

1844. ANNALEN No. 2.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND LXI.

I. *Versuche über die Spannkräfte des Wasserdampfs; von Gustav Magnus.*

In einer früheren Abhandlung habe ich gezeigt, daß die verschiedenen Luftarten nicht, wie man vorher glaubte, denselben, sondern verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß auch der bis jetzt für den Wasserdampf angenommene Ausdehnungscoëfficient nicht richtig ist, und es schien mir von besonderem Interesse gerade diesen genau kennen zu lernen. Hierfür aber war es nöthig die Spannkraft des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen, namentlich zwischen 0° und 100° , zu kennen. Als ich indeß die Untersuchungen, welche über diesen Gegenstand angestellt sind, zu Rathe zog, überzeugte ich mich, daß ich keine derselben für meine Versuche zu Grunde legen konnte. Nicht nur weil die Angaben der verschiedenen Experimentatoren nicht hinreichend mit einander übereinstimmen, sondern weil die von ihnen angewandten Methoden noch immer manches zu wünschen übrig lassen, und weil außerdem in keiner der vorhandenen Arbeiten die Originalbeobachtungen mitgetheilt sind. Vielmehr enthalten alle, wenigstens die neueren, nur die für die ganzen Grade berechneten Spannkräfte, welche je nach der Formel die für ihre Berechnung benutzt wurde, verschieden ausfallen mußten. ¹⁾ Da man außerdem nicht weiß wie weit

1) Die am Schlusse des ersten Bandes von Biot's *Traité de Phys.* enthaltene Tabelle über die Spannkräfte des Wasserdampfs zwischen 0° und 100° , die fast alle französische Lehrbücher der Physik aufgenommen haben, ist nach Dalton's Angaben berechnet. (Biot's *Traité*, I, p. 272.) Aber diese sind selbst schon das Resultat einer Poggendorff's Annal. Bd. LXI.

die wirklichen Beobachtungen von den durch Interpolation gefundenen Werthen entfernt sind, so ist es unmöglich zu beurtheilen, welchen Grad von Genauigkeit die vorhandenen Angaben besitzen.

Ich entschloß mich deshalb zu einer neuen Untersuchung dieses Gegenstandes.

Die Methoden welche man bisher angewendet hat um die Spannkraft der Wasserdämpfe zu messen, beruhen entweder darauf, daß man die Temperatur bestimmt hat, bei welcher das Wasser unter verschiedenem Drucke kocht, oder daß man in einen luftleeren oder fast luftleeren Raum Wasser brachte, dasselbe verschiedenen Temperaturen aussetzte, und den Druck maß, welchen die Dämpfe desselben ausübten.

Die erste von diesen beiden Methoden ist theils so ausgeführt worden, daß man die Temperatur beobachtete bei welcher Wasser auf hohen Bergen kochte, theils dadurch, daß man dasselbe unter der Glocke der Luftpumpe kochen liefs. Diese letztere Art der Untersuchung, nach welcher Versuche von Achard ¹⁾, Gren ²⁾ und auch Dalton ³⁾ angestellt sind, kann nur annähernd genaue Resultate liefern, da wenn Wasser unter der Luftpumpe kocht, die Temperatur desselben ebenso wie die Spannkraft der Dämpfe beständig abnimmt. Die Beobachtung des Kochpunkts auf hohen Bergen kann hingegen, gehörig angestellt, zu ganz sicheren Bestimmungen führen. Lei-

Rechnung, und zwar nach einer ganz anderen Formel, und beruhen nur theilsweis auf directe Messungen der Spannkraft in einer Barometeröhre, und theilsweis auf Beobachtung der Temperatur des unter der Luftpumpe bei verschiedenem Drucke kochenden Wassers. Ueberdies hat Dalton diese Angaben in der zweiten Auflage seines *System of Chem. Phil.* nicht unbedeutend verändert.

1) Achard Sammlung physikalischer und chemischer Schriften, I, 213, auch in den Schriften der Berliner Akademie, 1782, p. 3.

2) Neues Journal, I, 184.

3) *Memoires of the Litterary and Philosophical Society of Manchester Vol. V Part. II*, 535.

der besitzen wir, auſer einer ganz neuen Arbeit von Forbes ¹⁾, nur ältere Beobachtungen der Art. Der erste der dergleichen vorgenommen, ist wohl der Arzt Le Monnier ²⁾ gewesen, der 1739 ein zu Perpignan bei 28 Zoll 2 Linien graduirtes Thermometer auf dem Canigou in den Pyrenäen in siedendes Wasser tauchte. Das Barometer stand nur auf 20 Zoll 2½ Linien, und entsprechend stand das Thermometer auch 15 Delislesche oder 9° R. niedriger als zu Perpignan. — Später in den Jahren 1762 und 1770 hat de Luc ³⁾ mehrere Reihen solcher Beobachtungen auf den Alpen gemacht. Er hatte dabei ein Thermometer benutzt, das bei einem Barometerstand von 27 Zoll graduirt war. Gren ⁴⁾ hat deshalb die Angaben auf ein bei 28 Zoll graduirtes Thermometer reducirt. Diese Beobachtungen sind indess eben so wenig als ein Paar von Saussure ⁵⁾ bei seiner Alpenreise angestellte mit allen nöthigen Vorsichtsmaafsregeln unternommen, und haben deshalb auch zu keinen genauen Resultaten führen können.

Die meisten Untersuchungen über die Spannkraft der Dämpfe sind so angestellt, daß der Druck gemessen wurde, welchen die Dämpfe in einem abgeschlossenen Raume ausüben. Hierbei hat man entweder wie Christian ⁶⁾ den Dampf gegen einen Stempel wirken lassen und die Gewichte bestimmt, welche dieser bei verschiedenen Temperaturen zu heben vermochte; oder wie Arzberger ⁷⁾ die Kraft gemessen, mit welcher der Dampf bei verschiedenen Temperaturen ein Kugelventil hob. Dergleichen

1) *Transactions of the royal society of Edinburgh, Vol. XV Part. III p. 409.*

2) Wie Cassini de Thury in den *Mémoires de l'Académie*, 1740, p. 92 anführt.

3) *Recherches sur l'Atmosphère*, II, 285, und IV, 143.

4) Gren's *Neues Journal der Physik*, I, 179.

5) Saussure, *Voyage*, §. 1275 und 2011.

6) *Mechanique industrielle*, II, 225.

7) *Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien*, I, 144.

Versuche sind nur anzuwenden um die Spannkraft für Temperaturen über 100° zu ermitteln, und können außerdem nur für die Technik von Wichtigkeit seyn. Endlich aber hat man die Spannkraft des Dampfs durch die Höhe einer Quecksilbersäule gemessen, die dieser Spannkraft das Gleichgewicht hält.

Auf diese Weise hat zuerst Ziegler ¹⁾ Versuche angestellt und sie im Jahre 1768 publicirt, sie sind indeß sehr mangelhaft, und halten in keiner Beziehung einen Vergleich aus mit den im Winter 176 $\frac{3}{4}$ von Watt zu Glasgow angestellten, die derselbe jedoch erst viel später (1814) als Anmerkung zu dem Artikel *Steam* in Brewster's Ausgabe von Robison's *System of mechanical philosophy* ²⁾ veröffentlichte. Aehnliche Untersuchungen besitzen wir von Robison ³⁾, Betancourt ⁴⁾, G. G. Schmidt ⁵⁾, Biker zu Rotterdam ⁶⁾, Southern ⁷⁾, Dalton ⁸⁾ und Ure ⁹⁾, und außerdem einige einzelne Beobachtungen von Gay Lussac ¹⁰⁾, August ¹¹⁾ und Andern, so wie einige Bestimmungen der Spannkräfte in niedern Temperaturen von Kämtz ¹²⁾, Prinsep ¹³⁾ u. A. durch Vergleich von Barometern, von denen das eine Wasser in seinem leeren Raume enthält.

