des Drahtes für homogen gehärtet halten zu dürfen. In welcher Weise die Drähte auf ihre Homogenität geprüft wurden, soll später ausführlicher besprochen werden.

Als Stromquelle wurde eine Säule von 20 bis 30 grossen *Bunsen'schen* Bechern gebraucht. Je nach dem galvanischen Widerstand der zu härtenden Drähte wurden dann diese entweder alle hintereinander oder in einzelnen Gruppen nebeneinander ver-

wendet. In letzterer Beziehung hat die Erfahrung gelehrt, dass man diese Gruppen sowohl der Anzahl als auch der Zusammensetzung der in denselben zusammengefassten Elemente nach ganz gleich halten muss, da sonst ein Strom durch die Batterie selbst circulirt, durch den die Kohlen angegriffen und zu einem pulverigen Brei aufgelöst werden.

III. Bestimmung der thermoelektrischen Stellung.

1. *Thermoclement.* Die thermoelektrische Stellung der untersuchten Stahldrähte bezogen wir auf einen bestimmten Normaldraht. Als solchen wählten wir einen *Silberdraht*, den wir aus galvanisch reducirtem Silber in zwei Exemplaren gezogen haben. Aus Gründen praktischer Natur wurde jedoch dieser Normaldraht nicht direct sondern indirect verwendet, indem wir die Stahldrähte zunächst mit einem Kupferdraht gegebener Sorte combinirten dessen Stellung gegen unseren Normaldraht wir durch wiederholte Versuche sehr sorgfältig bestimmt hatten, und dann die beobachtete thermoelektrische Kraft Stahl-Kupfer auf solche Stahl-Silber umrechneten.

Das Thermoelement selbst bewährte sich nach manchen Abänderungen in vorzüglicher Weise in der durch Fig. 2 schematisch dargestellten Anordnung.

S_1 und S_2 sind zwei doppelt tubulirte Glasballons von etwa je 1 Liter Gehalt. Dieselben werden auf schlecht leitende Untergüsse in der Weise aufgestellt, dass die Tubuli *A* und *B* horizontal die beiden anderen vertical zu stehen kommen. Die horizontalen Tubuli werden mit gut schliessenden Korken versehen, in welche wasserdicht eine Glasröhre *cd* eingesetzt ist. Die Glasballons werden dadurch zusammengehalten und zwar in Entfernung, die beliebig, je nach Länge des zu untersuchenden Drahtes gewählt werden konnten. Der letztere wurde nun durch die Glasröhre durchgesteckt und diese selbst durch zwei kleine mit feinen Bohrungen für den Draht versehene Körke verschlossen. Auf diese Weise wurde der Zweck erreicht, sehr dünne oder sehr spröde und darum leicht zerbrechliche Drähte hinreichend zu

schützen. Die als Pole des Elementes dienenden übersponnenen Kupferdrähte h und k wurden durch die dicken Korke durchgeführt und in diesen ein für allemal eingekittet.

Das Zusammensetzen des Elementes erfolgte nun in der Weise, dass zunächst der Stahldraht durch die Glasröhre und die kleinen Korke durchgesteckt und die Glasröhre mit diesen verschlossen wurde. Sodann wurden die freien Enden der Kupferdrähte an die Enden der Stahldrähte durch flache Klemmschrauben verbunden oder nach Umständen angelöhet und schliesslich an die grossen Korke die Ballons angesetzt. Man füllte dann die letzteren mit destillirtem Wasser und zwar den einen von Zimmertemperatur, den anderen von zweckmässig gewählter höherer Temperatur, schützte den letzteren durch Einhüllen mit Tüchern etc. vor Wärmeverlust, und setzte schliesslich durch die verticalen Tubuli zwei vorher mit einem Normalthermometer verglichene Thermometer ein, deren Stand bei den Beobachtungen nach vorhergegangenem fleissigem Röhren des Wassers mit Fernrohr abgelesen wurde. Die Glasröhre enthält noch bei n eine kleine Bohrung die der in der Röhre eingeschlossenen und zum Theil durch warmes Wasser des einen Ballons sich ebenfalls erwärmen den Luft Austritt gestattet.

2. Bestimmungsmethode. Die Bestimmung der elektromotorischen Kraft des Thermoelementes wurde nach folgendem Verfahren im compensirten Zustande ausgeführt. Ist (Fig. 3) E das compensirende Element (ein Daniell), e das compensirte (das Thermoelement), ferner W der Widerstand auf dem Wege AEB , w der Widerstand auf dem Wege AMB , so gilt, wenn der Strom in dem Zweige AeB , in welchem auch das Galvanoskop S eingeschaltet ist, gleich Null wird, die Beziehung

$$\frac{e}{E} = \frac{w}{W+w}$$

Bei unseren Versuchen war im äussersten Falle

$$\frac{w}{W} = \frac{5}{10000}$$

Es tritt somit bei hinreichender Genauigkeit an Stelle der obigen die einfachere Beziehung

$$\frac{e}{E} = \frac{w}{W}$$

Beide Widerstände w und W wurden durch zwei Siemens'sche Rheostaten dargestellt. Die Widerstände der Verbindungsdrähte sowie der innere Widerstand des Daniell'schen Elements kamen nicht in Betracht. Bei W konnte man hinauf bis 30 000 bei w hinunter bis 0,1 S.E.

Um von den Schwankungen in der elektromotorischen Kraft des Daniell'schen Elementes, welche, wie bekannt, je nach der Zusammensetzung desselben und der Dauer der Verwendung keineswegs unbedeutend sind, vollständig unabhängig zu sein, wurde die elektromotorische Kraft des Elementes vor und nach jeder Beobachtung besonders bestimmt. Zu dem Zwecke konnte in den Stromkreis $EAMB$ mittels eines Stromschlüssels die Leitung zu einem Wiedemann'schen Galvanometer eingeschaltet werden, dessen Reductionsfactor A vorher ermittelt worden war. Man unterbrach die Leitung in dem Zweige ASB , schaltete den Widerstand w aus und W ein, schloss den Stromkreis $EAMB$ und beobachtete den Ausschlag n des Galvanometers.

Es ist dann

$$E = Aw$$

In der Regel wurde $W = 20000$ S.E. gewählt, dem Widerstande entsprechend, bei welchem etwa das Element zum Compensiren thatsächlich verwendet wurde.

Die Bestimmung des Reductionsfactors A des Galvanometers wurde mit Hilfe einer Tangentenboussole von bekanntem (aus den Dimensionen und der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus berechneten und durch voltametrische Bestimmungen controlirten) Reductionsfactor C ausgeführt. Die Anordnung ist durch Fig. 4 schematisch dargestellt. E ist das Daniell'sche Element, T die Tangentenboussole, G das Spiegel-Galvanometer. Ist w der Widerstand, i die Stromstärke im Zweige AMB , W der Widerstand, J die Stromstärke im Zweige AGB , so ist

$$JW = iw$$

daher

$$\frac{J}{J+i} = \frac{w}{W+w}$$

Nun ist an der Tangentenboussole¹⁾

$$J + i = C \tan \varphi. [1 + f(\varphi)]$$

¹⁾ Ueber die für die Tangentenboussole zu Grunde gelegte Formel siehe F. Kohlrausch, Pogg. Annalen 1870 CXLI, pag. 457.

und am Galvanometer

$$J = An$$

daher

$$An = \frac{w}{W+w} C \tan \varphi [1 + f(\varphi)]$$

Durch geeignete Wahl der Widerstände w und W konnte man sowohl am Galvanometer wie an der Tangentenboussole passenden Ausschlag erhalten. Zur Controle wurde die Bestimmung des Reductionsfactors A oft wiederholt.

3. Beobachtung. Die wirkliche Anordnung des Versuches so wie sie durch Fig. 5 dargestellt wird, weicht von der bisher beschriebenen schematischen bloss durch zweckmässige Verwendung der Stromwender und Stromunterbrecher ab.

Der Commutator I, unmittelbar nach dem *Daniell'schen* Elemente zur Aenderung seiner Stromrichtung eingeschaltet, erweist sich zunächst als zweckmässig bei der Bestimmung der elektromotorischen Kraft dieses Elementes aus dem Ausschlag des durch den Schlüssel II in die Leitung eingeschalteten Spiegelgalvanometers G , den man dann doppelt nimmt. Ausserdem trägt die Verwendung desselben in Verbindung mit dem Commutator III, der zur Aenderung der Stromrichtung des Thermoelementes dienen soll, wesentlich zur Genauigkeit der Bestimmung insofern bei, als dadurch fremde elektromotorische Kräfte, die bei den im Zimmer etwa vorhandenen Temperaturdifferenzen in den Verbindungen der Leitung auftreten und dadurch in die Beobachtung störend eingreifen würden, eliminiert werden. Man hätte nämlich in Folge dessen nicht

$$\frac{e}{E} = \frac{w}{W}$$

sondern

$$\frac{e + \varepsilon}{E + \varepsilon'} = \frac{w}{W}$$

wo ε und ε' die Resultirenden verschiedener störender thermoelektrischer Kräfte bedeuten. Nun kann man zwar ε' , d. h. diejenige thermoelektrische Kraft, die in dem Stromkreise $EAMB$ ihren Sitz hat, gegen die elektromotorische Kraft E des *Daniell* stets vernachlässigen; dies gilt jedoch keineswegs von ε d. h. derjenigen thermoelektrischen Kraft, die in

dem Stromzweige ASB ihren Sitz hat, indem dieselbe wie die Erfahrung zeigte, oft eine Grösse erreicht, die einen beträchtlichen Bruchtheil von e beträgt, ja mit dieser, falls diese klein ist, direct vergleichbar ist.

Man hat also stets

$$\frac{e + \varepsilon}{E} = \frac{w}{W}$$

Um sich nun von dieser störenden Kraft unabhängig zu machen, dazu sollen die Commutatoren I und III dienen. Kehrt man nämlich die Stromrichtung in e und E gleichzeitig um, so ist dann gegen früher

$$\frac{-e + \varepsilon}{-E} = \frac{w'}{W'}$$

Würde sich also während der Beobachtung vor und nach dem Commutiren die elektromotorische Kraft e und ε nicht ändern, so hätte man

$$\text{vor dem Commutiren } \frac{e + \varepsilon}{E} = \frac{w}{W}$$

$$\text{nach dem Commutiren } \frac{e - \varepsilon}{E} = \frac{w'}{W'}$$

$$\text{somit streng richtig } \frac{e}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{w}{W} + \frac{w'}{W'} \right)$$

Nun ändert sich allerdings e in der Regel, jedoch so wenig und dann also mit der Temperatur des warmen Ballons so nahe linear, dass man das Mittel der thermoelektrischen Kraft e dem Mittel der Temperatur T des warmen Ballons entsprechen lassen darf. Wenn man dann die Bestimmung nach dem Commutiren rasch ausführt, was immer möglich ist, da die Einstellung vor dem Commutiren als genäherte bereits gegeben ist, so darf man auch annehmen, dass die störende elektromotorische Kraft ε sich gleich geblieben ist¹⁾, so dass man dieselbe durch Mittelnnehmen stets wenigstens sehr nahe eliminiert.

Endlich ist des *Weber'schen* Commutators IV zu erwähnen, der in bestimmter Weise als Stroßschlüssel verwendet wird. Die Quecksilberläpfe sind so gefüllt, dass beim Schliessen des Com-

¹⁾ Durch nochmaliges Commutiren überzeugten wir uns sehr oft, dass diese Annahme vollkommen zulässig ist, indem die Einstellung 3 mit der Einstellung 1 vollkommen befriedigend übereinstimmte.

mutators zuerst der Zweigstrom des *Daniell'schen Elementes* und dann der Thermostrom geschlossen wird. Bei richtiger Wahl von w und W muss die Nadel des Spiegelgalvanoskopes S in Ruhe bleiben. Als solches wurde ein sehr empfindliches *Sauerwald'sches Instrument* mit astatischem Nadelpaar verwendet.

Hat dann der eine von uns die Einstellung mit w und W gemacht, so wurde gleichzeitig von dem anderen Beobachter der Stand der Thermometer in den beiden Ballons abgelesen.

4. Berechnung. Bezeichnen T und t die Temperaturen der beiden Pole des Thermoelementes, e die beobachtete elektromotorische Kraft desselben, so ist allgemein¹⁾

$$e = a(T-t) + b(T^2-t^2) \quad \dots \dots \dots \quad 1)$$

oder

$$e = a(T-t) + b(T-t)(T+t).$$

Setzt man

$$T-t = x \quad \text{und} \quad e = y$$

$$T+t = u$$

so hat man

$$y = ax + bu \quad \dots \dots \dots \quad 2)$$

Da die Anzahl der Beobachtungen stets grösser war als zwei, so wurden die beiden Constanten a und b aus den vorliegenden Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet und zwar mit Zugrundelegung der letzten Gleichung in der Form

$$\frac{y}{x} = a + bu \quad \dots \dots \dots \quad 3)$$

Für die Wahl dieser Form sprach nicht nur der Umstand, dass die Berechnung sich dadurch weit einfacher gestaltet, als vielmehr auch die Ueberlegung, dass durch die Form 2) den bei grösseren Temperaturdifferenzen x angestellten Bestimmungen ein überwiegender Einfluss auf das Resultat eingeräumt wird, was nicht berechtigt erscheint; denn wenn auch die Bestimmung der thermoelektrischen Kraft y im Allgemeinen, je grösser sie ist verhältnissmässig sicherer wird, so wird dieser Vortheil aufgehoben durch Unsicherheiten der Temperaturbestimmung, die um so mehr sich geltend machen, je mehr die Temperatur von der Zimmertemperatur abweicht.

