V. *Ueber die Spannkraft des Wasserdampfs;
von Hrn. V. Regnault.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 273.*)

Die theoretische Berechnung der von Dampfmaschinen geleisteten Arbeit erfordert die Kenntniß einer gewissen Anzahl physikalischer Gesetze und Angaben, die bisher noch bei weitem nicht sicher festgestellt worden sind. Die hauptsächlichsten dieser Daten sind:

1) Die Spannkraft des Wasserdampfs für verschiedene Temperaturen.

2) Die Wärmemenge, die in einem gegebenen Gewicht Wasserdampf, bei Sättigung, unter verschiedenem Druck enthalten ist, oder genauer diejenige, welche ein Kilogramm Wasserdampf bei *Sättigung* unter verschiedenem Druck abgibt, wenn es auf flüssiges Wasser von 0° zurückgeführt wird.

3) Die spezifische Wärme des flüssigen Wassers für verschiedene Temperaturen.

4) Die Dichtigkeit des Wasserdampfs bei Sättigung unter verschiedenem Druck.

Das erstere dieser Gesetze, das der Spannkraft des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen, ist das einzige, welches bisher durch die schönen Versuche der HH. Dulong und Arago auf eine genaue Weise festgesetzt wurde ¹⁾. Die übrigen können als gänzlich unbekannt betrachtet werden. Die in der Praxis gebräuchlichen sind nach bloßer Induction angenommen, indem man die für die Gase angenähert bekannten Gesetze auf die Dämpfe anwandte, oder dieselben nach empirischen Resultaten, welche fast immer aus unvollständigen und

1) Die Arbeit von Magnus (*Ann. Bd. 61, S. 225*) war dem Verfasser zur Zeit, da er diese Abhandlung schrieb, noch nicht bekannt. P.

und unsichern Versuchen abgeleitet waren, ein wenig abänderte.

Der unbestreitbare Nutzen, welchen die Vervollkommnung unserer Kenntnisse von der Theorie der Dämpfe darbietet, hat mich veranlaßt, an die Lösung dieser verschiedenen Aufgaben zu gehen, deren Schwierigkeiten mir zwar nicht unbekannt sind, mir aber doch nicht unübersteiglich scheinen. An der Ausführung dieses Projectes würde ich durch die bedeutenden Kosten der Apparate gänzlich verhindert worden seyn, wenn nicht der Hr. Minister der öffentlichen Arbeiten, auf den Antrag der Centralcommission für Dampfmaschinen, mit einer Gewogenheit, die alle Freunde der Wissenschaften zu würdigen wissen werden, die hiezu nöthigen Geldmittel zu meiner Verfügung gestellt hätte.

Ich habe mir vorgenommen, nach und nach in einer Reihe von Abhandlungen die bei diesen Untersuchungen erlangten Resultate zu veröffentlichen, ohne mich jedoch dabei an eine bestimmte Ordnung zu binden, mir vorbehaltend, später, wenn die Untersuchungen hinlänglich vorgeückt sind, das Ganze meiner Arbeit zusammenzufassen.

In dieser ersten Abhandlung beschäftige ich mich mit der Spannkraft des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen.

Die Spannkräfte des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen haben eine so grofse Zahl von Physikern beschäftigt, dafs man glauben könnte, es müßten über die numerischen Werthe nur noch geringe Unsicherheiten vorhanden seyn. Dem ist aber nicht so, wovon man sich durch den Vergleich der von den verschiedenen Experimentatoren veröffentlichten Resultate leicht überzeugen kann; man bemerkt grofse Unterschiede, selbst innerhalb der atmosphärischen Temperaturen, und es ist unmöglich zu unterscheiden, welche Zahlen den Vorzug verdienen. Ich werde mich nicht bei der Geschichte dieser Untersuchungen aufhalten, da die wich-

tigsten derselben allen Physikern bekannt sind; ich werde sogleich zur Auseinandersetzung meiner eignen Versuche übergehen.

Um ein physikalisches Datum mit einiger Genauigkeit festzustellen, reicht es nicht hin, dasselbe durch eine einzige experimentelle Methode aufzusuchen. Steht das so erhaltene Resultat im Widerspruch mit denen, die schon in der Wissenschaft vorhanden sind, so ist es oft schwer zu entscheiden, welches den Vorzug verdiene; man hat dann, um sich bei der Auswahl leiten zu lassen, nur die mehr oder weniger günstige Meinung, die man etwa von dem angewandten Verfahren hegt, oder das mehr oder weniger grofse Zutrauen, welches die Geschicklichkeit des Experimentators einflöfst. Es ist nothwendig, die Versuche nach verschiedenen Methoden anzustellen, sogar die Verfahungsweisen anzuwenden, welche von den früher mit derselben Aufgabe beschäftigt gewesenen Physikern angewandt wurden, wenigstens wenn sie nicht gänzlich fehlerhaft sind. Man mufs sehen, ob alle diese Resultate, bei zweckmäfsiger Ausführung, zu demselben Resultate führen, oder, wenn dem nicht so ist, mufs man durch directe Versuche beweisen, worin die Fehlerquelle der früheren Methoden lag.

Dieser Weg ist nothwendig lang und mühsam, aber er allein scheint mir geeignet, sichere, durch spätere Versuche nicht mehr in bedeutender Weise abgeändert werdende Zahlenwerthe in die Physik einzuführen. Ich habe gesucht, diese Methode bei meinen Versuchen über die Wärmecapacität der Körper und über die Ausdehnung der elastischen Flüssigkeiten zu befolgen, und man wird sie auch bei den Untersuchungen antreffen, die ich gegenwärtig über die Spannkräfte der Wasserdämpfe veröffentliche.