1) *Specimen physico-chemicum de Digestore Pupini*, p. 27.

2) Vol. II p. 29.

3) Ebendas. p. 23.

4) *Mémoire sur la force expansive de la vapeur*.

5) Gren's Neues Journal, IV, 151

6) Gilbert's Annalen, X, 257,

7) In Robison, *System of Mech. Phil.*, II, 170.

8) *Memoires of the Litterary and Philosoph. Soc. of Manchester*, V, Part. II, p. 553.

Dessen *New System of Chemical Philos. Second Edit.* 1827 und *Encyclopaedia Britannica*, Vol. XX Part. II, p. 599.

9) *Philos. Transactions for 1818*, p. 338.

10) Biot, *Traité de Phys.*, I, 287.

11) Diese Annalen, V, 344.

12) In seiner *Meteorologie*, I, 290.

13) *Journal of the Asiatic society of Bengal for April 1833*.

Die Versuche von Biker sind nur für Temperaturen angestellt, die höher als der Kochpunkt des Wassers sind. Die von Robison, Betancourt und G. G. Schmidt sind älter und wenig zuverlässig, wie schon daraus hervorgeht, daß bei ihnen angenommen ist, es sey bei 0° keine Spannkraft der Dämpfe vorhanden. Anders verhält es sich mit den Versuchen von Watt, Southern, Dalton und Ure. Alle vier haben sich derselben oder fast derselben Methode bedient. Sie brachten nämlich etwas Wasser in den leeren Raum einer Barometerröhre, und erwärmten diese indem sie sie mit Wasser umgaben. Watt und Southern wandten für diese Erwärmung ein Metallgefäß an, das sie durch eine Lampe heizten, allein dies Gefäß scheint nicht immer den ganzen mit Dämpfen gefüllten Theil der Barometerröhre umgeben zu haben. Dalton hingegen befestigte um die Barometerröhre eine weite Glasröhre mittelst ein Paar Kork, und füllte den Zwischenraum mit warmen Wasser. Biot hat indeß schon darauf aufmerksam gemacht, daß bei dieser Dalton'schen Methode das umgebende Wasser schwerlich in seiner ganzen Höhe dieselbe Temperatur gehabt habe, er hat deßhalb vorgeschlagen mehrere Thermometer in verschiedenen Tiefen in demselben anzubringen. Ure hat es für zweckmäßiger gehalten diesem Uebelstande dadurch abzuheffen, daß er ein heberförmiges Barometer anwandte, dessen offener Schenkel ziemlich lang war; durch Einfüllen von Quecksilber brachte er es dahin, daß die Dämpfe, auch wenn ihre Spannkraft stärker wurde, stets denselben Raum einnahmen. Er wählte diesen so klein, daß er nur die Länge eines halben Zolles in der Spitze der Barometerröhre einnahm, und befestigte das längliche Gefäß seines Thermometers dicht neben diesem Raum. Er hebt als einen besondern Vortheil der hierdurch erreicht wird hervor, daß das Quecksilber der Barometerröhre sich nicht ungleich erwärme. Ich muß indeß gestehen, daß ich nicht begreifen kann, warum dieses

Quecksilber nicht da, wo es mit den Dämpfen in Berührung ist, nahe die Temperatur die diese haben und unten die der umgebenden Luft annehmen sollte. Eine Correction für die Ausdehnung des Quecksilbers ist jedoch nicht möglich, so lange die Temperatur nicht in der ganzen Höhe dieselbe ist. Dafs dies unerläßlich sey, scheint Ure auch wohl eingesehen zu haben, doch ist nicht zu verstehen, wie er es bei seiner Methode erreicht hat.

Ich habe deshalb den folgenden Apparat zur Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe benutzt. Derselbe ist zwar weniger einfach, doch war es mir nicht möglich, auf andere Weise der erwähnten unerläßlichen Anforderung zu entsprechen.

Um die Temperatur zu messen habe ich ein Luftthermometer dem Quecksilberthermometer vorgezogen, nicht sowohl wegen seiner gröfseren Empfindlichkeit, als besonders deshalb, weil es ein beliebig grofses Luftvolumen anzuwenden gestattet. Dadurch ist man im Stande den Raum, in dem sich die Dämpfe befinden, fast ganz mit dieser thermometrischen Substanz zu umgeben, und so sicherer die Temperatur dieses Raumes selbst zu erhalten. Das Luftthermometer ist ganz ebenso construiert wie das welches ich für meine Untersuchungen über die Gase und die Vergleichung der Ausdehnung der Luft und des Quecksilbers benutzt habe. Es ist auf Taf. I. in Fig. 1. bei *DE* abgebildet. Nur die Röhre, welche die Luft enthielt, war von anderer Form und gröfserem Inhalt als dort. Ihre Gestalt ist in Fig. 2. zu ersehen, wo sie mit *x*, *y*, *z* bezeichnet ist.

Wenn das Thermometer und die Dämpfe genau dieselbe Temperatur haben sollen, so ist es nothwendig, dafs beide nicht nur einer und derselben Temperatur ausgesetzt werden, sondern dafs diese auch für einige Zeit constant bleibt; weil man sonst nicht sicher ist, dafs beide, die Dämpfe und das Thermometer, im Augenblick der

Beobachtung dieselbe Temperatur haben, in dem Falle nämlich, daß beide sich nicht gleich schnell erwärmen oder abkühlen. Ich wandte deshalb zur Hervorbringung einer constanten Temperatur denselben Apparat an, dessen ich mich bei Vergleichung der Ausdehnung der Luft und des Quecksilbers bei höheren Temperaturen bedient habe. ¹⁾ Derselbe ist in Fig. 1 und 2. mit *SPR* bezeichnet, und besteht aus einem Kasten von Eisenblech, umgeben von drei anderen Kasten von ganz ähnlicher Beschaffenheit, so daß zwischen je zwei Kasten eine Luftschicht von $\frac{5}{8}$ Zoll, sowohl oben als unten, als auf jeder Seite bleibt. Die Kasten hängen in einander, um jeden metallischen Zusammenhang in den unteren Theilen zu vermeiden. Der äußerste Kasten wird durch Argand'sche Spirituslampen erwärmt, deren ich bei diesen Versuchen nur zwei bedurfte. Wenn diese mit mäfsiger Flamme brennen, so liefern sie stets dieselbe Wärme, und dadurch wird die Luft in dem inneren Kasten auf unveränderlicher Temperatur erhalten.

Herr Regnault hat die Brauchbarkeit dieser Vorrichtung verdächtigt. ²⁾ Derselbe hat nämlich gleichzeitig mit mir die Ausdehnung der Luft und des Quecksilbers in höheren Temperaturen verglichen, aber andere Resultate erhalten als ich. Diese Verschiedenheit erklärt Herr Regnault durch die ungleichförmige Ausdehnung des Glases, von der er gefunden hat, daß sie einen sehr bedeutenden Einfluß üben können. ³⁾ Allein er spricht

1) Diese Annalen, Bd. LVII, 177.