¹⁾ *M. Avenarius*, Pogg. Annalen 1873, CXLIX pag. 374.

Nach den durch die Methode der kleinsten Quadrate gelieferten Formeln wurden zunächst aus sehr zahlreichen Bestimmungen die Constanten a_0 b_0 des Elementes Kupfer-Silber berechnet.

Die Umrechnung der Beobachtung Stahl-Kupfer (e') auf Stahl-Silber (e) wurde durch Tabellen erleichtert.

Man hat zunächst

$$e = e' - e_0$$

wo e' von den Argumenten T und t abhängt. Nun lässt sich e_0 in der Form

$$e_0 = (a_0 T + b_0 T^2) - (a_0 t + b_0 t^2)$$

auf dieselben zwei Argumente T und t zurückführen, welche beide in die Gleichung in derselben Functionsform auftreten.

Man rechnet also ein für allemal eine Tabelle für die Function

$$a_0 z + b_0 z^2$$

und kann dann aus dieser für jede Combination von T und t e_0 und dadurch e berechnen. Wurden dann alle Beobachtungen Stahl-Kupfer auf Stahl-Silber umgerechnet, so rechnete man dann nach den obigen Formeln die Constanten a b des Elementes Stahl-Silber.

IV. Bestimmung des galvanischen Leitungswiderstandes.

1. Methode und Berechnung. Zu Widerstandsmessungen bedienten wir uns der *Wheatstone-Kirchhoff'schen Brückenmethode*.

Die verglichenen Widerstände w und δ konnten durch einen Quecksilbercommutator mit einander vertauscht werden. Die Zuleitung vom Commutator zu den Endpunkten der Brücke wurde durch starke Kupferplatten besorgt, deren Widerstand α und β so klein war, dass das Eintreten derselben in die Formel auch bei der Kleinheit der verglichenen Widerstände nur eine kleine Correction zur Folge hatte. Als Stromquelle wurde mit grossem Vortheil ein *Weber'scher Magnet-Inductor* verwendet. Als Galvanoskop diente das bereits angeführte *Sauerwald'sche Instrument*.

Für die Rechnung hatte man nun:

$$\text{Commutator Stellung I} \quad \frac{w + \alpha}{\delta + \beta} = \frac{a_1}{b_1} = n_1$$

$$\text{Commutator Stellung II } \frac{w + \beta}{\delta + \alpha} = \frac{b_2}{a_2} = n_2$$

woraus:

$$w = n_1 \delta + n_1 \beta - \alpha$$

$$w = n_2 \delta + n_2 \alpha - \beta$$

Im Mittel, $\frac{1}{2}(n_1 + n_2) = n$ gesetzt, hatte man also:

$$w = n \delta + (n-1) \frac{\alpha + \beta}{2} - \frac{n_1 - n_2}{2} \frac{\alpha - \beta}{2}$$

In unserem Falle war (bei $t = 10^{\circ}$)

$$\frac{\alpha + \beta}{2} = 0,00194$$

$$\frac{\alpha - \beta}{2} = -0,00016$$

Da überdies n_1 und n_2 nur sehr wenig von einander verschieden waren, so konnte man stets mit vollständig hinreichender Genauigkeit nach der Formel

$$w = n \delta + (n-1) \frac{\alpha + \beta}{2} \dots \dots \dots \quad 1)$$

rechnen. Auf diese Weise gestaltete sich die Berechnung zu einer sehr einfachen, da nach Umrechnung unserer Ablesungen auf Decimalbrücke n direct aus den *Obach'schen*¹⁾ Tafeln entnommen und auch für das Correctionsglied eine Tafel gerechnet wurde.

Aus dem so gefundenen Widerstande w , der Länge und dem durch das Mikroskop bestimmten Durchmesser 2ρ des Drahtes in Millimetern wurde dann sein specifischer Leitungswiderstand s für die Beobachtungstemperatur t berechnet.

Mit grossem Vortheil bedienten wir uns in vielen Fällen der *Hockin-Matthiessen'schen* Methode. Ist Fig. 6 *AMB* ein ausgespannter Neusilberdraht *ANB* eine Reihe von beliebigen Widerständen, sind ferner *M* und *N* zwei zusammengehörige Punkte gleichen Potentials, so entspricht jeder Verschiebung des Contactpunktes *N* von *N*₁ nach *N*₂ eine Verschiebung des Contactpunctes *M* von *M*₁ nach *M*₂. Bezeichnet nun Δw die Widerstandsänderung *N*₁ *N*₂ und Δl die Längendifferenz *M*₁ *M*₂, so ist

$$\Delta w = C \Delta l$$

wo C die Empfindlichkeitsconstante ist, die unter sonst gleichen Umständen von der Summe der Widerstände *ANB* abhängt und,

¹⁾ *E. Obach*, Hilfstafeln für Messungen elektrischer Leitungswiderstände vermittels der *Kirchhoff-Wheatstone'schen* Drahtcombination, 1879.

sobald unter diesen ein bekannter Widerstand sich befindet, mittels dessen leicht bestimmt werden kann.

Als Vergleichungswiderstände δ dienten sechs Stück Zehntel *S.E.* Angefertigt wurden dieselben aus Stücken Neusilberdraht, die in dicke amalgamirte Kupferansätze eingelöthet waren. Je nach den zu bestimmenden Widerständen w wurden diese Zehntel durch Quecksilbernäpfe entweder hinter- oder nebeneinander eingeschaltet, wodurch δ von 0,6 bis $\frac{1}{60}$ *S.E.* variren konnte. Auf diese Weise blieb man stets nahe in der Mitte des Drahtes *AMB* wodurch das Correctionsglied der Gleichung 1) das Resultat nur im geringen Grad beeinflusste.

2. *Uebergangswiderstand*. Bei der Kleinheit der zu bestimmenden Widerstände (0,5 bis 0,05 *S.E.*) mussten wir auf möglichste Einschränkung der Uebergangswiderstände besonders bedacht sein. Zur näheren Orientirung über die Frage, welche Art des Einschaltens der Drähte in diesem Sinne am günstigsten wäre, bestimmten wir bei einigen weichen Stahldrähten den specifischen Leitungswiderstand auf dreifache Art, einmal, indem wir die Drahtenden zwischen flache Klemmschrauben fest einklemmten das anderemal indem wir die Drahtenden mit einer dünnen Kupferschicht (durch Eintauchen in Kupfervitriollösung) überzogen und dann amalgamirten endlich das drittemal, indem wir die Drähte an dicke amalgamirte Kupferdrahtstücke anlötheten. Das Einklemmen der Drähte ergab wie zu erwarten war, den grössten Uebergangswiderstand. Das Amalgamiren erwies sich aus dem Grunde als nicht vollkommen zuverlässig, weil die Kupferschicht oft nicht fest genug haftete und sich dann ohne Mühe abschaben liess. Nur beim Löthen war der Uebergangswiderstand am kleinsten, wesswegen wir uns für dasselbe entschieden haben. Bei glasharten Drähten wurde durch rasches Ablöschen mit Wasser verhindert, dass ein etwaiges Anlassen der Endstücke durch das heisse Loth sich nicht über eine grösse Strecke gegen die Mitte des Drahtes hin ausbreite, wodurch der Widerstand zu klein ausfallen würde. Jedenfalls ist zu bemerken, dass, falls diese Fehlerquelle einen merklichen Einfluss in einzelnen Fällen gehabt hätte, dies stets in einem Sinne erfolgt wäre, wodurch unser Resultat — das bedeutende Anwachsen des specifischen Leitungswiderstandes des Stahls im glasharten Zustande — nur noch mehr hervorgehoben werden würde.

Im späteren Verlauf der Arbeit vermieden wir alle diese Schwierigkeiten und Bedenken durch Anwendung der oben beschriebenen *Hockin-Matthiessen'schen* Methode. Der Draht wurde leitend in den Zweig *ANB* eingeschaltet, und ein Contact *N* auf einzelne Stellen des Drahtes, deren Abstand dann gemessen wurde, aufgelegt.

3. *Prüfung der Drähte auf ihre Homogenität.* Nachdem die *Hockin-Matthiessen'sche* Methode in vorzüglicher Weise sich bewährt und den Widerstand des Drahtes sehr genau zu messen gestattet hatte, benutzten wir dieselbe Methode um den Draht auf seine Homogenität bezüglich seines Härtezustandes zu prüfen. Zu dem Zwecke wurden zwei Contacte *N₁* und *N₂* von unveränderlichem Abstande hergestellt, auf verschiedene Theile des Drahtes aufgelegt und der Widerstand des zwischen den Contacten enthaltenen Drahtstückes gemessen. Aus der grösseren oder geringeren Uebereinstimmung der Resultate ergab sich dann ein Schluss auf den mehr oder weniger gleichmässigen Härtezustand des Drahtes.

4. *Ueber Calibrirung des Messdrahtes *AMB** siehe *Wiedemann Annalen* 1880, X pag. 326.

V. Allgemeine Resultate der Härtung.

Die sämmtlichen in der früher beschriebenen Weise gehärteten Stahldrähte erwiesen sich bei der Untersuchung auf ihre thermoelektrische Stellung als *gegen Silber elektronegativ*.

Bei der gleichen Art und Weise der Härtung der angeblich gleicher Stahlsorte angehörigen Drähte wäre zu erwarten gewesen, dass der erzielte Härtegrad nahe gleich wäre und dass somit die thermoelektrischen Curven sehr nahe einen gleichen Verlauf zeigen würden. Diese Erwartung bestätigte sich zwar nicht, dafür aber stellte sich beim Auftragen sämmtlicher thermoelektrischer Curven heraus, dass stets mehrere als zusammengehörig durch einen nahezu gleichen Verlauf hervortraten, so dass dadurch die sämmtlichen Curven sich nach einzelnen Zonen anordneten. Auf den Härtezustand übertragen, würde es heissen: Der erzielte höchste Härtegrad der Stahldrähte war bei der Gesamtheit zwar ein verschiedener, dagegen nahezu ein gleicher bei einzelnen

Gruppen derselben. Da ein Zusammenhang dieser Gruppierung nach dem Durchmesser der Drähte oder nach der zeitlichen Aufeinanderfolge und damit eventuell zusammenhängender Veränderlichkeit der zum Glühen der Drähte angewandten Stromstärke nicht zu ermitteln war, so glauben wir den Grund darin suchen zu müssen, dass die zu verschiedenen Zeiten aus der angeführten Quelle bezogenen Drähte nicht alle von genau derselben Stahlsorte waren.

Ohne Zweifel hat auf den durch Ablöschen überhaupt erreichbaren höchsten Härtegrad der Kohlenstoffgehalt des Stahls einen entscheidenden Einfluss; daneben wohl auch, wenn auch in untergeordneter Weise, die Anwesenheit anderer Stoffe im Stahl. Es ist dann der grösste Härtegrad, der bei einer bestimmten Stahlsorte durch Ablöschen zu erzielen ist, für diese selbst *charakteristisch*.

Die grössten Härtegrade erreichten wir bei zwei Sorten von der Dicke 0,56 und 0,73. Die thermoelektrische Constante *a* erreichte den kleinsten Werth = — 2,76 und der specifische Leitungs-widerstand (bei gewöhnlicher Zimmertemperatur) den grössten Werth 0,48. Leider konnten wir von diesen Drähten sehr viele nicht später verwenden, weil wir bei der Untersuchung der thermoelektrischen Stellung nahezu siedendheisses Wasser angewandt haben, wodurch, wie sich aus späteren Untersuchungen ergab, die Drähte *einseitig* ganz beträchtlich angelassen wurden. Bei späteren Untersuchungen wurde bei glasharten Stahldrähten nur Wasser von höchstens 40° angewandt und das nur möglichst kurze Zeit.

Die Erfahrungen, welche *Jarolimek* und *R. Akermann*¹⁾ bei ihren Untersuchungen gemacht haben, führten schon zu dem bemerkenswerthen Resultat, dass beim Ablöschen des glühenden Stahls die Heftigkeit der ersten Abkühlung von etwa 600° bis 700° auf 300° bis 400° für die Härtung weit entscheidender ist als die weitere Abkühlung. Man kann z. B. einen stark glühenden Stahldraht in einem Metallbad von z. B. 400° (Zn, Pb) ablöschen und erzielt beträchtliche Härte, während bei weiterer

¹⁾ Zeitschrift für das chemische Grossgewerbe, 1880.

Abkühlung keine Härtung eintritt. Diese Erfahrungen fanden wir mit den unserigen in vollkommener Uebereinstimmung und können diese als dahin ergänzt hinstellen, dass die Glashärte bei einer bestimmten, der Glühfarbe dunkelroth entsprechenden Temperatur *plötzlich* eintritt.

In auffallender Weise zeigte sich dies sowohl bei Drähten von demselben als bei solchen von wenig verschiedenem Durchmesser. In ersterer Beziehung fanden wir bei einer dickeren Stahldrahtsorte, wo bei der angewandten Stromstärke die Drähte nur zum Dunkelrothglühen gebracht werden konnten, nach dem Ablöschen bei einigen Exemplaren, dass dieselben bis über ein Drittel weich und biegsam geblieben, von einer bestimmten Stelle an dagegen weiter gegen die Mitte plötzlich hart und spröde waren, trotzdem dass früher in der Glühfarbe des ganzen Drahtes kein besonders merklicher Unterschied sich gezeigt hat. Aehnlich in letzterer Beziehung konnten wir bei der angewandten Zahl von *Bunsen'schen* Bechern bei Drähten einer dickeren Sorte noch durch Glühen und Ablöschen glasharten Zustand erzielen, dagegen bei der nächsten in der Dicke nur wenig verschiedenen Sorte (von 1,25 auf 1,45 mm) blieben alle Drähte nach dem Ablöschen weich, und es zeigte sich, was besonders hervorgehoben werden mag, dieser Sprung im mechanischen Verhalten ebenso im thermoelektrischen Verhalten bestätigt, so dass die Discontinuität stets beiderseitig ist. Man kann somit alle diese Erscheinungen dahin praeccisiren, dass der Stahl beim Glühen eine gewisse *kritische Temperatur* übersteigen muss, falls nach Ablöschen Glashärte eintreten soll; im entgegengesetzten Falle bleibt der Stahl weich.