I. Fast alle Versuche, welche die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfs bei niederen Temperaturen zum Zweck hatten, sind so angestellt worden, dafs

man zwei Barometer in ein und dasselbe Quecksilbergefaß stellte, und in das Vacuum des einen eine kleine Portion Wasser brachte. Der Höhenunterschied dieser beiden, sonst unter gleiche Umstände versetzten Barometer giebt die Spannung des Wasserdampfs für die jeweilige Temperatur. Die größte Unsicherheit bei diesem Verfahren liegt in der Schwierigkeit, die Temperatur zu bestimmen, welche der beobachteten Spannung entspricht. Die meisten der Physiker, welche diese Methode innerhalb der Gränzen der atmosphärischen Temperaturen anwandten, begnügten sich damit, neben den Barometern, in der Höhe der Kammer, ein Quecksilber-Thermometer aufzuhängen, dessen Angaben sie als die der Spannung entsprechenden Temperatur betrachteten. Solchergestalt hat Kaemtz zwei Jahre hindurch eine lange Reihe von Beobachtungen der Spannkkräfte zwischen -19° und $+26^{\circ}$ angestellt ¹⁾.

Dasselbe Verfahren wurde von mehreren Physikern für Temperaturen höher als die der Atmosphäre angewandt. In diesem Fall waren die beiden Barometer von einer mit Wasser gefüllten Glashülle umschlossen, deren Temperatur successiv erhöht ward. Dalton brachte das feuchte Barometer in eine zweite Röhre, verschloß diese unten durch einen das Barometer durchlassenden Kork, und füllte den Zwischenraum beider Röhren mit Wasser, welches folgeweise auf verschiedene Temperaturen gebracht ward. Diefs Verfahren ist nur wenig Genauigkeit fähig, denn es ist unmöglich, eine flüssige Säule von einiger Höhe in gleichförmiger Temperatur zu erhalten, ohne die Flüssigkeit beständig umzurühren, und bei den Versuchen von Dalton war kein Mittel vorhanden, die Temperatur so lange stationär zu erhalten, daß die Quecksilbersäule mit der umgebenden Flüssigkeit in Temperaturgleichgewicht kam.

Ich habe nach dieser Methode einige Versuche ge-

1) Lehrbuch der Meteorologie, Bd. I, S. 290.

macht, um zu sehen, bis wie weit sie genaue Resultate gebe.

Ein trocknes und ein benäfftes Barometer, beide in ein und dasselbe Quecksilbergefaß getaucht, wurden an einem vollkommen lothrechten und in Centimeter getheilten Metallstab aufgerichtet. Das Quecksilbergefaß stand in einem gußeisernen Topf von 26 Centm. Durchmesser, auf dessen Boden eine 6 bis 7 Centm. hohe Quecksilberschicht gegossen war, die sich nicht mit dem Quecksilber des barometrischen Gefäßes mischen konnte. Eine Glas-hülle von 23 Centm. Durchmesser und 1 Meter Höhe umgab beide Barometer. Diese Hülle wurde mit Wasser gefüllt; dasselbe drückte das Quecksilber im Topf hinab, und zwang es, in dem ringförmigen Raum zwischen der Hülle und der Innenwand des Topfs emporzusteigen. Ein Quecksilber-Thermometer hing im Wasser der Hülle neben den barometrischen Kammern; endlich erlaubte ein auf- und abzuführender Rührstab mit Flügeln das Wasser der Hülle seiner ganzen Höhe nach umzurühren. Der Topf stand auf einem eisernen Dreifuß, unter welchen ein Ofen gestellt wurde, um die Temperatur des Wassers langsam zu heben. Die Spannkraft des Wasserdampfs ward in jedem Fall durch den Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen gegeben, nachdem der Stand des benäfften Barometers wegen der dünnen Wasserschicht auf demselben berichtigt worden.

Das in das Barometer gebrachte Wasser muß vollkommen luftfrei seyn. Um diese Bedingung zu erfüllen, nahm ich aus dem wohl ausgekochten und an dem offenen, etwas ausgezogenen Ende des noch heißen Barometers eine kleine Menge Quecksilber fort, und ersetzte es durch siedendes Wasser, welches eine halbe Stunde lang ausgekocht worden war. Ich setzte dann sogleich einen Finger auf die Oeffnung, und kehrte das Barometer um. Um mich zu überzeugen, daß die Bedingung der Einführung von luftfreiem Wasser wirklich erfüllt sey, ließ ich das

Barometer bis zum andern Morgen stehen, und neigte es dann rasch, um das barometrische Vacuum zu vernichten. Wie wenig Luft auch in der Kammer geblieben war, so gewahrte man doch ein Bläschen, das einige Zeit verweilte, bis es vom Wasser wiederum gelöst ward. Erst nach mehren fruchtlosen Bemühungen gelang es, feuchte Barometer luftfrei darzustellen.