2) *Annales de Chim. et de Phys.* III Ser. Tom. VI, 370.

3) Ich kann hierbei nicht unterlassen auf einen Mißgriff aufmerksam zu machen, welcher sich in einer Arbeit findet, die denselben Zweck, die Vergleichung von Quecksilberthermometern aus verschiedenem Glase, hat, und die unter der Aufsicht des Hrn. Regnault in dem Laboratorio des *Collège de France* durch Hrn. Pierre ausgeführt ist. In dieser hat nämlich Hr. Pierre, wie auch Hr. Poggendorff bei der Uebersetzung dieser Arbeit schon gerügt hat, die Kugel seiner Thermometer aus einer anderen Glassorte gefertigt als die Röhre (*Annua-*

auch den Verdacht gegen die Richtigkeit meiner Versuche aus, daß der eben erwähnte Apparat leicht zu Irrthümern veranlassen könne. Ich hielt es deshalb für nothwendig, ehe ich mich desselben bei der gegenwärtigen Arbeit bediente, ihn noch einmal zu prüfen.

Zu dem Ende liefs ich ein zweites Luftthermometer fertigen, ganz von derselben Construction als das frühere, ausgenommen daß es die Luft in einem gabelförmig gebogenen Gefäße enthielt. Die Gefäße von beiden Thermometern wurden in den in Rede stehenden Apparat so eingelegt, daß das eine genau zwischen dem gabelförmigen andern, und mit diesem in derselben Horizontalebene lag, wie es Fig. 3. zeigt. Die folgenden Zahlen sind die Temperaturen, welche beide Thermometer bei gleichzeitiger Erwärmung lieferten.

L u f t t h e r m o m e t e r

mit zweischenkligem Gefäße:	mit einschenkligem Gefäße:	Differenz:
158°,13	158°,18	+ 0°,05
187 ,79	187 ,96	+ 0 ,17
220 ,73	220 ,67	— 0 ,06
287 ,60	288 ,14	+ 0 ,54.

Man sieht daraus, daß die Temperaturen so weit übereinstimmen, als sich dies in diesen höheren Theilen der Skale erwarten läßt. Deshalb habe ich keinen Anstand genommen mich dieses Apparats zur gleichzeitigen Erwärmung der Dämpfe und des Luftthermometers zu bedienen. Derselbe bietet nur einen sehr großen Uebelstand dar, den nämlich, daß stets mehrere Stunden erforderlich sind, bis die Temperatur in dem innersten Kasten

les de Chimie et de Phys. III, Ser. V, 428). Daß alsdann bei der Erwärmung eine Spannung in dem Glase, und eine unregelmäßige Erweiterung der Kugel eintreten müsse, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

constant wird; wodurch die Versuche einen außerordentlichen Aufwand von Zeit erfordern.

Die Vorrichtung, in welcher die Dämpfe erzeugt wurden, besteht aus einer kurzen, nur etwa vier Zoll langen *U*förmig gebogenen Röhre, die in *a b d e* Fig. 2. abgebildet ist. Das eine Ende derselben ist verschlossen, und um den Raum für die Dämpfe etwas zu vergrößern, bei *a* zu einer Kugel ausgeblasen. An dem andern Ende ist bei *b* rechtwinklig eine Glasröhre *b c* angesetzt, die durch die Hülse *P* des zur Erwärmung bestimmten Kastens geht, und aus diesem bis *c* hervorragt. Der kurze geschlossene Schenkel dieser Röhre wird mit Quecksilber gefüllt, und dies gut ausgekocht. Dann wird etwas Wasser, das vorher $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden anhaltend heftig gekocht worden war, durch *c* in den offenen Schenkel gegossen, und eine kleine Quantität desselben, noch warm, durch Neigen der Röhre über das Quecksilber gebracht. Das übrige Wasser wird hierauf aus dem offenen Schenkel wieder abgegossen, und was sich davon wegen der Gestalt der Röhre nicht abgießen läßt, durch einen eingeführten losen Bindfaden aufgesaugt.

Der aus dem Kasten hervorragende Theil dieser Vorrichtung ist bei *c* durch Caoutchouc mit einer Glasröhre *f g h k* Fig. 1. verbunden, die zu einer Luftpumpe *N M* führt. Wird die Luft verdünnt, so können die Dämpfe den Druck überwinden, unter dem sich das Wasser in dem geschlossenen Schenkel des kurzen *U*förmigen Rohrs *a b d* befindet, das Quecksilber sinkt in diesem und steigt in dem offenen Schenkel.

Die Verdünnung der Luft wird dann so weit getrieben, bis die Oberflächen des Quecksilbers in beiden Schenkeln, wenigstens annähernd, in derselben Horizontalebene liegen. Den kleinen etwa noch vorhandenen Höhenunterschied mißt man mittelst eines Fernrohrs *A B* Fig. 1. Zu dem Ende ist der Kasten *S P R* mit zwei Röhren bei *R* und *R'* von $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, verse-

hen, die durch alle Einsätze hindurch gehen, und an beiden Enden mit Glasscheiben verschlossen sind, so daß man mit dem Fernrohr hindurch sehen kann. Die Röhre *abd*, worin die Dämpfe sich bilden, wird so in dem inneren Kasten befestigt, daß die Oberflächen des Quecksilbers gerade in die Richtung dieser Röhren fallen.

Die Spannkraft der verdünnten Luft wird schon durch das Barometer der Luftpumpe angezeigt; um dieselbe indess genauer messen zu können, bediente ich mich eines Druckmessers der in Fig. 4. abgebildet ist. Derselbe besteht aus einer *U*förmig gebogenen Röhre *opq*, von 3 Fufs Höhe, zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt, deren einer Schenkel durch die Röhre *lmn* Figur 1. mit dem luftverdünnten Raume in Verbindung steht, während der andere bei *o* offen, oder mit einem nicht vollkommen schließenden Kork bedeckt ist. Der Unterschied in der Höhe des Quecksilbers in beiden Schenkeln wurde mittelst des Kathetometers *ABC* Fig. 1. gemessen.

Um die Temperatur des Quecksilbers in diesem Druckmesser überall gleich zu erhalten, ist derselbe mit dem Kasten *HIKL* umgeben, dessen eine Seitenwand Holz, die anderen drei aber Spiegelscheiben sind, und der oben durch einen Deckel leicht verschlossen ist. Er enthält zwei Thermometer, das eine unten, das andere oben, aus denen ich das Mittel nahm. In demselben Kasten war zugleich ein Heberbarometer *rst* aufgestellt, das dadurch stets dieselbe Temperatur als der Druckmesser hatte, und gleichfalls mittelst des Kathetometers abgelesen wurde.

Das Barometer war mit einem Normalbarometer verglichen worden. Uebrigens hatten beide, das Barometer und der Druckmesser *opq*, mehr als $\frac{1}{2}$ Zoll im innern Durchmesser, so daß keine Correction wegen der Capillardepression nöthig war; eben dies gilt auch von dem Rohre *abd* im Kasten, bei dem die Stücke *ad* und *be* Fig. 2., in welchen die Oberflächen des Quecksilbers beobachtet wurden, mehr als $\frac{1}{2}$ Zoll weit waren.