Es mag nebenbei auch bemerkt werden, dass bei den thermoelektrischen Untersuchungen der Stahldrähte gegen Silber oder Kupfer sich oft Gelegenheit zeigte, den „neutralen Punct“ d. h.

diejenige mittlere Temperatur $\frac{1}{2}(T+t) = \frac{1}{2} \frac{a}{b}$ der beiden Pole des

Thermoelementes, bei welcher die elektromotorische Kraft den Werth Null durchschreitet und das Zeichen wechselt, schon bei relativ niedrigen Temperaturen zu beobachten. Sehr viele glasharte Drähte erwiesen sich nämlich dem Silber oder Kupfer gegenüber als thermoelektrisch sehr nahe liegend. Noch öfters bot sich Gelegenheit, das Maximum der elektromotorischen Kraft

ebenfalls bei relativ niedrigen Temperaturen zu beobachten. Einige Beispiele dieser Art finden sich bei späteren Zusammenstellungen vor.

VI. Anlassen in Leinölbad.

Nachdem in der früher beschriebenen Weise glasharte Stahldrähte hergestellt worden waren, versuchten wir zunächst durch Anlassen derselben Härtegrade zu erzielen, die in allmählicher Aufeinanderfolge Zwischenstufen zwischen dem glasharten und dem weichen Zustande abgeben würden. Zu dem Zwecke wurde Leinöl in einer Blechwanne langsam erhitzt; Ungleichmässigkeiten der Temperaturvertheilung suchten wir durch fleissiges Rühren zu begegnen. Hatte dann das Bad eine bestimmte Temperatur erreicht, so wurde das Heizen eingestellt, die Drähte in das Bad auf eine Drahtnetzunterlage eingelegt und darin bis zum allmählichen Erkalten des Bades gelassen. Nach Verlauf einiger Tage wurden dann die Drähte sowohl auf ihre thermoelektrische Stellung, als auch auf ihren galvanischen Leitungswiderstand untersucht.

Die Resultate dieser Versuche sind in den folgenden Zusammenstellungen enthalten.

Anlass-temperatur	Nummer des Drahtes	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³ be- obachtet</i>	<i>e. 10³ be- rechnet</i>	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>	<i>s</i>	<i>t</i>
I. 300°	Nr. 1	19,3	88,1	4,682	4,694	8,27	— 1,35	0,201	19
$2\rho = 0,968$		19,3	74,0	3,842	3,835				
		19,3	63,3	3,161	3,149				
		19,3	50,1	2,252	2,259				
$2\rho = 0,900$	Nr. 2	19,5	89,5	4,896	4,899	8,51	— 1,38	0,196	19
		19,5	76,2	4,079	4,073				
		19,5	62,0	3,138	3,136				
		19,5	54,3	2,604	2,605				
$2\rho = 0,721$	Nr. 3	19,6	89,8	4,294	4,292	7,41	— 1,18	0,228	19
		19,7	73,3	3,385	3,382				
		19,6	59,1	2,550	2,559				
		19,7	50,1	2,006	2,001				

Anlass-temperatur	Nummer des Drahtes	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 beobachtet	<i>e.</i> 10^3 berechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7	<i>s</i>	<i>t</i>
I. 300°	Nr. 4 $2\rho = 0,568$	18,9	87,9	4,766	4,773	8,25	-1,25	0,212	19
		18,9	70,3	3,675	3,669				
		18,9	57,4	2,816	2,810				
		18,9	48,3	2,174	2,179				
	Nr. 5 $2\rho = 0,345$	19,7	86,7	5,073	5,076	9,03	-1,37	0,187	19
		19,7	72,1	4,077	4,073				
		19,7	59,4	3,152	3,155				
		19,7	50,6	2,494	2,493				
	Nr. 6 $2\rho = 0,903$	20,0	89,2	4,226	4,224	7,67	-1,43	0,220	20
		20,0	78,2	3,644	3,643				
		20,0	64,9	2,895	2,897				
		20,0	50,9	2,057	2,056				
	Nr. 7 $2\rho = 0,558$	20,0	90,1	3,766	3,775	6,52	-1,03	0,241	19
		20,0	71,9	2,901	2,892				
		20,0	59,7	2,269	2,262				
		20,0	48,3	1,642	1,646				
III. 250°	Nr. 8 $2\rho = 0,880$	19,9	88,0	3,635	3,633	6,85	-1,40	0,246	19
		19,9	74,8	3,034	3,031				
		19,9	61,6	2,371	2,378				
		19,9	51,9	1,873	1,869				
	Nr. 9. $2\rho = 0,720$	20,0	80,5	3,670	3,665	7,38	-1,31	0,217	19
		20,0	65,8	2,859	2,863				
		20,0	55,3	2,251	2,255				
		20,0	49,9	1,936	1,931				
	Nr. 10 $2\rho = 0,720$	20,0	79,9	2,290	2,288	4,95	-1,13	0,272	19
		20,0	68,4	1,911	1,912				
		20,0	57,3	1,415	1,420				
		20,0	49,0	1,212	1,209				
	Nr. 11 $2\rho = 0,565$	20,1	87,1	2,822	2,832	5,46	-1,15	0,263	19
		20,1	65,9	2,065	2,047				
		20,1	53,9	1,552	1,557				
		20,1	41,8	1,029	1,030				
	Nr. 12 $2\rho = 0,548$	20,1	89,4	3,648	3,640	6,78	-1,39	0,243	19
		20,1	67,9	2,643	2,653				
		20,1	55,3	2,014	2,016				
		20,1	44,8	1,454	1,451				

Anlass-temperatur	Nummer des Drahtes	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 beobachtet	<i>e.</i> 10^3 berechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7	<i>s</i>	<i>t</i>
III. 250°	Nr. 13 $2\rho = 0,337$	20,1	87,4	3,996	3,995	7,30	-1,27	0,219	19
		20,1	74,0	3,291	3,293				
		20,1	62,4	2,647	2,645				
		20,1	52,0	2,037	2,038				
IV. 225°	Nr. 14 $2\rho = 0,900$	19,9	89,2	2,182	2,191	4,30	-1,04	0,290	20
		19,9	75,6	1,856	1,841				
		19,9	64,4	1,520	1,523				
		19,9	54,9	1,230	1,232				
V. 200°	Nr. 15 $2\rho = 0,558$	20,1	89,5	2,108	2,108	4,08	-0,95	0,298	19
		20,1	68,8	1,571	1,576				
		20,1	59,1	1,304	1,298				
		20,1	50,1	1,021	1,023				
VI. 175°	Nr. 16 $2\rho = 0,974$	18,9	89,8	2,675	2,679	4,95	-1,08	0,283	19
		18,9	74,3	2,186	2,186				
		18,9	61,1	1,729	1,724				
		18,9	51,7	1,371	1,374				
VII. 150°	Nr. 17 $2\rho = 0,882$	18,9	82,5	2,179	2,179	4,52	-1,08	0,296	19
		19,0	68,8	1,782	1,779				
		18,9	59,8	1,499	1,502				
		19,0	51,9	1,236	1,235				
VIII. 125°	Nr. 18 $2\rho = 0,723$	19,1	78,8	1,393	1,391	2,96	-0,64	0,332	19
		19,1	68,2	1,175	1,178				
		19,1	57,8	0,953	0,954				
		19,1	48,7	0,748	0,747				
IX. 100°	Nr. 19 $2\rho = 0,560$	18,1	82,0	1,970	1,973	4,06	-0,97	0,304	19
		18,1	62,8	1,470	1,464				
		18,1	47,8	1,011	1,015				
		18,2	39,8	0,756	0,755				
X. 75°	Nr. 20 $2\rho = 0,336$	18,3	76,8	2,886	2,877	5,78	-0,91	0,258	19
		18,3	62,3	2,213	2,223				
		18,3	52,9	1,780	1,777				
		18,3	42,1	1,247	1,246				
XI. 50°	Nr. 21 $2\rho = 0,908$	18,8	86,4	1,931	1,917	3,98	-1,09	0,311	19
		18,8	67,1	1,448	1,471				
		18,8	53,8	1,124	1,117				
		18,8	43,3	0,811	0,809				

Anlass-temperatur	Nummer des Drahtes	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 beobachtet	<i>e.</i> 10^3 berechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7	<i>s</i>	<i>t</i>
VI. 175°	Nr. 22 $2\rho = 0,571$	18,8	87,2	1,838	1,833	3,61	— 0,88	0,328	19
		18,9	72,4	1,499	1,502				
		18,8	59,7	1,189	1,194				
		18,9	48,8	0,905	0,901				
VII. 150°	Nr. 23 $2\rho = 0,335$	18,5	73,7	1,852	1,849	4,49	— 1,24	0,296	19
		18,5	60,4	1,470	1,473				
		18,5	52,1	1,215	1,216				
		18,5	45,4	0,997	0,995				

Stellt man die erzielten Härtegrade, so wie sich dieselben in der thermoelektrischen Constante *a.* 10^5 und dem specifischen Leitungswiderstände *s* äussern, nach der ersteren Constante angeordnet zusammen, so erhält man die folgende übersichtliche Darstellung, aus welcher zugleich ersichtlich ist, in wie fern der Zweck, verschiedene Härtegrade herzustellen, bei den angewandten Drähten erreicht wurde.

Nummer d. Drahtes.	<i>a.</i> 10^5 .	<i>s.</i>	Anlasstemperatur.
5	9,03	0,187	300
2	8,51	0,196	300
1	8,27	0,201	300
4	8,25	0,212	300
6	7,67	0,220	275
3	7,41	0,228	300
9	7,38	0,217	250
13	7,30	0,219	250
8	6,85	0,246	250
12	6,78	0,243	250
7	6,52	0,241	275
20	5,78	0,258	200
11	5,46	0,263	250
16	4,95	0,283	200
10	4,95	0,272	250
17	4,52	0,296	200
23	4,49	0,296	150
14	4,30	0,290	225
15	4,08	0,298	225
19	4,06	0,304	200
21	3,98	0,311	175
22	3,61	0,328	175
18	2,96	0,332	200

VII. Bedeutung der Einwirkungsdauer der Anlass-Temperatur.

Bei vorhergehenden Versuchen war die Anlasstemperatur von 150° die niedrigste, welche wir noch angewandt haben. Die noch bedeutende Aenderung des Härtezustandes, die durch dieselbe erzielt wurde, veranlasste uns der Frage näher zu treten, welche Wirkung niedrigere Anlasstemperaturen auf den Härtezustand ausüben. Diese Frage erschien noch von anderem Gesichtspuncke aus als von Bedeutung. Bei Bestimmungen thermoelektrischer Stellung glasharter Stahldrähte muss das eine Polende des Elementes auf höhere Temperatur gebracht werden. Es war also von praktischer Wichtigkeit zu entscheiden, wie hoch man diese Temperatur noch wählen darf, ohne eine einseitige Aenderung des Härtezustandes des Drahtes befürchten zu müssen.

Die ersten orientirenden Versuche wurden an zwei Drähten Nr. 24 und 25, von nahezu gleichem Durchmesser, nämlich 0,574 und 0,554 mm, aber von verschiedenem glasharten Zustande angestellt, und zwar bloss in Bezug auf ihre thermoelektrische Stellung. Die Bestimmung ihres glasharten Zustandes führte zu folgenden Resultaten:

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 beobachtet	<i>e.</i> 10^3 berechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7
Nr. 24	12,5	88,1	— 2,977	— 2,960	— 3,00	— 0,91
	12,5	78,8	— 2,519	— 2,540		
	12,5	58,1	— 1,666	— 1,661		
	12,6	44,1	— 1,207	— 1,207		
Nr. 25	12,3	89,0	— 0,749	— 0,739	+ 0,14	— 1,09
	12,4	80,1	— 0,585	— 0,587		
	12,4	71,2	— 0,440	— 0,453		
	12,4	59,8	— 0,312	— 0,306		

Nun wurden die Drähte in einem zur Bestimmung des thermometrischen Siedepunctes dienenden Gefässe eine Stunde lang der Wirkung des Wasserdampfes von 100° ausgesetzt. Die am nächsten Tage vorgenommene Bestimmung der thermoelektrischen Stellung der Drähte ergab folgendes Resultat:

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24 ¹⁾	16,9	59,4	— 0,073	— 0,073	+ 0,65	— 1,08
	16,9	50,7	— 0,026	— 0,026		
	16,9	45,2	— 0,005	— 0,005		
	16,9	39,9	+ 0,009	+ 0,009		
Nr. 25	16,9	76,1	1,092	1,091	2,91	— 1,15
	16,9	65,2	0,947	0,943		
	16,9	54,7	0,795	0,790		
	16,9	46,0	0,635	0,636		

Die Vergleichung der thermoelektrischen Constante *a* zeigt, wie bedeutend die Aenderung des Härtezustandes ist, welche durch die einstündige Einwirkung des Wasserdampfes von 100° erzeugt wurde. Für die Praxis thermoelektrischer Bestimmungen bei glasharten Drähten ergibt sich daraus die Regel, dass die Anwendung von siedendem Wasser im warmen Ballon nicht gestattet ist, ja die Grösse der Aenderung lässt vermuten, dass auch bei Temperaturen, die von der Siedetemperatur des Wassers nicht weit genug entfernt sind, ein Anlassen des einen Drahtendes und dadurch der Verlust der Homogenität des Drahtes zu befürchten sei.