Der Höhenunterschied beider Säulen wurde durch ein Kathetometer gemessen. Die Anwendung dieses Instruments kann hier zu bedeutenden Fehlern Anlaß geben, wenn man nicht die Ablenkungen berichtigt, welche die Strahlen, vermöge der Unregelmäßigkeiten des geblasenen Glases der Hülle, durch Refraction erleiden. Um diese Ablenkungen kennen zu lernen, und sie nach Bedürfnis zu berichtigen, sind die beiden Barometer der Länge nach mit einer lothrechten, in Centimeter getheilten Metalleiste versehen. Man mißt die Abstände dieser Theilstriche mit dem Kathetometer, wenn die Hülle noch nicht dazwischen gesetzt ist; man thut dasselbe, nachdem die Hülle hingestellt und mit Wasser gefüllt ist, und versichert sich, ob die Striche noch dieselben Abstände haben. Im Fall die Abstände nur wenig geändert worden, ist es leicht, die Verschiebungen in Rechnung zu ziehen, und darnach die beobachteten Höhen zu berichtigen. An meinem Apparat zeigte die Glashülle sehr große Unregelmäßigkeiten, und ich hielt es nicht für rathlich, mich derselben zu bedienen, da an den beobachteten Höhen sehr bedeutende Berichtigungen hätten angebracht werden müssen, und sie folglich eine große Unsicherheit mit sich geführt haben würden.

Ich nahm statt der Glashülle eine Blechhülle von gleichem Durchmesser, unten cylindrisch und oben in einem quadratischen Kasten endend, an dem zwei gegenüberstehende Seiten durch zweckmäßig gewählte Plangläser gebildet waren. Die auf der Leiste gezogenen Striche hatten nun denselben scheinbaren Abstand, sie

mochten geradezu oder durch das Wasser der Hülle betrachtet werden.

Um die Temperatur zu erhöhen, stellte man einen Ofen unter den Topf, und rührte das Wasser der Hülle von Zeit zu Zeit um. Wenn man der Temperatur, bei welcher man beobachten wollte, nahe kam, so nahm man den größten Theil der Kohlen fort, und rührte das Wasser in der Hülle fortwährend um, bis das neben der barometrischen Kammer befindliche Thermometer nicht mehr stieg; dazu war eine sehr lange Zeit erforderlich; im Moment des Maximums maafs man den Höhenunterschied beider Säulen. Um einen zweiten Versuch anzustellen, brachte man wieder brennende Kohlen in den Ofen, so dafs das Thermometer abermals zum Steigen kam; sobald diefs der Fall war, nahm man die Kohlen fort, und verfuhr wie vorhin. So erhielt man zwei Bestimmungen für sehr benachbarte Temperaturen.

Diese Methode giebt sehr genaue Resultate für gleiche oder wenig höhere Temperaturen, als die der Umgebung; allein sie ist nicht mehr streng für etwas höhere Temperaturen. Das Wasser zertheilt sich dann leicht in Schichten von verschiedener Temperatur, und die Gleichförmigkeit der Temperatur erreicht man nur durch ein fortwährendes und rasches Umrühren; sobald dieses aufhört, um dem Beobachter die Messung des Höhenunterschiedes der Quecksilbersäulen zu erlauben, beginnt sogleich die Sonderung der Schichten, und die Bestimmungen wurden unsicher. Nach dieser Methode habe ich über die Spannkraft des Wasserdampfs zwischen $+10^{\circ}$ und $+30^{\circ}$ C., Temperaturen, die sich in jedem Fall nur wenig von der der Umgebung entfernten, eine ziemlich grofse Zahl von Bestimmungen gemacht. Ich bringe sie hier nicht bei, da sie identisch sind mit denen, die ich weiterhin geben werde, und, meiner Meinung nach, mit zweckmäfsigern Apparaten angestellt sind.

Eine andere Reihe machte ich mittelst des Apparats

von zwei Barometern, einem trocknen und einem benäfs-
ten, wobei die beiden Quecksilbersäulen nicht mehr ihrer
ganzen Länge nach erhitzt wurden.

Zwei möglichst ähnliche Barometer von 14 Millimet.
innerem Durchmesser sind neben einander an einem Brette
 PP' aufgestellt (Taf. II, Fig. 1). Diese Barometer gehen
durch die beiden Tubulaturen ab eines Kastens von ver-
zinktem Eisenblech $VV'V''$, und werden in denselben
mittels Kautschuck festgehalten. Der Kasten $VV'V''$,
dessen horizontaler Durchschnitt in Fig. 3 dargestellt ist,
hat an einer seiner Seiten eine rechteckige Oeffnung
 $EFGH$, um welche ein eiserner Rahmen befestigt ist.
An diesem Rahmen wird vermittelt eines zweiten, dem
ersteren ähnlichen Rahmen $E'F'G'H'$ ein Parallelglas
gelegt, und daran mittelst einer Schraube befestigt. Eine
nach der Form dieser Rahmen geschnittene Kautschuck-
tafel wird zwischen das Glas und den Rahmen $EFGH$
gelegt, um den Verschluss dicht zu machen. Diese Ein-
richtung gestattet, das Glas fortzunehmen und mit der
größten Leichtigkeit wieder einzusetzen. Die beiden Ba-
rometer tauchen in dieselbe Wanne U . Der Blechka-
sten faßt ungefähr 45 Liter, und steht auf einem eiser-
nen Gestell $TT'T''$.