Als ich diese Versuche begann, veränderte sich das Quecksilber in dem Schenkel des Druckmessers pq , in dem die Luft verdünnt wurde, nach kurzer Zeit so sehr, daß es an den Wänden haftete und seine Oberfläche nicht mehr spiegelte. Ich sah bald, daß diese Veränderung durch die Wasserdämpfe veranlaßt war, die bei dem Verdünnen und Wiedereinlassen der Luft dorthin gelangten. Deshalb schaltete ich bei lm Fig. 1. eine Chlorcalciumröhre ein, wodurch dieser Uebelstand gänzlich beseitigt wurde.

Wenn man nicht für jede Ablesung das Fernrohr des Kathetometers besonders einstellen will, so müssen die verschiedenen zu beobachtenden Gegenstände in gleichen Entfernungen von demselben aufgestellt seyn. Dies ist auch mit dem Rohr abd in dem Kasten, so wie mit dem Druckmesser und dem Barometer der Fall. Das Luftthermometer hätte sich aber nicht ohne Schwierigkeit in derselben Entfernung anbringen lassen. Um dies gleichfalls mittelst des Kathetometers ablesen zu können, habe ich an dem Objectiv des Fernrohrs noch ein Convexglas angebracht, das sich leicht vorschlagen läßt. Hierdurch wurde es möglich das näherstehende Luftthermometer zu beobachten, ohne etwas anderes an dem Fernrohr zu ändern. ¹⁾

Das Verfahren bei den Versuchen war folgendes: Sobald die Temperatur in dem Kasten PQR constant war, was theils das Luftthermometer, theils zwei zu diesem Zweck angebrachte Quecksilberthermometer v und w Fig. 1. anzeigten, so wurde die Luft in den Röhren kg $cbln$ langsam verdünnt. Ein Gehülfe sah in den Kasten und gab den Moment an, wenn das Quecksilber in den beiden Schenkeln des Rohrs adb gleich hoch stand.

1) Es ist zwar möglich, daß durch das Vorschlagen des Glases die Achse des Fernrohrs ihre Richtung ein wenig ändert. Doch ist der vollkommene Parallelismus derselben auch nur erforderlich für die Ablesungen, welche entweder mit dem vorgeschlagenen Glase, oder für die welche ohne dasselbe gemacht werden.

Hierbei begegnete häufig ein Uebelstand, der mir viel Zeit und Mühe kostete. Es mußte nämlich das Rohr stets durch Klopfen bewegt werden, damit das Wasser und Quecksilber in dem geschlossenen Schenkel von dem Glase losliefs, aber häufig geschah dies dennoch nicht, selbst wenn die Verdünnung der Luft schon um mehrere, bisweilen sogar um 10 Zoll geringer geworden war, als die Spannkraft der Dämpfe bei der vorhandenen Temperatur. Dann fiel das Quecksilber plötzlich, die Wasserdämpfe entwickelten sich, und da ihre Spannkraft nun größer war als die der verdünnten Luft, so schleuderten sie das Quecksilber gewaltsam aus der Röhre adb heraus. Dadurch war nicht nur der ganze Versuch vernichtet, sondern es mußte auch die Röhre abd durch eine neue ersetzt werden; und zuweilen wurde das Quecksilber mit solcher Gewalt durch den ganzen Apparat geworfen, daß es bis in die Luftpumpe drang, so daß diese schleunig auseinander genommen werden mußte, wenn sie nicht durch Amalgamation leiden sollte. Um die Luftpumpe vor ähnlichen Unfällen zu bewahren, brachte ich in der Röhre gk bei h eine Kugel an, in der das Rohr kh mit einer nach oben gekrümmten Spitze endete. Hier mußte sich nun das Quecksilber ansammeln, wenn es auch mit noch so großer Gewalt in die Röhren getrieben wurde. Gegen das Anhaften des Quecksilbers und Wassers in der ausgekochten Röhre abd konnte ich indess kein Mittel finden. Ich brachte ein Stück eines polirten Eisendraths in dieselbe, bevor sie gebogen worden. Dieser schwamm nachdem das Quecksilber ausgekocht war, und ragte in das Wasser hinein, aber selbst mit diesem Drath trat die Erscheinung dennoch ein. Nur wenn ein Bläschen von Luft sich über dem Wasser angesammelt hatte, habe ich sie nicht beobachtet. Ich werde übrigens auf einige Folgerungen aus derselben nachher noch zurückkommen.

War das Quecksilber in dem geschlossenen Schen-

kel gesunken, so verging einige Zeit bis es einen constanten Stand annahm. Offenbar deshalb, weil der innere Raum durch die für die Dampfbildung nöthige latente Wärme abgekühlt wurde, und erst allmählig die Temperatur des umgebenden Mediums wieder annahm. War die Spannkraft der Dämpfe constant, so wurde die Angabe des Luftthermometers mittelst des Kathetometers abgelesen. Dann mittelst desselben Instrumentes der Unterschied der Quecksilberhöhen in der Röhre *abd* im Kasten, so wie die Höhe des Wassers in dem geschlossenen Schenkel gemessen; und eben so die Höhen des Quecksilbers in dem Druckmesser *opq* und dem Barometer *rst* Fig. 1 und 4.

Ein besonderer Vorzug des beschriebenen Apparats besteht darin, daß er nicht nur anwendbar ist für die Messung der Spannkräfte die geringer sind als der Druck der Atmosphäre, sondern auch für solche die höher sind. Es muß hierfür nur die Luftpumpe so eingerichtet seyn, daß man mit ihr nicht nur verdünnen, sondern auch verdichten kann, was die hier üblichen, mit dem sogenannten Graßmann'schen Hahn construirten Luftpumpen sehr leicht gestatten. Dann wird die Luft vor der Erwärmung des Kastens *SPR* verdichtet, und wenn die Temperatur constant ist, so lange Luft herausgelassen, bis ihre Spannkraft gleich der der Dämpfe ist. Auf diese Weise habe ich die Spannkräfte über 100° C. bestimmt. Ich war indess genöthigt die Caoutchoukröhren so einzurichten, daß sie durch den inneren Druck nicht ausgeblasen wurden. Bei Anwendung des erwähnten Druckmessers *opq* würde man nur bis zu einer Spannkraft von etwas mehr als zwei Atmosphären beobachten können. Wollte man noch höhere Spannkräfte messen, so brauchte man nur das Manometer gegen eines von der Art zu vertauschen, bei welchem der Druck durch die Veränderungen des Volumens einer Luftmasse angezeigt wird; auch würden die Caoutchouc- und Glasverbindungen durch

festen metallischen Verbindungen ersetzt werden müssen. Die Röhre *abd*, worin die Dämpfe erzeugt werden, wird man immer, so gut wie die Röhre des Manometers, von hinreichend haltbarem Glase erhalten können. Dann aber würde, wie mir scheint, diese Vorrichtung der vorzuziehen seyn, welche von den französischen Akademikern ¹⁾ angewandt worden, um die Spannkraft bei höheren Temperaturen zu messen. Denn diese letztere hat, wenn ich nicht irre, keine vollkommen genaue Resultate liefern können; weil die Dämpfe, da wo sie ihren Druck ausübten, trotz der angewandten Vorsichtsmaassregeln, keine so hohe Temperatur haben konnten, als im Kessel. Ist aber die Temperatur eines Raumes, worin Dämpfe enthalten sind, an verschiedenen Stellen verschieden, so wird ihre Spannkraft immer nur der niedrigsten, oder wenigstens nahe der niedrigsten Temperatur entsprechend seyn können, doch konnte bei der Untersuchung durch die Akademiker nur die Temperatur, im Kessel, also die höchste vorhandene Temperatur beobachtet und zu Grunde gelegt werden. Von diesem Umstande könnten auch die Abweichungen ihrer Resultate von den erst später durch das Comité des Franklin-Instituts in Pennsylvanien ²⁾ erhaltenen herrühren, wiewohl auch bei diesen nur die Temperatur im Kessel gemessen zu seyn scheint.