Der Versuch wurde nun wiederholt. Die Drähte wurden nochmals eine Stunde lang im Wasserdampf von 100° gehalten, und am nächsten Tage thermoelektrisch untersucht.

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24 ²⁾	17,4	73,8	0,150	0,160	1,34	— 1,16
	17,4	64,7	0,196	0,184		
	17,4	56,1	0,194	0,189		
	17,3	49,3	0,172	0,177		
Nr. 25	17,3	71,1	1,331	1,324	3,86	— 1,59
	17,3	61,6	1,158	1,157		
	17,4	53,4	0,971	0,987		
	17,4	46,7	0,842	0,834		

¹⁾ Neutraler Punct: $(T + t) = - \frac{a}{b} = 600,2$ daher $T = 430,3$.

²⁾ Maximum bei $T = - \frac{1}{2} \frac{a}{b} = 570,8$

beobachtet $y = 0,196$ berechnet $y = 0,189$.

Der Versuch zeigt also wiederum eine, wenn auch jetzt bedeutend kleinere, so doch nicht unbeträchtliche Aenderung des Härtezustandes. Es ergibt sich aber daraus die wichtige Folgerung, dass beim Anlassen des Stahls neben der Anlasstemperatur noch ein anderer Factor mitwirkt, nämlich die *Dauer ihrer Einwirkung*.

Um den Einfluss dieses neuen Factors zu verfolgen wurden die Drähte in derselben Weise noch weiter behandelt. Die Resultate dieser Versuche zeigt folgende Zusammenstellung:

Drähte 3 Stunden im Wasserdampf.

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24	17,5	74,1	0,349	0,347	1,70	— 1,18
	17,5	62,0	0,335	0,337		
	17,5	54,2	0,312	0,312		
	17,5	48,6	0,286	0,285		
Nr. 25	17,5	74,3	1,589	1,587	3,76	— 1,06
	17,5	62,7	1,316	1,319		
	17,5	53,8	1,094	1,094		
	17,5	49,2	0,971	0,971		

Drähte 4 Stunden im Wasserdampf.

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24	17,7	86,4	0,513	0,516	1,86	— 1,07
	17,7	77,5	0,509	0,505		
	17,7	66,4	0,470	0,471		
	17,7	54,7	0,402	0,402		
Nr. 25	17,7	87,4	1,999	2,000	4,00	— 1,08
	17,7	76,1	1,759	1,747		
	17,7	67,7	1,534	1,540		
	17,7	56,5	1,247	1,252		

Drähte 5 Stunden im Wasserdampf.

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24	17,0	71,6	0,594	0,596	1,80	— 0,80
	17,0	58,4	0,505	0,496		
	17,0	44,5	0,346	0,360		
	17,0	34,5	0,247	0,242		
Nr. 25	17,1	75,0	1,761	1,765	4,13	— 1,18
	17,1	62,1	1,445	1,439		
	17,1	53,6	1,204	1,206		
	17,1	47,0	1,009	1,011		

Drähte 6 Stunden im Wasserdampf.

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> beobachtet	<i>e. 10³</i> berechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>
Nr. 24	17,5	82,6	0,675	0,679	2,03	— 0,99
	17,5	57,1	0,512	0,512		
	17,5	40,7	0,338	0,348		
	17,5	33,9	0,244	0,250		
Nr. 25	17,4	72,0	1,726	1,730	4,26	— 1,22
	17,4	48,7	1,079	1,080		
	17,4	36,3	0,687	0,681		
	17,4	27,5	0,372	0,376		

Den Verlauf der Constante *a* mit der Einwirkungsdauer der Temperatur 100° zeigt übersichtlicher folgende Zusammenstellung:

	0 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h
<i>a</i> = —	3,00	+ 0,65	1,34	1,70	1,86	1,80	2,03
	+ 0,14	+ 2,91	3,86	3,76	4,00	4,13	4,26

Aus dieser Zusammenstellung oder noch besser aus einer graphischen Darstellung des Verlaufes, bei welcher man Einwirkungsdauer der Anlasstemperatur als Abscisse und den durch die Constante *a* bestimmten Härtezustand des Drahtes als Ordinate aufträgt, zeigt sich im grossen Ganzen, dass der Härtezustand sich continuirlich und zwar zu Beginn schnell, je weiter desto langsamer ändert, so dass er sich mit zunehmender Einwirkungsdauer einem bestimmten Grenzwerth nähert.

Aus diesem Verlaufe springen heraus nur die Werthe 1,80 bei dem ersten und 3,86 bei dem zweiten Draht. Offenbar ist durch die vier wahrscheinlich mit grösseren Beobachtungsfehlern behafteten Beobachtungen die Constante *a* durch Rechnung nicht richtig ausgefallen, was sich dadurch verräth, dass gerade bei diesen beiden Beobachtungsreihen auch die Constante *b* von dem Mittelwerthe stark abweicht. Dieselbe variiert sehr wenig, (im Mittel ist sie nahe = — 1,1) bei den fraglichen Werthen dagegen 0,80 (entsprechend dem zu *kleinen* Werth 1,80 von *a*) und 1,59 (entsprechend dem zu *grossen* Werth 3,86 von *a*). Sie compensirt dadurch, dass sie in die Function negativ und mit *T* + *t* multiplizirt eintritt, den Fehler in *a*, sodass die berechneten Werthe von *e* mit den beobachteten noch befriedigend stimmen.

Nach diesen orientirenden Versuchen unternahmen wir es, den Einfluss der Einwirkungsdauer verschiedener Anlasstemperaturen zu verfolgen. Wir wählten dazu ausser der Siedetemperatur des Wassers die bei 66°,0 liegende Siedetemperatur des Methylalkohols und die bei 185° liegende Siedetemperatur des Anilins; um noch höher liegende Anlasstemperaturen zu haben, wählten wir die Schmelztemperatur des Bleis.

Jedesmal wurden drei Drähte von verschiedenem Durchmesser und verschiedenem glasharten Zustande gewählt und dabei gleichzeitig die Aenderungen in der thermoelektrischen Stellung der Drähte und in deren Leitungswiderstand untersucht. Die Resultate dieser Versuche sind in den folgenden Abschnitten enthalten.

VIII. Anlassen im Methylalkoholdampf.

Die zur Untersuchung gewählten Drähte waren

Nr. 28 Durchmesser = 0,827 mm	
” 29 ”	0,631 ”
” 30 ”	0,479 ”

Nachdem deren thermoelektrische Stellung und der specifische Leitungswiderstand im glasharten Zustande bestimmt worden war, wurden die Drähte dreimal je eine Stunde lang im Methylalkoholdampf gehalten und nach jeder einzelnen Stunde untersucht. Die Resultate enthält folgende Zusammenstellung:

Draht Nr. 28.

2 ρ = 0,827

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10 ³ be- obachtet	<i>e.</i> 10 ³ be- rechnet	<i>a.</i> 10 ⁵	<i>b.</i> 10 ⁷	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	18,7	54,8	-1,063	-1,059	-2,71	-0,68	0,452	18
	18,7	48,9	-0,961	-0,958				
	18,7	43,4	-0,764	-0,774				
	18,7	35,6	-0,525	-0,522				
eine Stunde im Methylalkoholdampf <i>t</i> = 66,0	18,1	58,2	-1,095	-1,088	-2,06	-1,18	0,451	18
	18,1	52,4	-0,988	-0,993				
	18,1	47,9	-0,839	-0,846				
	18,1	42,0	-0,667	-0,663				
eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	18,3	58,5	-1,026	-1,022	-1,92	-1,13	0,450	19
	18,4	49,4	-0,832	-0,834				
	18,3	42,9	-0,637	-0,644				
	18,4	38,7	-0,527	-0,522				
eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	20,0	60,6	-1,013	-1,004	-1,68	-1,29	0,451	19
	20,0	51,5	-0,813	-0,820				
	20,0	46,4	-0,662	-0,670				
	20,0	39,4	-0,480	-0,475				

Draht Nr. 29.

2 ρ = 0,631

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10 ³ be- obachtet	<i>e.</i> 10 ³ be- rechnet	<i>a.</i> 10 ⁵	<i>b.</i> 10 ⁷	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	18,7	50,4	-0,738	-0,739	-2,01	-0,47	0,446	17
	18,8	44,5	-0,598	-0,593				
	18,7	38,8	-0,455	-0,458				
	18,8	34,8	-0,363	-0,362				
eine Stunde im Methylalkoholdampf <i>t</i> = 66,0	18,2	57,7	-0,746	-0,744	-1,33	-0,80	0,442	18
	18,2	51,7	-0,614	-0,616				
	18,2	45,8	-0,495	-0,495				
	18,2	40,4	-0,390	-0,390				
eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	18,5	57,2	-0,674	-0,677	-0,96	-1,04	0,439	19
	18,5	49,4	-0,516	-0,515				
	18,5	43,9	-0,408	-0,410				
	18,5	40,1	-0,343	-0,340				
eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	19,9	61,4	-0,631	-0,657	-0,74	-1,04	0,438	19
	19,9	53,2	-0,497	-0,499				
	19,9	45,3	-0,354	-0,360				
	19,9	41,1	-0,297	-0,292				

Draht Nr. 30.

2 ρ = 0,479

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10 ³ be- obachtet	<i>e.</i> 10 ³ be- rechnet	<i>a.</i> 10 ⁵	<i>b.</i> 10 ⁷	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	18,7	54,2	-0,355	-0,349	-0,44	-0,75	0,393	18
	18,7	45,3	-0,236	-0,243				
	18,7	40,2	-0,186	-0,189				
	18,7	34,4	-0,134	-0,132				
eine Stunde im Methylalkoholdampf <i>t</i> = 66,0	17,8	56,9	-0,221	-0,221	-0,01	-0,74	0,390	18
	20,1	45,1	-0,124	-0,124				
	19,2	59,1	-0,111	-0,109	+0,32	-0,77	0,387	18
	19,2	54,5	-0,084	-0,084				
eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	19,2	49,0	-0,057	-0,058				
	19,2	42,6	-0,033	-0,034				
	19,2	38,4	-0,024	-0,022				
	19,8	54,6	-0,003	-0,002	+0,50	-0,69	0,386	19
1) eine weitere Stunde im Methylalkoholdampf	19,9	49,7	+0,009	+0,008				
	19,8	45,0	0,016	0,015				
	19,9	38,2	0,019	0,019				

IX. Anlassen im Wasserdampf.

Die zur Prüfung gewählten Drähte waren

Nr.	31	Durchmesser 0,839 mm
"	32	" 0,616 "
"	33	" 0,491 "

Da aus der früheren orientirenden Untersuchung sich ergeben hatte, dass die Änderung des Härtezustandes in der ersten Stunde, in welcher die Drähte Nr. 24 und 25 im Wasserdampf gewesen, eine sehr beträchtliche war, so zogen wir es, um auch Zwischenstadien zu erhalten, vor, die Einwirkung des Wasserdampfes zunächst bloss 10 Minuten, dann 20 und dann 30 Minuten währen zu lassen, und dann noch zweimal je eine Stunde. Die Resultate der Untersuchung sowohl im ursprünglichen glasharten Zustande als auch in den einzelnen Stadien des Anlassens enthält die folgende Zusammenstellung.

1) Neutraler Punct: $(T + t) = - \frac{a}{b} = 72,5$ daher $T = 52,7$.

Draht Nr. 31.

2 p = 0,839

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> be- obachtet	<i>e. 10³</i> be- rechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	22,5	55,2	-0,658	-0,661	-1,27	-0,97	0,429	21
	22,5	51,3	-0,574	-0,571				
	22,4	44,9	-0,434	-0,433				
	22,4	39,6	-0,321	-0,322				
10 m im Wasserdampf <i>t</i> = 100°	19,7	61,0	-0,355	-0,352	-0,08	-0,95	0,414	20
	19,7	55,4	-0,282	-0,285				
	19,7	48,7	-0,214	-0,214				
	19,7	42,9	-0,159	-0,159				
weitere 20 m im Wasserdampf	18,5	76,0	-0,187	-0,180	+0,58	-0,95	0,399	19
	18,5	65,7	-0,100	-0,101				
	18,5	49,4	-0,010	-0,019				
	18,5	37,5	+0,006	+0,010				
weitere 30 m im Wasserdampf	18,1	63,5	+0,129	+0,131	0,91	-0,76	0,385	19
	18,1	56,9	0,134	0,132				
	18,1	50,0	0,125	0,125				
	18,1	44,5	0,114	0,114				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	18,2	72,4	0,350	0,349	1,64	-1,10	0,375	18
	18,2	58,8	0,322	0,322				
	18,3	51,0	0,286	0,287				
	18,3	45,4	0,256	0,255				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	19,2	71,4	0,484	0,482	1,92	-1,09	0,368	18
	19,3	61,4	0,435	0,435				
	19,2	55,2	0,393	0,396				
	19,3	47,2	0,333	0,331				

Draht Nr. 32.