Um zu sehen, ob die Dazwischensetzung des Glases
und des den Kasten füllenden Wassers eine Ablenkung
der Lichtstrahlen bewirke, welche die Messung der Ni-
veaux mittelst des Kathetometers fehlerhaft mache, zog
ich zuvor auf das trockene Barometer, etwa in der Höhe,
wo gewöhnlich das Quecksilber stehen blieb, einen hori-
zontalen sehr feinen Strich, und auf das benäfsste Barome-
ter eine Theilung in Centimeter. Ich maafs die Abstände
des Merkstrichs am Barometer von allen folgenden Theil-
strichen des benäfssten Barometers: 1) wenn das Glas nicht
dazwischen war, 2) wenn es dazwischen und das Gefäß
mit Wasser gefüllt war. So erkannte ich, daß die Da-
zwischensetzung des Glases und des Wassers oft eine ab-

solute Ablenkung der Strahlen von zuweilen bis 0,5 Millimeter bewirkte; allein die relativen Ablenkungen der Theilstriche des benähten Barometers in Bezug auf den Merkstrich am trocknen Barometer waren immer viel kleiner. Diese Ablenkungen, die einzigen, welche einen Einfluss auf die Beobachtungen haben konnten, stiegen niemals über $0^m,10$, waren vielmehr fast immer geringer, und oft ganz zu vernachlässigen. Man sah übrigens sorgfältig darauf, die Barometer genau lothrecht und dem Glase parallel zu stellen.

Der Kasten $VV'V''$ ist mit Wasser gefüllt, welches ein Gehülfe fortwährend umrührt. Er enthält ein sehr empfindliches Quecksilber-Thermometer, welches mit einem kleinen horizontalen Fernrohr beobachtet wird.

Der Beobachter richtet das Fernrohr des Kathetometers auf den Scheitel der Quecksilberkuppe des benähten Barometers. Im Moment der Beobachtung wird mit dem Umrühren eingehalten, und unmittelbar nachher wieder damit begonnen. Man hält abermals ein im Moment, wo der Beobachter nach der Kuppe des trocknen Barometers visirt. Somit ist das Wasser in einer fortwährenden Bewegung, die durch die Weite des Gefäßes sehr erleichtert wird.

Bei der Temperatur der umgebenden Luft lassen sich die Beobachtungen mit großer Genauigkeit und beliebig oft anstellen. Bei höheren Temperaturen nimmt man mittelst eines Hebers einen Theil des kalten Wassers fort, und ersetzt es durch eine entsprechende Menge heißes Wasser, stellt unter das Blechgefäß eine Weingeistlampe, und nähert diese mehr oder weniger dem Boden, oder schraubt ihren Docht mehr oder weniger heraus, so daß, bei fortwährender Umrührung des Wassers, die Temperatur vollkommen stillstehend bleibt. Diese Bedingung ist durch einiges Probiren leicht zu erreichen, und wenn die Temperatur des Wassers nicht 50° C. überschreitet, gelingt es, die Temperatur beliebig lang stationär zu er-

halten. Es ist nur nöthig, daß das Umrühren des Wassers lebhaft und fortdauernd geschehe.

Bei einer und derselben stationär gewordenen Temperatur machte man drei oder vier Beobachtungen, in Zwischenräumen von 8 bis 10 Minuten zwischen zwei auf einander folgenden. Zuweilen liefs man absichtlich zwischen zwei Beobachtungen die Temperatur des Bades um einige Hundertel steigen oder fallen, und machte dann durch gehörige Regelung der Lampe die Temperatur wieder stationär. Dadurch war es leicht zu erkennen, daß die Bewegungen der Quecksilbersäule den geringsten Veränderungen des Thermometers folgten, und allemal, wenn das Thermometer dieselbe Temperatur zeigte, fand man auch dieselbe Spannung.

Bei diesem Verfahren werden die Quecksilbersäulen nicht ihrer ganzen Höhe nach erwärmt, aber die zum Gefäß herausragenden Stücke befinden sich unter vollkommen einerlei Umständen: Der Höhenunterschied beider Säulen hat die Temperatur des Bades, und dieser Unterschied, auf Null reducirt, giebt die Spannung des Wasserdampfs.

Man kann indefs sich fragen, ob die ganze mit Dampf erfüllte Kammer genau die Temperatur des Bades habe, ob nicht z. B. die Oberfläche des Quecksilbers, wegen ihrer Communication mit dem unteren, kälteren Quecksilber, eine etwas niedrigere Temperatur besitze. Letzteres würde sicher der Fall seyn, wenn man den Quecksilberspiegel bis nahe zum Boden des Gefäßes herabsinken liesse, allein bei meinen Versuchen blieb derselbe immer mehr Decimeter darüber. Uebrigens schien es mir zweckmäfsig, mich von diesem Umstand durch einen directen Versuch zu überzeugen. Ich befestigte in den beiden Tubulaturen meines Gefäßes zwei unten geschlossene Röhren von 14 Millimeter innerm Durchmesser. Die oberen Oeffnungen dieser Röhren übersteigen das Niveau des Wassers im Gefäß, und ihre geschlossenen Enden befanden sich in der Höhe des Quecksilberspiegels der

Wan-

Wanne *U*. Eine dieser Röhren enthielt Quecksilber bis zu gleicher Höhe mit dem Quecksilberspiegel des wahren Barometers, dessen Stelle sie einnahm. Das Quecksilber im zweiten Robre stieg blofs bis zum niedrigsten Punkt, wo es sich, bei den Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfs, im benähten Barometer befunden hatte. Nachdem das Gefäfs *VV'* mit Wasser von der umgebenden Temperatur gefüllt worden, maafs man nach Verlauf einiger Stunden den Niveau-Unterschied mittelst des Kathetometers; dann steigerte man die Temperatur successive bis 50° C., und maafs dabei, nachdem die Temperatur, wie bei den eigentlichen Versuchen über die Dampfspannung, stationär gemacht worden, von Zeit zu Zeit die Niveaudifferenz der Säulen.