Die Berechnung der Spannkraft des Wasserdampfs aus den mittelst des erwähnten Apparats erhaltenen Beobachtungen ist so einfach, daß sie kaum der Erwähnung bedarf, ich will indess ein Beispiel geben.

Am 16. Juni 1843 zeigte das Barometer in dem Glaskasten *HKL* 759,4^{mm} bei 20° C. und der Druckmesser 436,1^{mm}. Die Differenz war also 323,3^{mm}. Diese reducirt auf 0° geben 322,26^{mm} für die Spannkraft der verdünnten Luft. In dem Kasten stand das Quecksilber in

1) *Annales de Chim. et de Phys. Tom. XLIII, p. 74.*

2) *Encyclopædia Britannica, Vol. XX, p. 588 Steam.*

dem Schenkel der Röhre abd , in welchem die Dämpfe waren, $1,65^{\text{mm}}$ höher als in dem andern. Hierzu kommt noch der Druck, den das Wasser in diesem Schenkel ausübte. Die Höhe desselben betrug $2,65^{\text{mm}}$, der Druck desselben war also gleich einer Quecksilbersäule von $0,20^{\text{mm}}$. Es war folglich die Spannkraft der Dämpfe um $1,85^{\text{mm}}$ geringer als die der verdünnten Luft; oder $= 320,41^{\text{mm}}$.

Die Temperaturen sind auf die absolute Ausdehnung der Luft bezogen und aus den Angaben des Luftthermometers nach der Formel berechnet, welche ich in der Abhandlung „Ueber die Ausdehnung der Luft in höheren Temperaturen“ dafür gegeben habe; ¹⁾ nämlich, mit Beibehaltung der dort gewählten Zeichen:

$$\theta = \frac{\frac{H' + h' - e}{H + h - e} - 1}{\alpha - \delta \frac{H' + h' - e}{H + h - e}}$$

worin θ die absolute Ausdehnung der Luft, ausgedrückt in Graden der hunderttheiligen Skale, bedeutet,

$H + h - e$ die Elasticität der in dem Thermometer enthaltenen Luft bei 0° ,

$H' + h' - e$ die Elasticität dieser Luft bei der Temperatur θ ,

δ die Ausdehnung des Glases und

α die absolute Ausdehnung der Luft für einen Grad der hunderttheiligen Skale (dort war diese durch $\frac{\alpha}{100}$ bezeichnet).

Die dort angebrachte Correction γ ist fortgelassen, weil sie für die hier vorkommenden Temperaturen einen nicht bemerkbaren Einfluss hat.

Für die Temperatur von 100° C. ist der Kochpunkt des Wassers unter dem Druck von 760^{mm} genommen,

1) Diese Annalen, LVII, 191.

abweichend von jener früheren Arbeit, wo der Kochpunkt unter dem Druck von 28 Zoll Par. zu Grunde gelegt ist. Ich habe hier das metrische Maafs vorgezogen, um eine leichtere Vergleichung meiner Werthe mit den durch Herrn Biot berechneten zu haben. Defshalb ist hier die absolute Ausdehnung der Luft von $0^{\circ} - 100^{\circ}$ oder $100\alpha = 0,36678$.

Als Mittel aus mehreren Beobachtungen hatte sich die anscheinende Ausdehnung für die in dem Thermometer enthaltene Luft von $0^{\circ} - 100^{\circ}$ C. zu 0,36394 ergeben, woraus $\delta = 0,0000208$ gefunden wird. ¹⁾

Auf diese Weise sind die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Beobachtungen erhalten worden, denen die nach der später pag. 246 angeführten Formel berechneten Werthe beigefügt sind.

No.	Temperatur.	Spannkkräfte beobachtet.	berechnet.	Differenz.	No.	Temperatur.	Spannkkräfte beobachtet.	berechnet.	Differenz.
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
1	-6°,61	2,75	2,75	0,00	22	+13°,06	10,48	11,17	+0,69
2	-5°,31	2,95	3,04	+0,09	23	13°,10	10,58	11,20	+0,62
3	-3°,64	3,45	3,45	0,00	24	16°,82	13,52	14,24	+0,72
4	-0°,99	4,15	4,21	+0,06	25	23°,30	21,80	21,29	-0,51
5	0°,00	4,59	4,525	-0,065	26	23°,43	21,82	21,38	-0,44
6	—	4,59	—	-0,065	27	23°,83	22,93	21,99	-0,94
7	—	4,44	—	+0,085	*28	23°,85	22,24	22,02	-0,22
8	—	4,54	—	-0,015	29	35°,95	43,96	44,15	+0,19
9	—	4,49	—	+0,035	30	43°,13	63,58	64,83	+1,25
10	—	4,49	—	+0,035	31	44°,89	71,01	71,02	+0,01
11	—	4,54	—	-0,015	*32	44°,90	71,20	71,06	-0,14
*	Mittel	4,525	—	—	33	45°,26	71,90	72,39	+0,49
12	+8°,01	7,93	7,97	+0,04	34	45°,46	73,14	73,13	-0,01
13	8°,05	8,07	7,99	-0,08	*35	45°,70	73,74	74,04	+0,30
14	8°,05	8,22	7,99	-0,23	36	45°,77	73,94	74,31	+0,37
*15	11°,34	9,43	9,97	+0,54	37	51°,19	96,35	97,54	+1,19
16	11°,36	9,38	9,99	+0,51	38	51°,36	96,48	98,36	+1,88
17	11°,93	9,88	10,37	+0,59	39	52°,12	101,40	102,12	+0,72
*18	11°,98	9,88	10,41	+0,53	40	54°,16	110,16	112,73	+2,27
19	12°,07	9,93	10,47	+0,54	41	54°,24	111,79	113,17	+1,18
20	12°,72	9,88	10,61	+0,73	42	54°,54	113,10	114,81	+1,71
21	12°,31	10,28	10,64	+0,36	43	54°,64	113,57	115,37	+1,80

No.

1) Diese Annalen, LV, 17.