2 p = 0,616

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e. 10³</i> be- obachtet	<i>e. 10³</i> be- rechnet	<i>a. 10⁵</i>	<i>b. 10⁷</i>	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	20,7	50,7	-0,698	-0,698				
	20,7	46,0	-0,577	-0,576				
	20,7	41,9	-0,463	-0,474				
10 m im Wasserdampf <i>t</i> = 100°	19,2	56,7	-0,285	-0,282	-0,41	-0,45	0,419	20
	19,3	53,4	-0,249	-0,252				
	19,2	44,7	-0,178	-0,178				
	19,3	40,4	-0,145	-0,144				
weitere 20 m im Wasserdampf ¹⁾	18,5	70,1	0,080	0,080	0,85	-0,79	0,403	19
	18,5	63,6	0,095	0,093				
	18,6	56,0	0,100	0,100				
	18,6	44,8	0,093	0,093				
weitere 30 m im Wasserdampf	18,0	59,1	0,308	0,312	1,47	-0,91	0,385	19
	18,0	49,6	0,275	0,268				
	18,0	44,7	0,238	0,238				
	18,0	41,4	0,213	0,215				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	17,7	55,7	0,550	0,550	2,13	-0,94	0,373	18
	17,7	49,5	0,478	0,478				
	17,7	41,8	0,378	0,380				
	17,7	36,4	0,305	0,304				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	19,2	67,3	0,799	0,799	2,40	-0,85	0,364	18
	19,3	58,9	0,689	0,687				
	19,2	52,0	0,589	0,589				
	19,2	45,8	0,491	0,491				

1) Maximum bei $T = -\frac{1}{2} \frac{a}{b} = 53,1$.

Draht Nr. 33.

 $2\rho = 0,491$

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 be- obachtet	<i>e.</i> 10^3 be- rechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7	<i>s</i>	
Glashart	20,5	57,6	-0,402	-0,404	-0,078	-1,29	0,392	21
	20,6	52,3	-0,325	-0,324				
	20,6	45,9	-0,239	-0,237				
	20,6	41,2	-0,180	-0,181				
10 m im Wasserdampf <i>t</i> = 100	19,2	58,6	0,160	0,159	1,03	-0,81	0,371	20
	19,2	51,7	0,150	0,150				
	19,2	44,4	0,131	0,131				
	19,2	37,8	0,106	0,106				
weitere 20 m im Wasserdampf	18,4	53,2	0,383	0,386	1,59	-0,66	0,356	19
	18,4	44,7	0,311	0,307				
	18,4	37,5	0,234	0,231				
	18,4	32,5	0,173	0,176				
weitere 30 m im Wasserdampf	18,0	56,3	0,670	0,672	2,38	-0,84	0,342	19
	18,1	47,8	0,548	0,541				
	18,0	41,9	0,443	0,448				
	18,1	32,0	0,271	0,272				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	18,0	66,1	0,934	0,946	2,83	-1,03	0,331	18
	18,0	58,6	0,843	0,830				
	18,0	51,4	0,710	0,708				
	18,0	42,1	0,530	0,534				
weitere 1 Stunde im Wasserdampf	19,3	67,3	1,135	1,134	3,18	-0,95	0,325	18
	19,3	58,1	0,948	0,951				
	19,3	50,2	0,781	0,781				
	19,3	40,8	0,552	0,552				

X. Anlassen im Anilindampf.

Der Plan der Arbeit war beim Anlassen im Anilindampf derselbe wie im Wasserdampf. Untersucht wurden die Drähte Nr. 34 Durchmesser 0,835 mm

” 35 ” 0,627 ”
” 36 ” 0,481 ”

Die Resultate sind in folgender Zusammenstellung enthalten:

Draht Nr. 34.

 $2\rho = 0,835$

	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>e.</i> 10^3 be- obachtet	<i>e.</i> 10^3 be- rechnet	<i>a.</i> 10^5	<i>b.</i> 10^7	<i>s</i>	<i>t</i>
Glashart	22,1	59,2	-0,607	-0,603	-0,88	-0,92	0,417	21
	22,1	51,1	-0,447	-0,450				
	22,1	44,2	-0,330	-0,330				
	22,0	39,5	-0,253	-0,252				
10 m im Anilindampf <i>t</i> = 185°	19,5	71,0	1,499	1,508	3,80	-0,96	0,310	20
	19,5	62,8	1,309	1,302				
	19,5	52,8	1,039	1,033				
	19,5	43,6	0,765	0,769				
weitere 20 m im Anilindampf	18,7	77,5	2,855	2,862	4,35	-1,23	0,297	19
	18,7	59,8	1,400	1,391				
	18,7	49,7	1,086	1,088				
	18,7	42,9	0,866	0,869				
weitere 30 m im Anilindampf	18,2	71,0	1,820	1,824	4,59	-1,27	0,288	19
	18,2	65,1	1,662	1,656				
	18,2	56,9	1,404	1,406				
	18,2	45,9	1,045	1,045				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	18,2	76,9	2,177	2,175	4,89	-1,25	0,279	18
	18,2	68,2	1,903	1,907				
	18,2	61,1	1,673	1,675				
	18,2	52,5	1,376	1,375				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	19,3	88,5	2,600	2,601	5,13	-1,27	0,274	18
	19,3	74,3	2,165	2,167				
	19,3	65,9	1,889	1,886				
	19,3	58,4	1,617	1,619				

Draht Nr. 35.

2 p = 0,627

	t	T	e. 10 ³ be- obachtet	e. 10 ³ be- rechnet	a. 10 ⁵	b. 10 ⁷	s	t
Glashart	22,1	56,5	--0,898	-0,897	-2,09	-0,63	0,450	21
	22,2	50,4	-0,721	-0,725				
	22,1	44,4	-0,570	-0,566				
	22,1	39,1	-0,426	-0,426				
10 m im Anilindampf t = 185	19,8	65,0	1,623	1,624	4,47	-1,03	0,303	20
	19,9	57,0	1,369	1,364				
	19,9	49,2	1,094	1,101				
	19,9	42,6	0,870	0,868				
weitere 20 m im Anilindampf	18,5	75,6	2,202	2,205	5,04	-1,25	0,289	19
	18,5	66,6	1,914	1,910				
	18,6	56,2	1,540	1,542				
	18,6	45,7	1,147	1,143				
weitere 30 m im Anilindampf	18,1	72,7	2,320	2,320	5,49	-1,36	0,276	19
	18,1	63,2	1,973	1,975				
	18,1	56,0	1,700	1,698				
	18,1	48,0	1,371	1,371				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	18,3	69,4	2,359	2,356	5,74	-1,29	0,268	18
	18,3	62,6	2,079	2,081				
	18,3	55,4	1,783	1,787				
	18,3	45,3	1,331	1,329				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	19,2	73,5	2,599	2,597	5,98	-1,29	0,262	18
	19,3	66,2	2,284	2,287				
	10,2	57,6	1,914	1,915				
	19,3	48,7	1,500	1,499				

Draht Nr. 36.

2 p = 0,481

	t	T	e. 10 ³ be- obachtet	e. 10 ³ be- rechnet	a. 10 ⁵	b. 10 ⁷	s	t
Glashart	20,3	51,2	-0,296	-0,296				
	20,4	46,6	-0,235	-0,235				
	20,3	41,8	-0,181	-0,180				
	20,4	38,6	-0,145	-0,146				
10 m im Anilindampf t = 185	19,2	71,8	2,193	2,195	5,05			
	19,2	63,7	1,899	1,893				
	19,2	57,4	1,645	1,648				
	19,2	49,4	1,326	1,325				
weitere 20 m im Anilindampf	18,5	78,5	2,634	2,632	5,57			
	18,5	64,3	2,086	2,089				
	18,5	54,9	1,705	1,701				
	18,5	45,2	1,279	1,280				
weitere 30 m im Anilindampf	17,8	78,8	2,762	2,760	5,83			
	17,9	65,2	2,242	2,234				
	17,9	55,5	1,829	1,823				
	17,9	44,7	1,334	1,338				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	17,9	72,0	2,594	2,608	5,83			
	17,9	64,7	2,308	2,293				
	17,9	53,8	1,805	1,798				
	17,9	46,5	1,456	1,453				
weitere 1 Stunde im Anilindampf	19,2	68,3	2,466	2,464	6,08			
	19,3	58,0	1,993	1,989				
	19,2	52,6	1,730	1,739				
	19,3	44,7	1,349	1,345				

XI. Anlassen im Bleibad.

Da bei der Höhe der Anlasstemperatur zu erwarten war, dass die Wirkung derselben schon in den ersten Minuten der Einwirkung eine sehr beträchtliche werden würde, so wurden die Drähte zunächst nur 1 Minute, dann weitere 30 Minuten und eine Stunde im schmelzenden Blei gehalten. Es waren die Drähte:

Nr. 37 Durchmesser 0,820 mm

" 38 " 0,616 "

" 39 " 0,483 "

Die Resultate der Untersuchung enthält folgende Zusammenstellung:

Draht Nr. 37.

2 p = 0,820.

	t	T	e. 10 ³ be- obachtet	e. 10 ³ be- rechnet	a. 10 ⁵	b. 10 ⁷	s	t
Glashart	18,7	56,1	— 0,263	— 0,263	0,00	— 0,94	0,387	18
	18,8	52,7	— 0,228	— 0,228				
	18,8	51,8	— 0,218	— 0,218				
1 m im Bleibad t = 330°	17,8	77,5	4,131	4,131	8,20	— 1,34	0,201	18
	17,8	67,5	3,506	3,506				
	17,8	59,2	2,967	2,966				
	17,8	46,9	2,132	2,132				
weitere 30 m im Bleibad	18,5	86,7	4,760	4,760	8,24	— 1,20	0,199	19
	18,5	75,2	4,034	4,036				
	18,5	62,3	3,183	3,185				
	18,5	50,7	2,387	2,386				
weitere 1 Stunde im Bleibad	18,9	69,0	3,679	3,665	8,17	— 1,04	0,199	19
	18,9	57,2	2,827	2,846				
	18,9	47,6	2,167	2,160				
	18,9	39,4	1,560	1,558				

Draht Nr. 38.

2 p = 0,616.

	t	T	e. 10 ³ be- obachtet	e. 10 ³ be- rechnet	a. 10 ⁵	b. 10 ⁷	s	t
Glashart	18,8	50,2	— 0,611	— 0,607	— 1,26	— 0,98	0,428	18
	18,8	44,8	— 0,486	— 0,488				
	18,8	39,6	— 0,378	— 0,381				
	18,8	34,8	— 0,287	— 0,285				
1 m im Bleibad t = 330°	17,6	67,6	4,252	4,255	9,50	— 1,17	0,186	18
	17,7	61,3	3,743	3,742				
	17,7	53,1	3,072	3,072				
	17,6	42,7	2,208	2,209				
weitere 30 m im Bleibad	18,8	87,8	5,797	5,797	9,80	— 1,31	0,184	19
	18,9	73,4	4,677	4,681				
	18,9	63,7	3,915	3,905				
	18,9	50,3	2,789	2,791				
weitere 1 Stunde im Bleibad	19,1	84,4	5,516	5,513	9,95	— 1,46	0,183	19
	19,1	63,3	3,868	3,868				
	19,1	50,1	2,766	2,772				
	19,1	41,7	2,052	2,048				

Draht Nr. 39.

2 p = 0,483.

	t	T	e. 10 ³ be- obachtet	e. 10 ³ be- rechnet	a. 10 ⁵	b. 10 ⁷	s	t
Glashart	18,0	53,8	— 0,269	— 0,269	0,09	— 1,16	0,382	18
	18,1	50,7	— 0,233	— 0,234				
	18,1	48,1	— 0,207	— 0,206				
1 m im Bleibad t = 330°	17,5	56,6	2,805	2,804	8,07	— 1,21	0,194	18
	17,5	51,7	2,474	2,473				
	17,5	45,8	2,059	2,065				
	17,5	39,6	1,632	1,629				
weitere 30 m im Bleibad	19,1	85,6	4,634	4,634	8,22	— 1,20	0,192	19
	19,1	72,9	3,826	3,831				
	19,1	61,9	3,113	3,104				
	19,1	50,4	2,310	2,313				
weitere 1 Stunde im Bleibad	19,0	82,5	4,471	4,470	8,27	— 1,22	0,191	19
	19,0	66,7	3,450	3,449				
	19,0	57,8	2,848	2,848				
	19,0	49,5	2,270	2,270				

XII. Allgemeine Resultate des Anlassens.

Die bisher angeführten Versuchsreihen bieten hinreichendes Material dar, um der Frage über den Vorgang des Anlassens glasharter Stahldrähte näher zu treten. Zur leichteren Uebersicht sowohl als auch um zufällige Beobachtungsfehler zu eliminiren, wollen wir die zusammengehörigen drei Werthe der thermoelektrischen Constante a , wie sie sich für die drei jedesmal zur Untersuchung gewählten Drähte ergeben hatten, in einem Mittelwerth zusammenfassen.

Wir erhalten somit folgenden mittleren Verlauf des Anlassens

I. für Methylalkoholdampf, (66°)

Einwirkungsdauer = 0^h 1^h 2^h 3^h
 $a \cdot 10^5 = -1,72 -1,13 -0,85 -0,64$

II. für Wasserdampf (100°)

Einwirkungsdauer = 0^h 1^h 2^h 3^h
 $a \cdot 10^5 = -0,96 0,18 1,01 1,59 2,20 2,50$

III. für Anilindampf (185°)

Einwirkungsdauer	0 ^h	$\frac{1}{6}$ ^h	$\frac{1}{2}$ ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h
$a \cdot 10^5$	- 1,01	4,44	4,99	5,30	5,49	5,73

IV. für Bleibad (330°)

Einwirkungsdauer	0 ^h	$\frac{1}{6}$ ^h	$\frac{1}{2}$ ^h	$\frac{3}{2}$ ^h
$a =$	- 0,39	8,59	8,75	8,80

Auf Grundlage dieser Zahlen ist in Fig. 7 der Verlauf des Anlassens mit der Einwirkungsdauer der Anlasstemperatur graphisch dargestellt, indem diese Dauer als Abscisse, die mittleren Veränderungen der thermoelektrischen Constante als Ordinate aufgetragen sind.