Die unter diesen verschiedenen Umständen beobachteten Niveaudifferenzen, durch Rechnung auf 0° reducirt, müßten constant seyn, wenn die beiden Säulen gleichen Einfluß in ihren entsprechenden Theilen erlitten hätten. Und in der That ergab es sich so, denn die Unterschiede übersteigen niemals $0^{\text{mm}},07$.

Nachdem das Wasser des Gefäßes auf 45° C. gebracht, und diese Temperatur mittelst der Lampe stationär gemacht worden, tauchte man ein sehr empfindliches Quecksilber-Thermometer in das Quecksilber der Röhre, welche diese Flüssigkeit im niedrigsten Niveau enthielt. Nach Verlauf von zwei bis drei Minuten zeigte es eine absolute stationäre Temperatur an; nun zog man es rasch aus der Röhre, und tauchte es in das Wasser des Gefäßes. Es war unmöglich, die geringste Temperatur-Erhöhung nachzuweisen, obwohl das angewandte Thermometer $0,02$ eines Grades mit Sicherheit zu erkennen gestattete. Ein zweites, beständig im Wasser des Gefäßes gehaltenes Thermometer erlaubte übrigens nachzuweisen, daß die Temperatur in der Zwischenzeit der beiden mit dem ersten Thermometer gemachten Beobachtungen sich nicht verändert hatte.

Der Quecksilberspiegel im benähten Barometer ist mit einer Wasserschicht von 3 bis 4 Millimeter Höhe bedeckt. Diese Schicht drückt, vermöge ihres Gewichts, den Quecksilberspiegel herab, allein andererseits strebt sie ihn, vermöge der Capillarwirkung, zu erhöhen. Mißt man mit dem Kathetometer den Abstand zwischen dem tiefsten Punkt des vom Wasser gebildeten concaven Meniskus und dem Scheitel des convexen Meniskus vom Quecksilber, und dividirt diesen Abstand durch 13,5, die Dichte des Quecksilbers gegen Wasser, so erhält man die kleine Quecksilberhöhe, die der also geschätzten Wassersäule gleichkommt. Der Capillareinfluss des Wassers wurde durch einen directen Versuch bestimmt. An das obere Ende zweier Barometerröhren, die zu den vorhergehenden Versuchen gedient hatten, wurden Glasröhren von kleinem Kaliber geschmolzen, und diese in eine kleine dreiarmlige Kupferröhre eingekittet. Der dritte Arm enthielt eine Glasröhre, die zu der Luftpumpe führte. Zwischen einer der Barometerröhren und der entsprechenden kupfernen Tubulatur befand sich ein U-Rohr, gefüllt mit schwefelsaurem Bimstein. Die beiden Barometer tauchten in eine und dieselbe Quecksilberwanne. Man pumpte den Apparat mehrmals aus, und liefs wieder Luft hinein, um die mit dem schwefelsauren Bimstein communicirenden Röhrenwände zu trocknen; endlich pumpte man nochmals aus, und schmolz die mit der Luftpumpe communicirende Röhre vor der Lampe zu; dann versicherte man sich, dafs die beiden Säulen in Niveau seyn, und liefs in eine der Röhren eine dünne Wasserschicht eintreten, ungefähr gleich der, die zu den Versuchen über den Dampf gedient hatte. So hatte man zwei unvollkommene Barometer, die mit einander communicirten, folglich einem gleichen innern Druck ausgesetzt waren; allein das eine Barometer war trocken, und das andere enthielt eine dünne Wasserschicht. Man wartete bis zum andern Morgen, um sicher zu seyn, dafs die beiden Säulen genau gleiche Tem-

peratur hätten; dann bestimmte man die Niveaudifferenz der beiden Quecksilber-Menisken und die Höhe der Wassersäule. Diese letztere Höhe, in Quecksilberhöhe verwandelt, würde den beobachteten Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen vorstellen, wenn in der Capillarwirkung keine Aenderung stattgefunden hätte. Der Effect dieser letzteren Ursache ward also gemessen durch den Höhenunterschied der beiden Quecksilber-Menisken, verringert um die auf Quecksilber reducirte Wassersäule. Dadurch ergab sich, daß die benähte Säule, berichtigt wegen des Gewichts der kleinen Wasserschicht, vermöge der Capillarwirkung des Wassers um $0^{\text{mm}},12$ gehoben war.

Die Tafel I enthält die auf diese Weise erlangten Resultate.

Tafel I.

Temperatur	Dampfspannung		Unterschied mm.	Temperatur	Dampfspannung		Unterschied mm.
Therm. No. 7.	beobachtet, mm.	berechnet, mm.		Therm. No. 7.	beobachtet, mm.	berechnet, mm.	
9°,73 C.	9,03	9,002	+0,03	38°,09 C.	49,55	49,543	+0,01
9,73	9,05			40,28	55,73	55,733	0,00
11,64	10,27			40,28	55,67		
11,62	10,19	10,200	-0,01	40,25	55,55		
11,62	10,23			46,20	75,76		
13,56	11,62	11,575	+0,05	46,24	75,96		
13,56	11,60			46,23	75,88	76,04	-0,16
15,56	13,18	13,16	+0,02	51,39	98,29		
15,58	13,16			51,39	98,23	98,541	-0,31
17,67	15,07			58,62	139,05		
17,68	15,13			58,56	138,81	139,119	-0,31
17,68	15,05	15,052	0,00	58,49	138,25		
19,36	16,74	16,716	+0,02	21,08	18,66		
19,35	16,70			21,08	18,64	18,585	+0,06
21,41	18,94			21,08	18,62		
21,41	18,96	18,965	0,00	8,79	8,44		
21,41	19,00			8,79	8,44	8,454	-0,01
23,66	21,74	21,736	0,00	8,79	8,46		
23,67	21,78			4,32	6,32		
23,66	21,76			4,33	6,30	6,239	+0,06
26,01	25,05			4,34	6,28		
26,02	25,07	25,059	+0,01	4,94	6,54		
26,02	25,07			4,97	6,54		
28,80	29,44	29,437	0,00	5,00	6,56	6,534	+0,03