No.	Temperatur.	Spannkräfte		Differenz.	No.	Temperatur.	Spannkräfte		Differenz.
		beobachtet.	berechnet.				beobachtet.	berechnet.	
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
44	54°,70	114,55	115,70	+1,15	78	84°,29	421,61	420,35	-1,26
*45	54°,74	114,65	115,92	+1,27	79	84°,56	426,65	424,86	-1,79
46	54°,80	115,15	116,26	+1,11	80	84°,68	427,60	426,88	-0,72
47	54°,83	115,35	116,42	+1,07	81	84°,99	428,89	432,13	+3,24
48	55°,39	118,61	119,59	+0,98	82	85°,12	431,05	434,34	+3,29
49	55°,39	118,86	119,59	+0,73	83	85°,32	434,44	437,77	+3,33
50	55°,56	118,93	120,57	+1,64	84	85°,91	444,69	448,02	+3,33
51	58°,19	135,45	136,55	+1,10	85	86°,21	450,64	453,31	+2,67
52	58°,68	139,13	139,72	+0,59	86	86°,23	450,54	453,67	+3,13
53	72°,59	258,28	260,00	+1,72	87	86°,29	449,90	454,73	+4,83
54	72°,95	265,34	264,02	-1,32	88	86°,29	450,04	454,73	+4,69
55	73°,19	269,74	266,72	-3,02	89	86°,29	450,70	454,73	+4,03
56	74°,00	274,63	276,03	+1,40	90	86°,33	452,05	455,44	+3,39
57	74°,08	275,60	276,96	+1,36	91	88°,79	504,27	501,00	-3,27
58	74°,13	276,53	277,55	+1,02	92	89°,05	506,96	506,03	-0,93
59	74°,47	281,57	281,55	-0,02	93	89°,64	518,07	517,61	-0,46
*60	74°,83	284,97	285,84	+0,87	*94	90°,80	542,54	541,01	-1,53
61	75°,36	288,99	292,27	+3,28	95	91°,34	553,03	552,20	-0,83
62	75°,63	290,72	295,59	+4,87	*96	91°,81	563,50	562,10	-1,40
63	76°,26	300,44	303,46	+3,02	97	93°,57	601,56	600,51	-1,05
64	76°,74	309,55	309,58	+0,03	98	93°,66	601,08	602,53	+1,45
65	76°,79	308,97	310,22	+1,25	99	93°,66	601,78	602,53	+0,75
66	77°,47	320,41	319,08	-1,33	100	97°,85	708,50	703,15	-5,35
67	77°,70	321,01	322,12	+1,11	101	98°,40	722,91	717,35	-5,56
68	78°,33	330,13	330,58	+0,45	102	98°,90	736,90	730,46	-6,44
69	78°,72	332,01	335,91	+3,90	103	99°,03	739,40	733,90	-5,50
70	81°,77	379,54	380,17	+0,63	104	99°,39	743,56	743,49	-0,07
71	81°,89	382,18	382,01	-0,17	105	99°,40	743,10	743,76	+0,66
72	81°,95	385,34	382,93	-2,41	106	99°,47	745,22	745,64	+0,42
73	82°,12	384,33	385,55	+1,22	107	99°,66	746,99	750,76	+3,77
74	82°,12	385,85	385,55	-0,30	108	100°,52	780,06	774,29	-5,77
*75	82°,25	387,15	387,56	+0,41	109	100°,87	779,73	784,07	+4,34
76	82°,84	397,82	396,81	-1,01	110	104°,64	901,70	895,83	-5,87
77	84°,26	420,37	419,85	-0,52	111	104°,68	904,15	897,08	-7,07

Es mag auffallend erscheinen, daß die Beobachtungen noch so große Schwankungen darbieten. Allein wenn man bedenkt, daß 0°,1 C., wenigstens in den Temperaturen über 50° C., schon einen Unterschied der Spannkraft von etwa 2^{mm} bedingt, so möchte schwerlich eine größere Genauigkeit zu erwarten seyn. Zwar ist es möglich die Angaben des Luftthermometers bis auf 0°,01 C. genau zu erhalten, aber die möglichen Fehler bei diesen Angaben machen so geringe Temperaturunterschiede unsicher.

Außer solchen in der Beobachtung der Temperatur begründeten Fehlern giebt die Methode selbst noch zu folgenden anderen Veranlassung. Zunächst ist das Einstellen eines Fernrohrs auf eine Quecksilberkuppe durch Spiegelung stets unsicher. Dann bleibt bei der Führung des Fernrohrs längs des Kathetometers die Achse desselben nicht vollkommen parallel. Diesen letzteren Uebelstand habe ich dadurch geringer gemacht, daß ich das Fernrohr immer zu hoch einstellte, dann an das Kathetometer festklemmte, und mittelst der Mikrometerschraube allmählig herabliefs, bis der Faden die Quecksilberkuppe berührte, überhaupt die Mikrometerschraube beim Einstellen immer in demselben Sinne wirken liefs. Mit dieser Vorsicht betrug die Summe der Fehler aller sieben zu einer Beobachtung gehörenden Ablesungen nicht mehr als höchstens $0,15^{\text{mm}}$, innerhalb welcher Grenze alle bei 0° angestellten Versuche fallen. Ferner könnten die Beobachtungen dadurch fehlerhaft seyn, daß es mir nicht gelungen ist das angewandte Wasser vollständig von Luft zu befreien; weder durch ununterbrochenes und lange fortgesetztes Kochen, noch auch dadurch, daß ich es noch fast kochend durch das Quecksilber in die Höhe steigen liefs. Dieselbe Schwierigkeit hat auch schon Watt und nach ihm Southern erfahren. ¹⁾ Bei gewöhnlicher Temperatur war unter dem Druck der Atmosphäre zwar keine Luft sichtbar, aber wenn durch Verminderung des Drucks und Temperaturerhöhung die Dämpfe sich gebildet hatten, so blieb nach erfolgter Abkühlung ein Luftbläschen über dem Wasser zurück, das indess unter dem Druck der Atmosphäre nur etwa $0,5^{\text{mm}}$ im Durchmesser hatte. Nach einigen Stunden war dasselbe stets verschwunden und vom Wasser absorbirt. Wenn dann der Versuch wieder begann, so zeigte sich gewöhnlich die oben erwähnte plötzliche Dampfbildung.

1) Robison, *System of Mech. Phil.* II, 31 und 170.

Da der Raum, der von den Dämpfen in dem Rohre *abd* eingenommen wurde, in meinen Versuchen nie kleiner als 7 Cub. Cent. war, so nahm das Luftbläschen bei 0° und dem Druck einer Atmosphäre höchstens 0,00001 dieses Raumes ein. Es konnte daher die Spannkraft des Dampfes hierdurch selbst bei 105° C., der höchsten angewandten Temperatur, kaum um 0,000014 zu groß ausfallen.

Endlich liegt die vorzüglichste Fehlerquelle dieser Versuche darin, daß es nicht möglich ist das Luftthermometer und die Dämpfe absolut derselben Temperatur auszusetzen. Daher weichen die Beobachtungen bei 0°, die im schmelzenden Eise gemacht wurden, wo also die Temperatur ganz constant blieb und kein Luftthermometer nöthig war, so wenig von einander ab.

Vergleicht man die gefundenen Werthe mit Dalton's älteren Angaben, die theils durch die Beobachtung des Kochpunkts unter der Glocke der Luftpumpe, und theils durch direkte Messung der Spannkräfte entstanden sind, oder mit der von Biot auf Grund derselben berechneten Tabelle, so sieht man, daß sie von diesen so abweichen, daß die von mir beobachteten Spannkräfte in den niederen Temperaturen durchweg kleiner sind, ebenso auch in den höheren von 88° C. aufwärts, während sie in den mittleren größer ausfallen.

Wiewohl die Spannkraft bei 0° durch die Uebereinstimmung der verschiedenen Beobachtungen verbürgt ist, so weicht dieselbe doch nicht unbedeutend von den Angaben aller früheren Beobachter ab; und wenn auch die Spannkräfte der in der Nähe von 0° liegenden Temperaturen eine Bestätigung dafür darbieten, daß dieselbe niedriger seyn müsse als man bisher angenommen hat, so ist doch gerade diese Beobachtung für die Aufstellung einer Interpolationsformel von so großer Wichtigkeit, daß es mir wünschenswerth schien dieselbe noch nach einer andern Methode zu prüfen. Ich wählte deshalb die frü-

here wie sie von Gay Lussac ausgeführt worden; überzeugte mich aber, wie viel bei derselben auf die Berücksichtigung der Capillarität ankomme, wenn man genaue Resultate erhalten will.