Im Allgemeinen hängt also der bei einem Stahldraht vom bestimmten glasharten Anfangszustande für eine gewisse Anlasstemperatur resultirende Härtegrad nicht nur von dieser Temperatur ab, sondern auch von ihrer Einwirkungsdauer, und zwar in der Weise, dass die Einwirkungsdauer ganz besonders bei schwachen Anlasskräften, bei starken dagegen in weit geringerem Maase sich geltend macht. Ihr Einfluss ist besonders bedeutend zu Beginn des Anlassens, nimmt dann im weiteren Verlauf desselben allmälig ab, und auch da langsamer bei schwachen, schneller bei stärkeren Anlasskräften. Der allgemeine Charakter der Curven, die diesen Verlauf darstellen, führt zu demselben Schlusse, den schon die einleitenden mit Wasserdampf angestellten Versuche ergeben hatten, dass bei hinreichend langer Einwirkung jeder Anlasstemperatur ein bestimmter Grenzustand der Härte entspricht.

Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, wie bedeutend der Einfluss von verhältnissmässig niedrigen Anlasstemperaturen ist, besonders falls ihre Einwirkungsdauer grösser ist. Es geht daraus hervor, dass das Anlassen des glasharten Stahls offenbar schon bei noch viel niedrigeren Temperaturen beginnt, als die niedrigste von uns angewandte gewesen, ja es erscheint nicht unwahrscheinlich, dass hier die Temperatur maassgebend ist, bei welcher der glühende Stahldraht abgelöscht worden war. Für die Praxis der thermoelektrischen Untersuchungen glasharter Stahldrähte ergibt sich daraus die wichtige Regel, dass man die Temperatur des warmen Poles des Thermoelementes nicht viel über diese Ablöschtemperatur nehmen und auch die-

selbe nicht lange Zeit einwirken lassen darf, falls man ein einseitiges Anlassen des Drahtes vermeiden will. Dass glasharte Stahldrähte aus eben demselben Grunde nicht an die Enden der Leitungsdrähte angelöhet werden dürfen, versteht sich von selbst. Viel mehr müsste man noch diese Empfindlichkeit glasharter Stahldrähte höheren Temperaturen gegenüber bei derartigen Untersuchungen berücksichtigen, welche den Einfluss der Temperatur gewissen anderen Eigenschaften des Stahls, z. B. dem magnetischen Verhalten feststellen sollten, da ja bei solchen Fragen vorausgesetzt wird, dass das Untersuchungsmaterial selbst sich nicht ändert.

XIII. Verhalten der bei bestimmter Temperatur angelassenen Stahldrähte tieferen und höheren Temperaturen gegenüber.

Die Empfindlichkeit, welche glasharte Stahldrähte höheren Temperaturen gegenüber zeigen, selbst solchen, welche nur wenig über der Temperatur liegen, bei welcher der Draht abgelöscht worden war, musste zu der Frage führen, wie sich umgekehrt Stahldrähte, die bei einer bestimmten Temperatur angelassen worden waren, Temperaturen gegenüber verhalten, die unterhalb der Anlasstemperatur liegen, in dem Sinne nämlich, ob etwa diese Temperaturen ein weiteres Anlassen hervorbringen können, oder aber ob der Stahl durch Anlassen bei höherer Temperatur der Einwirkung tieferer Temperaturen gegenüber unempfindlicher geworden ist.

Zur experimentellen Prüfung dieser Frage wurde ein Stahldraht (Nr. 26 $2\rho = 0,85$), der früher in einem Oelbad von 250° angelassen worden war, im Wasserdampf von 100° eine Stunde lang gehalten und vorher und nachher thermoelektrisch gegen Kupfer untersucht. Die Versuche ergaben folgendes Resultat:

	Vorher			Nachher		
t	T	$e \cdot 10^3$		t	T	$e \cdot 10^3$
16,1	89,1	4,29		16,9	73,2	3,36 (3,41)
16,1	80,7	3,84		16,9	63,2	2,85 (2,88)
16,2	68,1	3,17		16,9	56,5	2,46 (2,49)
16,2	54,6	2,43		17,0	50,2	2,10 (2,11)
16,2	44,5	1,82				
16,2	37,9	1,42				

Da hier die Temperatur t bei beiden Versuchsreihen nicht erheblich verschieden war, so kann man die thermoelektrische Kraft e blos als von der Temperaturdifferenz $T - t$ abhängig betrachten und nach dieser graphisch darstellen. Stellt man nun für die erste Versuchsreihe eine solche graphische Darstellung her und entnimmt aus derselben für die Temperaturdifferenzen der zweiten Versuchsreihe die entsprechenden Werthe der thermoelektrischen Kraft, (in der Zusammenstellung in Klammern beigefügt) so zeigt sich ein Vergleich dieser graphisch interpolirten mit den beobachteten Werthen, dass ein weiteres Anlassen des Drahtes durch Wasserdampf nicht stattgefunden hat.

Ein Controlversuch wurde mit einem Drahte (Nr. 27 $2\rho = 0,85$) angestellt, der früher in einem Oelbad von 200° angelassen worden war und der dann ebenfalls eine Stunde lang der Einwirkung des Wasserdampfes von 100° ausgesetzt und vorher und nachher thermoelektrisch untersucht wurde. Die Versuche ergaben wie folgt:

Vorher			Nachher		
t	T	$e \cdot 10^3$	t	T	$e \cdot 10^3$
16,3	88,5	2,77	17,0	84,2	2,60 (2,60)
16,4	80,8	2,52	17,0	71,7	2,20 (2,20)
16,4	70,0	2,18	17,1	62,3	1,86 (1,87)
16,4	61,6	1,87	17,2	43,4	1,15 (1,15)
16,4	53,1	1,57			
16,4	46,4	1,29.			

Ohne Zweifel darf man das durch diese Versuche gewonnene Resultat dahin erweitern, dass ein bei bestimmter Temperatur angelassener Stahl gegenüber der Einwirkung einer tieferen Temperatur um so unempfindlicher sich zeigt, einerseits, je tiefer diese Temperatur und je kürzer ihre Einwirkungsdauer ist, andererseits, je näher der Stahl dem Grenzzustande steht, der seiner Anlasstemperatur entspricht, so zwar, dass, falls dieser Grenzzustand erreicht ist, der Stahl dadurch der Einwirkung tieferer Temperaturen vollends entzogen ist.

Eine andere Frage schien uns von nicht weniger grosser Wichtigkeit für die nähere Einsicht in den Vorgang des Anlassens zu sein. Die früher beschriebenen Versuche legten den Gedanken nahe, dass bei einer bestimmten Drahtsorte von bestimmtem glashartem Anfangszustande der beim Anlassen resultirende Zustand

nur von der Anlasstemperatur und ihrer Einwirkungsdauer abhängt und dass insbesondere die Grenzzustände für die Anlasstemperaturen charakteristisch wären. Falls ein solcher Zusammenhang wirklich besteht, so müsste es für das Resultat gleichgültig sein, ob ein glasharter Stahldraht etwa z. B. zuerst in Wasserdampf und dann in Anilindampf oder ob er gleich nur in Anilindampf angelassen werden würde. Diesem Gedanken gemäss wurde nun folgender Versuch angestellt.

Drei auf ihre Homogenität geprüften Stahldrähte von verschiedener Dicke (Nr. 40, 41, 42) wurden zuerst im glasharten Zustande auf ihren Härtegrad untersucht, sodann jeder in zwei Hälften gebrochen und dann je eine Hälfte zuerst 40 Minuten im Wasserdampf von 100° und dann 10 Minuten im Anilindampf von 185° angelassen, während je die andere Hälfte blos 10 Minuten in Anilindampf gehalten wurde, worauf schliesslich wieder alle auf den Härtezustand untersucht wurden. Die Untersuchung geschah der grösseren Einfachheit wegen durch Widerstandsbestimmungen und zwar nach der *Hockin-Mattiessen'schen* Methode. Die Resultate zeigt folgende Zusammenstellung:

In Wasser- und Anilindampf		In Anilindampf	
Glashart	$s = 0,438$	$s = 0,430$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,328	0,324	
	Draht Nr. 41. $2\rho = 0,64$		
Glashart	$s = 0,455$	$s = 0,455$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,317	0,315	
	Draht Nr. 42. $2\rho = 0,49$		
Glashart	$s = 0,386$	$s = 0,387$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,275	0,275	
Mittel:			
Glashart	$s = 0,426$	$s = 0,424$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,307	0,305	

Ein Controlversuch wurde mit anderen drei Drähten (Nr. 43, 44, 45) angestellt. Jeder von denselben wurde zuerst im glasharten Zustande auf den Härtegrad untersucht sodann wieder jeder in zwei Hälften gebrochen: die eine Hälfte wurde darauf zuerst 40 Minuten in Aethylalkoholdampf von 78° und dann 6 Stunden im Wasserdampf von 100° gehalten während die andere Hälfte blos 6 Stunden in Wasserdampf von 100° gestellt wurde. Die Resultate zeigt wieder folgende Zusammenstellung:

Da hier die Temperatur t bei beiden Versuchsreihen nicht erheblich verschieden war, so kann man die thermoelektrische Kraft e bloss als von der Temperaturdifferenz $T-t$ abhängig betrachten und nach dieser graphisch darstellen. Stellt man nun für die erste Versuchsreihe eine solche graphische Darstellung her und entnimmt aus derselben für die Temperaturdifferenzen der zweiten Versuchsreihe die entsprechenden Werthe der thermoelektrischen Kraft, (in der Zusammenstellung in Klammern beigefügt) so zeigt sich ein Vergleich dieser graphisch interpolirten mit den beobachteten Werthen, dass ein weiteres Anlassen des Drahtes durch Wasserdampf nicht stattgefunden hat.

Ein Controlversuch wurde mit einem Drahte (Nr. 27 $2\rho = 0,85$) angestellt, der früher in einem Oelbad von 200° angelassen worden war und der dann ebenfalls eine Stunde lang der Einwirkung des Wasserdampfes von 100° ausgesetzt und vorher und nachher thermoelektrisch untersucht wurde. Die Versuche ergaben wie folgt:

Vorher			Nachher		
t	T	$e \cdot 10^3$	t	T	$e \cdot 10^3$
16,3	88,5	2,77	17,0	84,2	2,60 (2,60)
16,4	80,8	2,52	17,0	71,7	2,20 (2,20)
16,4	70,0	2,18	17,1	62,3	1,86 (1,87)
16,4	61,6	1,87	17,2	43,4	1,15 (1,15)
16,4	53,1	1,57			
16,4	46,4	1,29			

Ohne Zweifel darf man das durch diese Versuche gewonnene Resultat dahin erweitern, dass ein bei bestimmter Temperatur angelassener Stahl gegenüber der Einwirkung einer tieferen Temperatur um so unempfindlicher sich zeigt, einerseits, je tiefer diese Temperatur und je kürzer ihre Einwirkungsdauer ist, andererseits, je näher der Stahl dem Grenzzustande steht, der seiner Anlasstemperatur entspricht, so zwar, dass, falls dieser Grenzzustand erreicht ist, der Stahl dadurch der Einwirkung tieferer Temperaturen vollends entzogen ist.

Eine andere Frage schien uns von nicht weniger grosser Wichtigkeit für die nähere Einsicht in den Vorgang des Anlassens zu sein. Die früher beschriebenen Versuche legten den Gedanken nahe, dass bei einer bestimmten Drahtsorte von bestimmtem glashartem Anfangszustande der beim Anlassen resultirende Zustand

nur von der Anlasstemperatur und ihrer Einwirkungsdauer abhängt und dass insbesondere die Grenzzustände für die Anlasstemperaturen charakteristisch wären. Falls ein solcher Zusammenhang wirklich besteht, so müsste es für das Resultat gleichgültig sein, ob ein glasharter Stahldraht etwa z. B. zuerst in Wasserdampf und dann in Anilindampf oder ob er gleich nur in Anilindampf angelassen werden würde. Diesem Gedanken gemäss wurde nun folgender Versuch angestellt.