Temperatur Therm. Nr. 7.	Dampfspannung		Unter- schied mm.	Temperatur Therm. No. 7.	Dampfspannung		Unter- schied mm.
	beobachtet, mm.	berechnet, mm.			beobachtet, mm.	berechnet, mm.	
28°,80 C	29,46			6°,15 C.	7,06		
31,95	35,27	35,259	+ 0,01	6,17	7,10	7,081	+ 0,02
31,95	35,29			6,19	7,12		
34,79	41,29			6,22	7,14		
34,75	41,25	41,252	0,00	7,50	7,73	7,745	- 0,01
34,75	41,23			7,51	7,69		
38,09	49,51			7,52	7,71		
38,09	49,59						

II. Die zweite Reihe von Versuchen wurde mittelst des Apparats Taf. II, Fig. 1, 2, 3, angestellt. Ein etwa 500 Kubikcentimeter fassender Ballon *A* umschließt ein ganz mit frisch ausgekochtem Wasser gefülltes Kügelchen, und durch die angeschmolzene gekrümmte Röhre ist er an das dreiarmige Kupferstück *def* gekittet. In der Tubulatur *e* sitzt eingekittet ein krummes Rohr *egh*, gelöthet an den obern Theil einer Barometerröhre *ha*, welche durch die Tubulatur *a* des Blechgefäßes *VV'* geht. Durch die zweite Tubulatur *b* dieses Gefäßes geht ein wahres Barometer, welches in dieselbe Wanne *U* taucht. In der dritten Tubulatur *f* des dreiarmigen Kupferstücks *def* ist eine Röhre eingekittet, die zur Luftpumpe führt; doch wird auf dem Wege dahin ein mit schwefelsaurem Bimstein gefülltes Rohr *MN*, von etwa 1 Meter gesammter Länge, eingeschaltet.

Nachdem der Apparat so vorgerichtet ist, pumpt man ihn mehrmals leer, und läßt jedesmal die Luft langsam wieder eintreten, um damit die Röhre *MN* auszutrocknen. Nach 40 bis 50maliger Auspumpung kann man den Ballon als vollständig getrocknet betrachten; dann pumpt man ihn noch einmal, und zwar möglichst vollkommen aus. Die Luftpumpe, über die ich verfügte, brachte bei meinen ersten Versuchen das Vacuum schwierig unter 2 Millimeter herab, allein, nachdem sie gereinigt worden, gab sie oft das Vacuum bis auf 1 Millimeter.

Sobald das Vacuum möglichst vollkommen ist, verschließt man die Röhre *fl* vor der Lampe. Man umgiebt den Ballon *A* mit schmelzendem Eise, und mißt, nach einiger Zeit, den Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen mit dem Kathetometer. So hat man die Spannkraft der im Ballon zurückgebliebenen trocknen Luft bei 0° C. Nun nimmt man das Eis fort, erhitzt den Ballon durch einige Kohlen, die in einen Löffel mit gekrümmtem Stiel gelegt sind, und bringt das Kügelchen durch Ausdehnung des darin enthaltenen Wassers zum Bersten. Man umgiebt den Ballon aufs Neue mit schmelzendem Eise, und mißt nach Verlauf einiger Zeit den Höhenunterschied der beiden Menisken. Dieser Unterschied, verringert um den, der vor dem Bersten des Kügelchens zwischen den Höhen der beiden Menisken vorhanden war, giebt die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° . Man traf die Sorgfalt, diese Messungen, in Zwischenzeiten von 10 Minuten, hinreichend oft zu wiederholen, um sich zu überzeugen, daß die Höhenunterschiede recht constant waren.

Um diese Bestimmungen bei höheren Temperaturen auszuführen, setzte man das Planglas in seinen Rahmen *EFGH*, füllte das Gefäß mit recht klarem Wasser, und verfuhr genau so wie bei der ersten Reihe S. 127. Um die durch die Dazwischensetzung des Glases und Wassers bewirkte prismatische Ablenkung der Lichtstrahlen zu ermitteln, hatte man, wie bei den Versuchen der ersten Reihe S. 126, auf das Barometer *bo* einen Merkstrich gezogen, und auf die Röhre *ah* eine Centimetertheilung. Durch diese Methode erhielt man die Bestimmungen, die in der Tafel No. II, Reihe *A*, *B*, *C*, angegeben sind.

Bei allen Versuchen ist es von Wichtigkeit, daß das Barometer vollkommen richtig sey; auch sah man darauf, den Apparat so einzurichten, daß das Barometer *bo* in jedem Augenblick der Versuche leicht mit einem Normalbarometer verglichen werden konnte. Zu dem Ende trug

das Brett, an welchem die Barometerröhren befestigt waren, ein Metallstück r , mit einer lothrechten Schraube, die an beiden Enden in abgerundeten Spitzen endigte. Diese Schraube ward gedreht, bis ihre untere Spitze mit dem Quecksilberspiegel der Wanne im Niveau war. Während das Glas nicht in seinem Rahmen war, maafs man mit dem Kathetometer den Abstand des Quecksilberspiegels im Barometer bo von der oberen Spitze der Schraube. Um dann die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule zu haben, brauchte man nur zu diesen Abstand die Länge der Schraube von Spitze zu Spitze zu messen, was, wenn man die Schraube zweckmäfsig emporgedreht hatte, mit dem Kathetometer sehr genau geschah.