Es wurde eine Barometerröhre angewendet, die in ihrem oberen Theile rechtwinklig gebogen war, ganz so wie sie Gay Lussac benutzt hat, nur war dieselbe in der Höhe, in welche die Oberfläche des Quecksilbers fiel, mehr als 0,5 Zoll weit, so dafs hier keine Capillardepression stattfand. Nachdem in den leeren Raum etwas gut ausgekochtes Wasser eingelassen war, wurde der horizontale Theil der Röhre mit Eis umgeben, um dadurch alles Wasser in diesen überdestilliren zu lassen. Dann wurde auch der vertikale Theil des Raumes, in dem die Dämpfe waren, mit Eis umgeben (wiewohl dieß überflüssig war), und darauf die Höhe mit dem Kathetometer abgelesen. Aber hier zeigte sich eben die Schwierigkeit, die Oberfläche in dem Gefäfse zu beobachten. Die verschiedenen Beobachtungen fielen theils niedriger theils höher aus als 4,525, doch erreichten sie niemals den früher angenommenen Werth 5,06. Das Mittel aus denselben würde 4,62 seyn, ich ziehe indess die nach meiner Methode gefundene Zahl 4,525^{mm} vor, weil die einzelnen Beobachtungen geringere Abweichungen darbieten.

Um aus den beobachteten Werthen die Spannkraft für die ganzen Grade der Temperatur berechnen zu können, bedurfte es einer Interpolationsformel. Wenn man das Gesetz für die Abhängigkeit der Spannkraft von der Temperatur und allen anderen dabei in Betracht kommenden Gröfsen kannte, so würde man eine theoretische Formel aufstellen können, die gewifs allen anderen vorzuziehen wäre. Aber leider ist dieses Gesetz bis jetzt nicht bekannt. Roche hat eine solche theoretische Formel zu geben versucht, doch sagt der Berichterstatter

der französischen Commission ¹⁾ von den Betrachtungen die ihr zu Grunde liegen, dafs sie sich nicht des Beifalls der Physiker erfreuen könnten. In neuerer Zeit hat Wrede ²⁾ gleichfalls eine theoretische Formel aufgestellt, allein so sinnreich die Herleitung derselben auch ist, so beruht sie doch auf einigen Hypothesen, die noch nicht hinreichend begründet sind. Ich glaubte deshalb mich mit einer rein empirischen Formel begnügen zu müssen, d. h. mit einer solchen, welche die Werthe der Beobachtungen hinreichend genau wiedergiebt.

Man besitzt gegenwärtig schon eine aufserordentlich grofse Anzahl von Formeln für denselben Zweck. Dafs keine von diesen für meine Beobachtungen passen könne, da ihre Coëfficienten aus anderen Beobachtungen bestimmt sind, ist einleuchtend, aber es fragte sich, welche Form dieser verschiedenen Gleichungen ihnen wohl am besten entsprechen möchte.

Mehrere Prüfungen der von La Place aufgestellten und von Biot ³⁾ veränderten Form der Gleichung, welche die Spannkkräfte durch eine Reihe ausdrückt, die nach steigenden Potenzen der Temperaturen geordnet ist; so wie der von Egen ⁴⁾ aufgestellten, welche die Temperatur durch eine Reihe ausdrückt, die nach steigenden Potenzen des Logarithmus der Spannkraft geordnet ist, haben gezeigt, dafs diese Formen nur dann mit den Beobachtungen in Uebereinstimmung zu bringen sind, wenn sämtliche Beobachtungen zur Bestimmung der Coëfficienten benutzt werden. Die Form aber, welche von den französischen Akademikern, von Th. Young, Creighton, Southern, Tredgold und Coriolis, und auch in neuester Zeit von dem Bearbeiter des Artikels *Steam* in

1) *Annales de Chim.* XLIII, 105.

2) Diese Annalen, LIII, 223.

3) Biot, *Traité*, I, 273.

4) Diese Annalen, XXVII, 9.

der *Encyclopaedia Britannica* angewandt ist, und in der die Spannkraft gleich einer Potenz der um eine constante Zahl vermehrten Temperatur multiplicirt mit einem constanten Factor ist, entspricht ihnen, welchen Potenzexponent man auch annehmen mag, weniger gut als die von Roche, August ¹⁾ und Strehlke vorgeschlagene Form, welche auch zugleich die ist, zu welcher die theoretischen Betrachtungen von Wrede geführt haben, und bei der die Spannkraft ausgedrückt ist, durch eine constante Zahl, multiplicirt mit einer andern constanten Zahl, welche in eine Potenz erhoben ist, deren Exponent die Temperatur in Zähler und Nenner enthält, so dafs wenn

e die Spannkraft des Dampfes bedeutet, ausgedrückt in Millimetern, und

t die Temperatur in Graden der hunderttheiligen Skale

$$e = a \cdot b^{\frac{t}{\gamma + t}}$$

ist. Deshalb habe ich diese Form der Gleichung gewählt.

Für $t=0$ wird $e=a=4,525^{\text{mm}}$.

$$\frac{100}{\gamma + 100}$$

Für $t=100$ wird $e=760^{\text{mm}}=4,525 \cdot b$

Diese Gleichung giebt eine Relation zwischen b und γ , und es ist nun nur noch übrig eine von diesen beiden Gröfsen aus den Beobachtungen zu bestimmen. Ich habe zu dem Ende die zehn Beobachtungen ausgewählt, die mit einem * in der Tabelle pag. 240 bezeichnet sind, und aus diesen ist γ nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, wodurch sich ergeben hat $\gamma=234,69$ und $\log b=7,4475$. So dafs man erhält

$$e = 4,525 \cdot 10^{\frac{7,4475 t}{234,69 + t}}$$

1) Diese Annalen, XIII, 122 und LVIII, 334.