Drei auf ihre Homogenität geprüften Stahldrähte von verschiedener Dicke (Nr. 40, 41, 42) wurden zuerst im glasharten Zustande auf ihren Härtegrad untersucht, sodann jeder in zwei Hälften gebrochen und dann je eine Hälfte zuerst 40 Minuten im Wasserdampf von 100° und dann 10 Minuten im Anilindampf von 185° angelassen, während je die andere Hälfte bloss 10 Minuten in Anilindampf gehalten wurde, worauf schliesslich wieder alle auf den Härtezustand untersucht wurden. Die Untersuchung geschah der grösseren Einfachheit wegen durch Widerstandsbestimmungen und zwar nach der Hockin-Mattiessen'schen Methode. Die Resultate zeigen folgende Zusammenstellung:

In Wasser- und Anilindampf		In Anilindampf	
Glashart	$s = 0,438$	$s = 0,430$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,328	0,324	
	Draht Nr. 41. $2\rho = 0,64$		
Glashart	$s = 0,455$	$s = 0,455$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,317	0,315	
	Draht Nr. 42. $2\rho = 0,49$		
Glashart	$s = 0,386$	$s = 0,387$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,275	0,275	
	Mittel:		
Glashart	$s = 0,426$	$s = 0,424$	$(t = 14^\circ)$
Angelassen	0,307	0,305	

Ein Controlversuch wurde mit anderen drei Drähten (Nr. 43, 44, 45) angestellt. Jeder von denselben wurde zuerst im glasharten Zustande auf den Härtegrad untersucht sodann wieder jeder in zwei Hälften gebrochen: die eine Hälfte wurde darauf zuerst 40 Minuten in Aethylalkoholdampf von 78° und dann 6 Stunden im Wasserdampf von 100° gehalten während die andere Hälfte bloss 6 Stunden in Wasserdampf von 100° gestellt wurde. Die Resultate zeigen wieder folgende Zusammenstellung:

In Aethylalkohol- und Wasserdampf		In Wasserdampf	
Draht Nr. 43.	$2\rho = 0,85$		
Glashart	$s = 0,426$	$s = 0,430$	($t = 10^0$)
Angelassen	0,338	0,337	
Draht Nr. 44.	$2\rho = 0,66$		
Glashart	$s = 0,429$	$s = 0,437$	($t = 10^0$)
Angelassen	0,312	0,316	
Draht Nr. 45.	$2\rho = 0,49$		
Glashart	$s = 0,376$	$s = 0,379$	($t = 10^0$)
Angelassen	0,292	0,296	
Mittel:			
Glashart	$s = 0,410$	$s = 0,415$	($t = 10^0$)
Angelassen	0,316	0,314	

Beide Versuchsreihen berechtigen den Schluss zu ziehen, dass die Wirkung einer Anlasstemperatur auf den Härtezustand des Stahls von bestimmter Sorte unabhängig ist von der etwa vorausgegangenen Wirkung einer tieferen Anlasstemperatur, und zwar in der Weise, dass die Wirkung der letzteren um so mehr und vollständiger verwischt wird, je länger die höhere Anlasstemperatur eingewirkt hat.

XIV. Verhalten ausgeglühter Stahldrähte.

Die thermoelektrische Stellung des Stahls in verschiedenen Härtezuständen wurde bis jetzt auf Silber bezogen, also auf ein ganz willkürlich gewähltes Metall. Es würde ohne Zweifel als mehr naturgemäß und übersichtlich erscheinen, dieses, für den behandelten Gegenstand fremde Element aus der Betrachtung vollends zu eliminiren und die thermoelektrische Stellung des Stahls auf Stahl selbst in einem bestimmten Härtegrade zu beziehen. Als geeignetsten würde man dafür einen Extremgrad erachten und zwar besonders denjenigen des weichen ausgeglühten Stahls. Soll aber dieser zum Ausgangspunkt gewählt und als der Härtegrad Null bezeichnet werden so setzt dies voraus, dass derselbe ein vollends bestimmter und selbst bei verschiedenem Stahl ein gleicher ist. Ueber diese Frage stellten wir eine besondere Untersuchung an, aus welcher hervorgeht, dass jene Voraussetzung nicht haltbar ist; vielmehr weichen die Resultate schon bei Drähten angeblich derselben also jedenfalls nicht viel verschiedener Sorten ziemlich beträchtlich ab.

Die Drähte wurden behufs vollständigen Ausglühens zusammen in Kohlenstaub eingesetzt und in einem Gasrohr, das wieder in Lehm eingehüllt wurde, stark gegläut; die einhüllenden Medien bewirkten dann ein sehr langsames und allmähliches Erkalten der Drähte.

Es mögen nun als Beispiel die Drähte Nr. 46, 47 und 48 angeführt werden.

	t	T	$e \cdot 10^3$ beobachtet	$e \cdot 10^3$ berechnet	$a \cdot 10^5$	$b \cdot 10^7$	s	t
Nr. 46 $2\rho = 0,843$	18,7	87,7	5,154	5,153	8,83	1,28	0,181	19
	18,7	67,3	3,761	3,757				
	18,7	54,2	2,798	2,804				
	18,7	45,5	2,150	2,147				
Nr. 47 $2\rho = 0,625$	23,0	85,7	5,760	5,774	10,78	1,45	0,160	19
	22,7	68,1	4,312	4,298				
	22,6	51,7	2,829	2,824				
	22,4	40,6	1,791	1,795				
Nr. 48 $2\rho = 0,485$	19,0	84,0	5,031	5,008	9,03	1,28	0,174	19
	19,0	64,3	3,587	3,605				
	19,0	50,8	2,571	2,585				
	19,0	37,9	1,578	1,568				

Zum Vergleich wurden mit den Stahldrähten zugleich Eisendrähte von verschiedener Sorte gegläut und im ausgeglühten Zustande untersucht. Als Beispiel sind im folgenden die Eisendrähte I II III angeführt.

	t	T	$e \cdot 10^3$ beobachtet	$e \cdot 10^3$ berechnet	$a \cdot 10^5$	$b \cdot 10^7$	s	t
Nr. I $2\rho = 0,966$	18,7	79,6	6,161	6,168	11,93	1,84	0,138	19
	18,8	66,3	4,933	4,927				
	18,7	54,3	3,776	3,771				
	18,8	44,9	2,805	2,809				
Nr. II $2\rho = 0,630$	18,6	78,0	5,832	5,824	11,19	1,43	0,135	19
	18,6	64,2	4,558	4,561				
	18,6	53,4	3,525	3,535				
	18,6	43,4	2,561	2,555				
Nr. III $2\rho = 0,312$	18,5	86,9	5,937	5,935	10,24	1,48	0,147	19
	18,5	68,1	4,430	4,442				
	18,5	54,3	3,289	3,278				
	18,5	40,1	2,021	2,023				

Es ist sehr wahrscheinlich, dass Stahl sowohl wie Eisen gerade im ausgeglühten Zustande am empfindlichsten den Einfluss fremder Beimischungen anzeigt und dass auf solche die Abweichungen einzelner Resultate zurückzuführen sind. Derartiges Verhalten ist nicht ohne Analogie in diesem Gebiete. So weiss man, dass Legirungen z. B. Gold-Silber fremde, natürlich sehr geringe, Beimischungen vertragen ohne dass diese auf den galvanischen Leitungswiderstand und thermoelektrische Stellung grossen Einfluss hätten; dagegen ist dieser Einfluss sofort ein ganz bedeutender, sobald man es mit den Extremzuständen der Legirungen d. h. mit reinem Silber und reinem Gold zu thun hat.

Der Vergleich zwischen den beiden Zusammenstellungen zeigt überdies, wie nahe ausgeglühter Stahl dem ausgeglühten Eisen kommt sowohl thermoelektrisch als auch in Bezug auf galvanisches Leitungsvermögen.

XV. Beziehung zwischen galvanischem Leitungswiderstand des Stahls und dessen thermoelektrischer Stellung.

Die bisher angeführten Versuchsreihen, bei denen im Ganzen 86 zusammengehörige Werthe vom specifischen Leitungswiderstand verschiedener Stahldrähte und deren thermoelektrischen Constanten ermittelt worden sind, liefern ein umfassendes Material zur Beantwortung der Frage, ob und in welcher Weise diese beiden Eigenschaften von einander abhängen. Zu diesen 86 Werthe paaren mögen auch noch folgende 4 hinzukommen, welche wir bei Stahldrähten erhalten haben, die ursprünglich zu einem besonderen Zweck 6 Stunden lang im Wasserdampf gehalten wurden. Es ergab sich bei diesen:

Draht Nr.	2ρ	$a \cdot 10^5$	s	t
49	0,574	2,01	0,379	19
50	0,554	4,32	0,311	19
51	0,531	4,30	0,287	19
52	0,344	4,13	0,304	19

Wir haben also im Ganzen 90 zusammengehörige Werthe paare von galvanischem Leitungswiderstand $s = x$ und thermoelektrischer Constante $a \cdot 10^5 = y'$ bei sehr verschiedenen Härtegraden des Stahls. Dass ein Parallelismus zwischen diesen beiden

Grössen besteht, trat schon bei einzelnen Zusammenstellungen deutlich hervor.

Zur leichteren Uebersicht entwerfen wir eine graphische Darstellung dieses Zusammenhangs, indem wir x als Abscisse und y' als Ordinate auftragen. Wir erhalten dadurch 90 Puncte (Fig. 8) die sich in eine Zone reihen, die in der Mitte ziemlich schmal, gegen das eine Ende, wo $y' = 0$ ist etwas mehr sich ausbreitet, im Ganzen aber einen bestimmt charakterirten Verlauf zeigt, der entschieden *geradlinig* ist. Es kann also mit grösster Wahrscheinlichkeit der Zusammenhang zwischen y' und x durch eine lineare Gleichung von der Form

$$y' = m - nx \dots \dots \dots \dots \dots \quad 1)$$

dargestellt werden. Legt man nun diese Gleichung der Rechnung zu Grunde, indem man aus allen vorliegenden Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate die Constanten m und n rechnet, so erhält man:

$$m = 16,57$$

$$n = 41,07$$

Von diesen beiden Constanten hat die eine m eine nur bedingte Bedeutung insofern als sie von der Wahl desjenigen Metalles — in unserem Falle des Silbers — abhängt auf welches die thermoelektrische Stellung des Stahls bezogen wird. Dies gilt nun nicht mehr von der Differenz $m - y'$, welcher eine von dieser Wahl ganz unabhängige Bedeutung zukommt. Es erscheint also als zweckmässig, diese Differenz $m - y'$ als neue thermoelektrische Variable $= y$ einzuführen, wodurch die Beziehung 1) die einfachere Form

$$y = nx \dots \dots \dots \dots \dots \quad 2)$$

annimmt, aus welcher dann das für den behandelten Gegenstand fremde Element Silber eliminiert erscheint. Mathematisch aufgefasst wäre dann m eine auf experimentellem Wege stets aufzufindende Constante, durch welche eine specielle Wahl des Coordinatensystems bestimmt wird. Physikalisch würde m die auf Silber bezogene thermoelektrische Constante des Stahls in einem solchen Zustande bedeuten, in welchem sein galvanischer Leitungswiderstand $= 0$ wäre, und auf diese bestimmte Anfangsstellung würde sich dann die neue thermoelektrische Variable y beziehen.

Die Einführung dieser neuen Variablen welche wir als den *absoluten thermoelektrischen Härtegrad* des Stahls bezeichnen wollen, beruht auf ähnlicher Ueberlegung wie die Einführung der abso-

luten Temperatur durch die lineare Beziehung zwischen dem Volumen eines Gases und seiner auf irgend einen Nullpunkt bezogenen Temperatur allerdings mit dem Unterschied, dass dem absoluten Nullpunkt durch die mechanische Wärmetheorie eine wirkliche physikalische Bedeutung zukommt, während in unserem Falle der thermoelektrische Nullpunkt m nur die Bedeutung eines zweckmässigen und von jeder Willkür unabhängigen Ausgangspunktes beizulegen ist.

Die einfache Gleichung 2) welche dadurch gewonnen wird, gilt dann nur innerhalb bestimmter Grenzen in ähnlicher Weise, wie in der Elasticitätstheorie die Gleichung, durch welche die Verlängerung eines Drahtes oder Stabes als proportional der Mehrbelastung desselben bestimmt wird, und die Einführung der Constante m als entsprechend dem Stahl in einem solchen Zustande, in welchem sein galvanischer Leitungswiderstand = 0 stande, hat eine Berechtigung in ähnlicher Weise wie die Einführung des Elasticitätsmoduls als derjenigen Mehrbelastung eines Stabes oder Drahtes vom Querschnitte = 1, bei welcher sich der selbe auf doppelte Länge ausdehnen würde.

Es folgt nun eine übersichtliche Zusammenstellung, welche bezeigten soll, wie gross die Abweichungen sind zwischen den beobachteten ($m - y' = y$) und den berechneten (nx) absoluten thermoelektrischen Härtegraden.