Die Richtigkeit des Barometers kann noch auf eine andere, ebenfalls einer grofsen Genauigkeit fähigen Methode geprüft werden. Durch Eingiefsen einer gröfsern Menge Quecksilber in die Wanne U , oder durch Fortnehmen einer gewissen Menge von demselben, kann man nämlich die Geräumigkeit der barometrischen Kammer innerhalb grofser Gränzen verändern, und wenn das Barometer vollkommen luftfrei ist, mufs dabei seine Höhe dieselbe bleiben, welch eine Geräumigkeit die barometrische Kammer auch haben möge; wie wenig Luft auch das Barometer enthalte, so ist diefs nicht mehr der Fall ¹⁾.

Derselbe Apparat eignet sich sehr gut zur Bestimmung der Spannkkräfte des Wasserdampfs in niederen Temperaturen; nur bediene ich mich dann nicht mehr des Blechgefäfses VV' , sondern einer Glasglocke von kleinerer Dimension, die etwa 20 Liter fafst. Die Barometerröhren sind dann einfach an ihrem Brett befestigt, und der Ballon A befindet sich in gröfserem Abstände

1) Diese letztere Prüfungsmethode ist vor langer Zeit von Hrn. Arago angegeben, und auch benutzt worden, ein Reisebarometer zu construiren, das man an Ort und Stelle füllen kann, ohne das Quecksilber auszukochen. (Auch in Deutschland ist diese Methode längst bekannt und benutzt. P .)

von diesen Röhren. Zuerst wird der Ballon mit schmelzendem Eise umgeben, um die Dampfspannung bei 0° zu bestimmen, dann nimmt man es fort, und gießt in die Glocke eine concentrirte Lösung von Chlorcalcium, die man, indem man Eis darin auflöst, schrittweise in ihrer Temperatur erniedrigt. Diese Lösung muß fortwährend umgerührt werden; es gelingt ziemlich leicht, die Temperatur, wenn auch nicht durchaus stillstehend zu machen, doch so lange man will innerhalb sehr enger Grenzen zu halten, wenn man im Moment, wo die Temperatur zu steigen anfängt, kleine Mengen zerstoßenen Eises hineinwirft. Um größere Kälte zu erlangen, wandte man krystallisirtes Chlorcalcium an, welches man schichtenweise mit Schnee mengte. So wie dieß Gemenge flüssig wurde, rührte man es fortwährend um; dadurch sank die Temperatur allmählig so weit, daß nur noch sehr wenig Eis auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmen blieb. Im Augenblick des Minimums, das man übrigens durch Einschüttung kleiner Mengen Schnee einige Zeit unterhalten kann, macht man die Beobachtung, unter fortdauerndem Umrühren der Flüssigkeit.

Um die Temperatur des Bades zu erhöhen, wurden kleine Mengen einer concentrirten und heißen Chlorcalcium-Lösung in die Glocke geschüttet, wodurch man die geeignete Temperatursteigerung erhielt. Es wurde eine erhitze Chlorcalcium-Lösung, und nicht reines Wasser angewandt, um nicht das Erkältungsvermögen der Flüssigkeit des Bades zu verringern; so vermochte man eine neue Temperatursenkung durch Hinzufügung von gestoßnem Eise zu bewirken.

Einleuchtend ist, daß man die Temperatur desto leichter stationär halten kann, je mehr dieselbe sich der der Umgebung nähert; auch ist die Veränderung der Spannkraft des Wasserdampfs mit der Temperatur in diesem Fall am beträchtlichsten. Unterhalb -20° C. bewirkt ein Wechsel von einem Zehntelgrad in der Temperatur

nur unmerkliche Veränderungen in der Spannkraft des Wasserdampfs.

Die auf diese Weise angestellten Versuche sind in der Tafel III, Reihe *F*, *G* und *H* angegeben.

Das Verfahren, abgeändert wie eben beschrieben, kann für Temperaturen niedriger als die der umgebenden Luft dienen; allein ich habe mich durch directe Versuche überzeugt, daß es auch genaue Resultate giebt für Temperaturen, die um mehr Grad höher sind als die der Atmosphäre. Zu dem Ende stellte man den Ballon wieder in den Blechkasten *V V' V''*, was leicht geschah, ohne etwas aus einander zu nehmen; die Barometerröhren blieben außerhalb des Kastens, und die Tubulaturen *a* und *b* des Blechgefäßes wurden durch Pfropfen verschlossen. Die Beobachtungen sind ziemlich genau, so lange man das Wasser nicht mehr als 15 Grad über die Temperatur der Umgebung erwärmt; allein über diese Gränze hinaus fängt das Wasser an zu destilliren und sich in den Röhren zu verdichten; dann werden die Beobachtungen unsicher. Auf diese Weise wurden die Reihen *D* und *E* erhalten.

Die eben beschriebenen Methoden sind einer grossen Genauigkeit fähig; die Apparate sind leicht vorge richtet, und eignen sich zur Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfs, die sich in einer mehr oder weniger verdünnten Luft entwickeln. Im letzteren Fall braucht man nur den Apparat mit zwei Barometern zu ersetzen durch ein System von communicirenden Röhren, so eingerichtet wie in Fig. 8, Taf. II. Auf diese Weise machte ich Bestimmungen über die Spannkraft des Wasserdampfs in Luft unter dem gewöhnlichen Druck, um zu erkennen, ob diese Spannkraft wirklich der im Vacuo gleich ist; allein ich behalte sie einer künftigen Bekanntmachung vor.