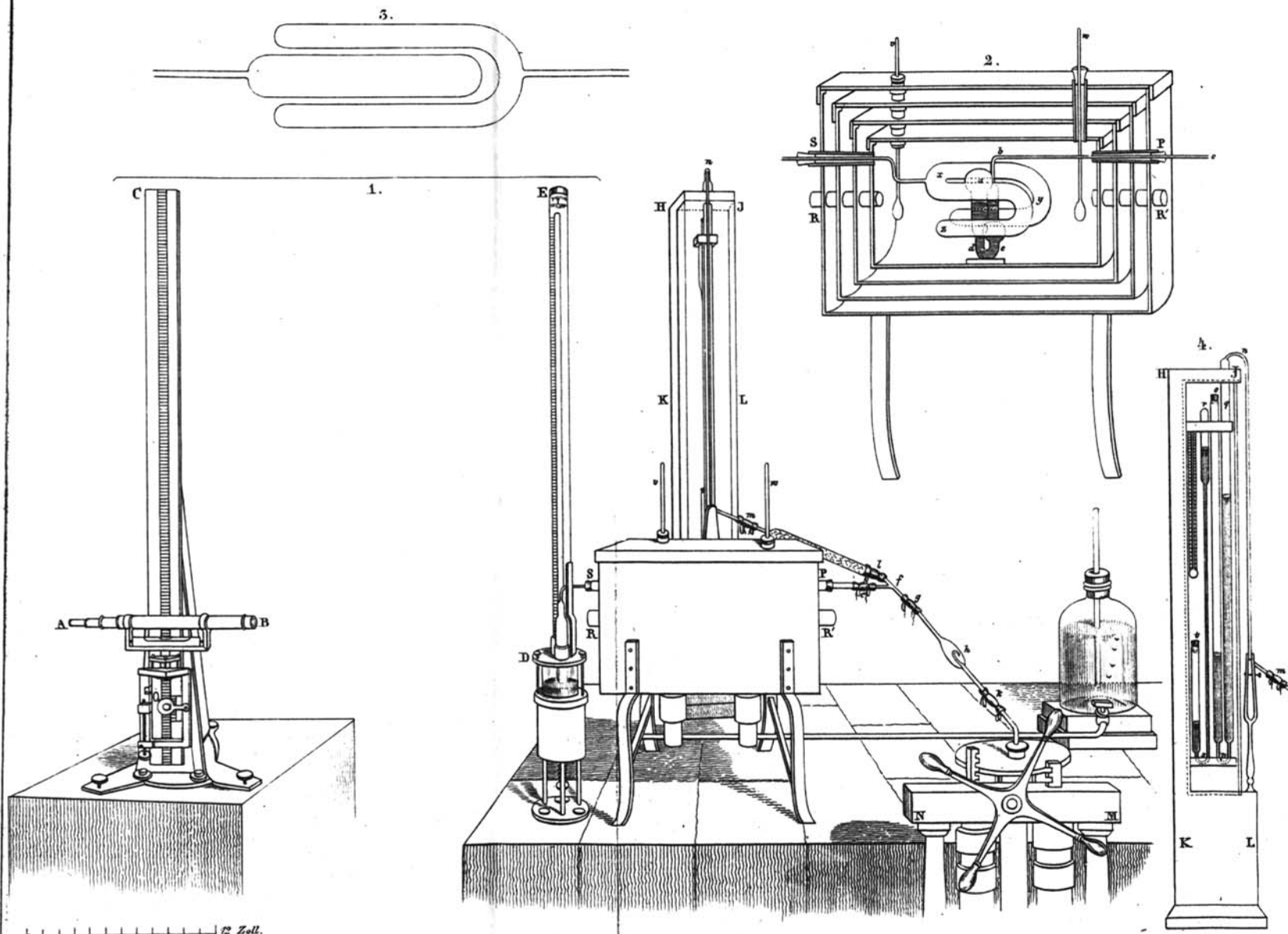
Zum Vergleich habe ich in der oben pag. 240 gegebenen Tabelle die nach dieser Formel berechneten Werthe von e den Beobachtungen beigefügt. Die folgende Tabelle enthält die nach derselben Formel berechneten Spannkkräfte für alle ganzen Grade von -20° bis $+118^{\circ}$ C.

Tafel der Spannkkräfte berechnet nach der Formel

$$e = \frac{7,4475 \, t}{234,69 + t} \text{ mm}$$

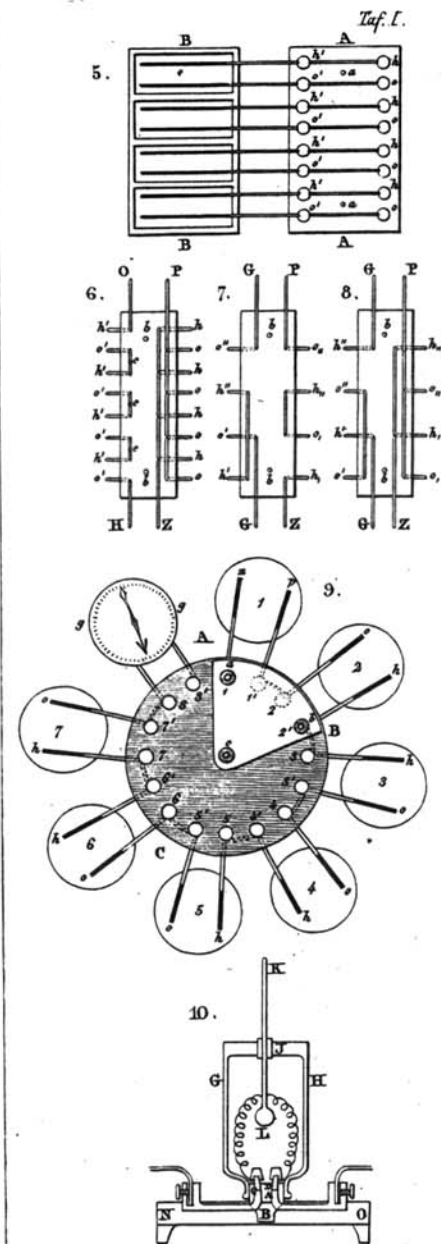
$$e = 4,525 \cdot 10$$

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
$^{\circ}$ C.	mm	$^{\circ}$ C.	mm	$^{\circ}$ C.	mm	$^{\circ}$ C.	mm	$^{\circ}$ C.	mm
-20	0,916	+8	7,964	36	44,268	64	178,397	92	566,147
-19	0,999	9	8,525	37	46,758	65	186,601	93	587,836
-18	1,089	10	9,126	38	49,368	66	195,124	94	610,217
-17	1,186	11	9,751	39	52,103	67	203,975	95	633,305
-16	1,290	12	10,421	40	54,969	68	213,166	96	657,120
-15	1,403	13	11,130	41	57,969	69	222,706	97	681,683
-14	1,525	14	11,882	42	61,109	70	232,606	98	707,000
-13	1,655	15	12,677	43	64,396	71	242,877	99	733,100
-12	1,796	16	13,519	44	67,833	72	253,530	100	760,000
-11	1,947	17	14,409	45	71,427	73	264,577	101	787,718
-10	2,109	18	15,351	46	75,185	74	276,029	102	816,273
-9	2,284	19	16,345	47	79,111	75	287,898	103	845,683
-8	2,471	20	17,396	48	83,212	76	300,193	104	875,971
-7	2,671	21	18,505	49	87,494	77	312,934	105	907,157
-6	2,886	22	19,675	50	91,965	78	326,127	106	939,260
-5	3,115	23	20,909	51	96,630	79	339,786	107	972,296
-4	3,361	24	22,211	52	101,497	80	353,926	108	1006,300
-3	3,624	25	23,582	53	106,572	81	368,558	109	1041,278
-2	3,905	26	25,026	54	111,864	82	383,697	110	1077,261
-1	4,205	27	26,547	55	117,378	83	399,357	111	1114,268
0	4,525	28	28,148	56	123,124	84	415,552	112	1152,321
+1	4,867	29	29,832	57	129,109	85	432,295	113	1191,444
+2	5,231	30	31,602	58	135,341	86	449,603	114	1231,660
+3	5,619	31	33,464	59	141,829	87	467,489	115	1272,986
+4	6,032	32	35,419	60	148,579	88	485,970	116	1315,462
+5	6,471	33	37,473	61	155,603	89	505,060	117	1359,094
+6	6,939	34	39,630	62	162,908	90	524,775	118	1403,915
+7	7,436	35	41,893	63	170,502	91	545,133		



12 Zoll.

Gründel sc.



Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 61. St. 2.