Nr.	y	nx	Diff.	Nr.	y	nx	Diff.
47	5,8	6,4	-6	3	9,2	9,4	-2
38	6,6	7,5	-9	9	9,2	8,9	3
38	6,8	7,6	-8	13	9,3	9,0	3
38	7,1	7,6	-5	8	9,7	10,1	-4
5	7,5	7,7	-2	12	9,8	10,0	-2
48	7,5	7,2	3	7	10,0	9,9	1
46	7,7	7,4	3	36	10,5	10,1	4
2	8,1	8,1	0	35	10,6	10,8	-2
39	8,3	7,9	4	36	10,7	10,3	4
1	8,3	8,3	0	36	10,7	10,5	2
4	8,3	8,7	-4	20	10,8	10,6	2
37	8,3	8,2	1	35	10,8	11,0	-2
39	8,3	7,9	4	36	11,0	10,8	2
37	8,4	8,3	1	35	11,1	11,3	-2
37	8,4	8,2	2	11	11,1	10,8	3
39	8,5	8,0	5	34	11,4	11,3	1
6	8,9	9,0	-1	36	11,5	11,3	2

Nr.	y	nx	Diff.	Nr.	y	nx	Diff.
35	11,6	11,9	-3	32	15,1	15,8	-7
10	11,6	11,2	4	33	15,5	15,3	2
16	11,6	11,6	0	31	15,6	15,8	-2
34	11,7	11,5	2	32	15,7	16,5	-8
34	12,0	11,8	2	31	16,0	16,4	-4
17	12,1	12,2	-1	30	16,1	15,9	2
23	12,1	12,2	-1	30	16,2	15,9	3
35	12,1	12,4	-3	39	16,5	15,7	8
34	12,2	12,2	0	37	16,6	15,9	7
50	12,3	12,8	-5	30	16,6	16,0	6
51	12,3	11,8	5	36	16,6	16,2	4
14	12,3	11,9	4	33	16,6	16,1	5
52	12,5	12,5	0	31	16,7	17,0	-3
15	12,5	12,3	2	32	17,0	17,2	-2
19	12,5	12,5	0	30	17,0	16,2	8
21	12,6	12,8	-2	29	17,3	18,0	-7
34	12,8	12,7	1	34	17,4	17,1	3
22	13,0	13,5	-5	29	17,5	18,0	-5
33	13,4	13,4	0	38	17,8	17,6	2
18	13,6	13,6	0	31	17,8	17,6	2
33	13,7	13,6	1	29	17,9	18,1	-2
32	14,2	14,9	-7	32	18,1	18,0	1
33	14,2	14,0	2	28	18,3	18,5	-2
32	14,5	15,3	-8	28	18,5	18,5	0
49	14,6	15,6	-10	29	18,6	18,3	3
31	14,7	15,1	-4	28	18,6	18,5	2
31	15,0	15,4	-4	35	18,7	18,5	7
33	15,0	14,6	4	28	19,3	18,6	7

Betrachtet man kritisch diese Zusammenstellung, indem man besonders die übrig bleibenden Fehler ins Auge fasst, so fallen die verhältnismässig grossen Abweichungen auf, die gleich zu Anfang bei weichen Stahlstäben auftreten. Es wäre nicht unmöglich, dass der Verlauf der Curve $y = f(x)$ zu Anfang nicht geradlinig wäre, wohl aber mit zunehmendem x rasch in einen geradlinigen übergehen würde. In der That zeigen die weiteren übrig bleibenden Fehler im Ganzen keinen Gang und bewegen sich auch bis auf wenige Ausnahmen in engen Grenzen. Bei Methylalkoholdrähten Nr. 28, 29 und 30, zeigen die Fehler einen Gang. Es folgen mit abnehmendem y die Fehler in folgender Weise auf einander:

Nr. 28	7	1	0	-2
Nr. 29	3	2	-5	-7
Nr. 30	8	6	3	2

Mit anderen Worten: beim fortschreitenden Anlassen, wurde bezüglich der thermoelektrischen Constante eine fortschreitende Änderung gefunden, mit welcher der Widerstand nicht gleichen Schritt hielte. Es dürfte dies mit dem Umstände zusammenhängen, dass bei Methylalkohol die Anlasskraft eine zu geringe ist, wodurch wahrscheinlich die Anlasswirkung von der Oberfläche aus ins innere langsam fortschreitet; dadurch findet man dann wohl im thermoelektrischen Verhalten eine Änderung, nicht aber im gleichen Schritt beim Widerstand, der nicht von der oberflächlichen Beschaffenheit des Drahtes, sondern von der inneren abhängt. In der That stimmen darin die drei Drähte so auffallend überein, dass dies nicht in Beobachtungsfehlern begründet sein kann, sondern einen sachlichen Grund haben muss. Auch bei Stahlstäben, die im Wasserdampf gehalten wurden, zeigt sich ein ähnlicher Gang, wenn auch bei weitem nicht so ausgesprochen.

XVI. Fehlerquellen.

Die in der Zusammenstellung des vorigen Artikels auftretenden, mitunter grösseren Differenzen zwischen Beobachtung und Berechnung regen die Frage an, in wie fern dieselben durch Beobachtungsfehler sich erklären lassen und geben damit Veranlassung, noch auf eine Kritik der angewandten Methoden bezüglich der möglichen Fehlerquellen näher einzugehen.

Was zunächst die Bestimmung der *thermoelektrischen Constante* betrifft, so sind als Fehlerquellen zu erwähnen: die Veränderlichkeit des Reductionsfactors des Galvanometers zum Theil in der Veränderlichkeit horizontaler Intensität des Erdmagnetismus, zum Theil in Temperaturschwankungen begründet; die Veränderlichkeit der elektromotorischen Kraft des *Daniell'schen Elementes*; der Einfluss störender fremder thermoelektrischer Kräfte und schliesslich die Unsicherheiten der Temperaturbestimmung, besonders bei höheren Temperaturen. Was die ersten beiden Fehlerquellen betrifft, so kann man denselben durch öftere Wiederholung begegnen. Wie wir den Einfluss störender fremder Thermo-

kräfte zu eliminiren suchten, wurde früher schon erwähnt. Der selbe macht sich besonders bei kleinen beobachteten elektromotorischen Kräften relativ sehr geltend, also bei Stahldrähten, welche nahe bei Silber liegen.

Die Zusammenstellung des vorigen Artikels zeigt auch, dass die übrig bleibenden Fehler gerade in dieser Lage, wo also y' nahe $= 0$ ist, am grössten sind. Noch mehr als dem letzteren ist dies aber einem anderen Umstand zuzuschreiben, der besonders hervorgehoben zu werden verdient. Das thermoelektrische Verhalten ist nämlich durch zwei Constanten a und b bestimmt, die in die Gleichung

$$e = a (T - t) + b (T^2 - t^2)$$

ein treten. Es ist dann klar, dass, falls die Constante a durch Rechnung richtig ausfallen soll, auch die Constante b richtig ermittelt werden muss.

Zwar ist b bedeutend kleiner als a , allein dafür tritt auch b mit der Temperatursumme multiplicirt der Constante a gegenüber, indem ja die Gleichung lautet

$$e = (T - t) [a + b (T + t)].$$

Soll aber b richtig bestimmt werden, so müsste man die Temperaturen T und t in möglichst grosser Differenz variiren, — darin ist aber gerade bei glasharten Drähten in der Natur der Sache selbst eine Grenze gesetzt, da T , falls ein einseitiges Anlassen des Stahls vermieden werden soll, nur mässig hoch genommen werden darf und man t wiederum ohne grosse Umständlichkeit nicht tief genug wählen kann. Man sieht auch oft bei früheren Zusammenstellungen, bei vielen Werthen von a , die man eher grösser oder kleiner erwartet hätte, dass da gerade der zugehörige Wert b von dem mittleren mehr abweicht. Auch mussten wir bei den Berechnungen von den vorliegenden 90 Beobachtungsreihen nach der Methode der kleinsten Quadrate, schliesslich der Ueberzeugung Raum geben, dass die Anzahl einzelner Beobachtungen zu klein war. Es geschah zur Vereinfachung der ohnehin äusserst mühsamen und zeitraubenden Rechnung, dass wir blos 4 oder 6 Beobachtungen bei jeder Reihe angestellt hatten; allein für eventuelle künftige Bestimmungen müsste man bei weitem mehr einzelne Beobachtungen anstellen falls a und b bei den sonstigen Fehlerquellen blos auf wenigstens ein Procent richtig ausfallen sollen. Wir erkannten dies hauptsächlich daran, dass

die Werthe a und b nicht unbeträchtlich anders ausfielen, je nachdem sie mit Zugrundelegung der Gleichung

$$y = ax + bxu$$

oder

$$\frac{y}{x} = a + bu$$

nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet wurden.

Was ferner die Bestimmungen des *galvanischen Leitungs-widerstandes* betrifft, so wäre der Einfluss der Temperatur, welcher bei der bisherigen Unkenntnis der Temperaturcoefficienten nicht zu eliminiren war und ferner die Schwierigkeiten der Querschnitts-bestimmungen zu erwähnen. Da die Dicke der untersuchten Drähte im Mittel etwa $\frac{1}{2}$ mm betrug, so müsste man den *mittleren Durchmesser* bis auf $\frac{1}{100}$ mm genau bestimmen, falls der *mittlere Querschnitt* auf ein Procent genau ausfallen soll, und bei noch dünneren Drähten noch genauer, was wohl weder mit Mikroskop noch mit Dichtigkeitsbestimmungen möglich ist. Endlich wäre der Fehler zu erwähnen, die bei der gewöhnlichen Brückenmethode die Uebergangswiderstände, so wie der Einfluss des Löthens her-vorgebracht hätte; indessen haben wir uns von diesen später durch Anwendung der *Hockin-Matthiessen'schen* Methode völlig unabhängig gemacht.

Zu diesen in den Methoden liegenden Fehlerquellen, kommen schliesslich diejenigen hinzu, welche mehr in der Sache selbst begründet sind. Es wurde bereits erwähnt, dass wir Grund hatten zu vermuten, dass die Stahldrähte nicht alle genau derselben Stahlsorte angehörten und es ist wohl wahrscheinlich, dass verschiedene Stahlsorten sich vielleicht qualitativ gleich aber quantitativ verschieden verhalten.

XVII. Schluss.

Es möge nun zum Schluss erlaubt sein, noch einen Rückblick auf die ganze vorliegende Untersuchung zu werfen und die Hauptresultate derselben mit einigen sich daran anschliessenden Folgerungen hervorzuheben. Mit Absicht wollen wir uns dabei theoretischer Speculationen enthalten und uns blos auf das thatsächliche beschränken.

Vor allem fesselt das Interesse im hohen Grad der bis jetzt so wenig aufgeklärte Vorgang der Stahlhärtung selbst, so wie die bedeutende Verschiedenheit der beiden extremen Zustände des Stahls, des glasharten und des ausgeglühten, wie sie sich in den beiden bis jetzt wenig beachteten Wirkungen, den thermoelektrischen und galvanischen, zeigt. Der grösste beobachtete thermoelektrische Abstand zwischen diesen beiden Zuständen betrug $10,78 - (-2,76) = 13,5$ und das Verhältniss der spezifischen Widerstände $\frac{0,48}{0,16} = 3,0$. Gerade diese grosse ohne ein

ähnliches Beispiel dastehende Empfindlichkeit, mit welcher sich die thermoelektrischen und galvanischen Eigenschaften des Stahls mit dessen Härtegrade ändern, lässt dieselben insbesondere in ihrer Vereinigung bei der Definition des absoluten Maasses als geeignet für Unterscheidung und Messung der Stahlhärte erscheinen. Weiter ist der ebenso wenig aufgeklärte Vorgang des Anlassens hervorzuheben, durch welchen man vom glasharten Zustande durch alle Zwischenstadien bis zum ausgeglühten gelangen kann. Für das Resultat sind dabei zwei Factoren maassgebend: die Anlasstemperatur und ihre Einwirkungsdauer. Auch wenn die erstere relativ gering ist, kann man bedeutende Anlasswirkungen hervorbringen, falls die letztere hinreichend gross ist. Grössere Bedeutung liegt ohne Zweifel den zu jeder Anlasstemperatur zugehörigen Grenzzuständen, aus denen der eine Factor, die Einwirkungsdauer eliminiert erscheint. Es ist bemerkenswerth, dass diese Grenzzustände von etwa vorausgegangenem Anlassen durch tiefere Temperatur unabhängig und somit für jede Anlasstemperatur charakteristisch sind.

Durch alle diese Resultate ist nun ein weites neues Feld für Forschungen über Verhalten des Stahls bei verschiedenen Härtezuständen in anderen als den in dieser Arbeit untersuchten Eigenschaften eröffnet und man wird auch erkennen, dass durch die bis jetzt gewonnenen Resultate auch ein bestimmter Plan der Bearbeitung als besonders zweckmässig und vorwurfsfrei förmlich vorgezeichnet wird.

Vorzüglich ist es das magnetische Verhalten des Stahls, an welches sich für die Physik ein besonderes Interesse knüpft. Die über diesen Gegenstand bereits vorliegenden mitunter gründlichen Arbeiten, weisen alle auf die Schwierigkeit hin, mit welcher man dabei insofern stets zu kämpfen hat, als der „Stahl“ kein be-

stimmt charakterisirter Körper ist, als man es vielmehr stets mit verschiedenen Stahlsorten zu thun hat, wobei die Resultate schwer mit einander vergleichbar sind. Ja man kann hinzufügen, dass man selbst bei einer und derselben Stahlsorte jeden einzelnen Draht als ein selbständiges Individuum zu betrachten hat, da ja auch die Dimensionsverhältnisse auf das magnetische Moment nicht ohne Einfluss sind.

Dadurch aber stellt sich als der einzige richtige Plan derjenige her, einen und denselben Stahldraht durch Anlassen durch recht viele Härtezustände, vom glasharten bis zum ausgeglühten, durchzuführen, und da werden es wiederum die für jede Anlass-temperatur charakteristischen Grenzzustände sein, welche man allen anderen bevorzugen wird; um so mehr, als jeder von diesen Grenzzuständen von den vorausgegangenen unabhängig ist.

Auf diese Weise wird es möglich sein, unabhängig von der Zusammensetzung des Stahls insbesondere dem Kohlenstoffgehalt, ferner unabhängig von den Dimensionsverhältnissen, das magnetische Verhalten blos in seiner Abhängigkeit von der einen Variablen, dem Härtezustande zu studiren. Gelingt es, Beziehungen dabei zu ermitteln, so müsste man dann denselben Gang bei Stahlstäben derselben Sorte, aber verschiedener Dimensionen festhalten und schliesslich auch die Zusammensetzung des Stahls mit in Betracht ziehen. Nebenbei würde man, falls man zur Charakterisirung des Härtegrades, sowohl die thermoelektrische Constante, als auch den galvanischen Leitungswiderstand bestimmt, die zwischen diesen beiden Grössen bestehende Beziehung, die wir bei verschiedenen Drähten erhalten haben, bei einem und demselben Draht und zwar bei seinen Grenzzuständen vorwurfs-freier studiren und dabei auch den Verlauf dieser Grenzzustände mit der zugehörigen Anlass-temperatur mit in Betracht ziehen können. Alle diese, so wie auch ähnliche besonders technisch wichtige Fragen betreffend die Veränderlichkeit der Eigenschaften der Festigkeit und Zähigkeit des Stahls mit seinem Härtezu-stande, müssen späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