Wesentlich für die Genauigkeit der Versuche ist es, daß der Ballon vor dem Bersten des Kugelhens vollständig ausgetrocknet sey; dahin gelangt man, wenn man

den Ballon mehrmals mit einer guten Luftpumpe evacuirt, und trockene Luft wieder eintreten läßt. Ich wollte mich überzeugen, ob man nicht durch Erhitzung des Ballons bei dem Auspumpen zu einer vollständigeren Trocknung desselben gelange, und demgemäß für Dampfspannungen bei 0° C. größere Werthe erreiche.

Der Apparat wurde folgendermaßen abgeändert. Das mit Wasser gefüllte Kügelchen wurde nicht mehr in den Ballon gebracht, sondern in eine kleine Seitenröhre *mm*, Fig. 4, welche an einem Ende in die kupferne Tubulatur *f* eingekittet, und am andern mit einer Röhre voll schwefelsaurem Bimstein verknüpft war. Man trocknete den Apparat wie gewöhnlich mittelst einer Luftpumpe; allein um diese Austrocknung wirksamer zu machen, umgab man den Ballon mit Kohlen, und erhitze ihn dadurch bis 300 oder 400° C.; auch erhitze man die Barometerröhre. Die Pumpe nahm zuletzt die Luft vollständiger fort als bei den Versuchen, bei denen man den Ballon nicht erhitze. Man verschloß die Röhre bei *l* vor der Lampe. Man wartete bis zum andern Morgen, um die Quecksilberröhren gleiche Temperatur annehmen zu lassen, umgab darauf den Ballon mit Eis, und bestimmte bei 0° die Spannkraft der im Apparat gebliebenen Luft. Ohne das den Ballon umgebende Eis fortzunehmen, brachte man das in die Röhre *mn* eingeschlossene Kügelchen zum Bersten, und das Wasser destillirte in den Ballon. Man löste die Röhre *mn* ab, indem man den capillaren Theil *k* zuschmolz. Der Apparat war nun fertig, und die Versuche wurden wie oben angestellt. Auf diese Weise wurden die Reihen *I*, *J*, *K* der Tafel III erhalten; sie gaben für die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° schwächere Werthe als man durch das erste Verfahren erhielt.

Endlich ist es leicht, den Apparat Fig. 1, 2, Taf. II zur Bestimmung der Spannung des Dampfs im absoluten Vacuo zu gebrauchen. Zu dem Ende schließt man das Wasser nicht mehr in ein Kügelchen, sondern bringt da-

von eine große Menge unmittelbar in den Ballon. Ist der Apparat wie gewöhnlich zusammengestellt, so evacuirt man ihn mit der Luftpumpe, erhitzt den Ballon *A* durch einige glühende Kohlen dergestalt, daß sich eine kleine Menge Wasser in dem Barometerrohr *ah* verdichtet. Durch fortgesetztes Pumpen erlangt man eine anhaltende Destillation des im Ballon und im Barometerrohre befindlichen Wassers, und dieses Wasser verdichtet sich in der Röhre mit schwefelsaurem Bimstein *MN*. Auf diese Weise destillirt man mehrere Grammen Wasser unter einem sehr schwachen Druck über, und wenn man dadurch alle Luft aus dem Apparat getrieben, verschließt man die Röhre bei *l* vor der Lampe. Die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfs geschieht auf gewöhnliche Weise.

Auf diese Weise wurden die Reihen *L* und *M* der Tafel III erhalten.

III. Die eben beschriebenen Verfahrungsweisen lassen sich auch sehr gut zur Bestimmung der Spannkräfte von Dämpfen anderer Flüssigkeiten als Wasser anwenden, und sie erfordern nur eine sehr kleine Menge von der Substanz. Sind diese Flüssigkeiten von der Art, daß sie den Kitt angreifen, so muß man die Röhren nur äußerlich an die Tubulatur *edf* kitten; es ist auch zweckmäßig, Röhren anzuwenden, die in ihre kupferne Tubulaturen eingeschnirgelt sind, damit sie diese nahezu verschließen. Der Apparat, so wie er in Fig. 1 u. 2, Taf. II abgebildet ist, eignet sich indess nur für Spannkräfte unterhalb 200 Millimeter. Wenn es sich darum handelt, größere Spannungen zu bestimmen, so wende ich den Apparat Fig. 5 an. Diesen benutzte ich nicht beim Wasserdampf, sondern zur Bestimmung der Spannkräfte sehr flüchtiger Flüssigkeiten, wie Aether, Schwefelkohlenstoff etc. etc., worüber ich künftig eine Abhandlung veröffentlichen werde.

Er besteht aus einer gekrümmten Röhre *abc* von 15 Millm. innerem Durchmesser, die sich in einer feine-

ren gekrümmten Röhre ce endigt. Man füllt den verschlossenen Schenkel ab mit Quecksilber, und kocht dieses sorgfältig aus, um es vollständig von Luft und Feuchtigkeit zu befreien. Sobald das Quecksilber erkaltet ist, bringt man in den Schenkel bc eine kleine Menge der flüchtigen Flüssigkeit, und kocht dieselbe einige Augenblicke, um sie von ihrem etwaigen Luftgehalt gänzlich zu befreien; dann läßt man, durch zweckdienliches Neigen der Röhre, eine kleine Portion dieser noch heißen Flüssigkeit in den verschlossenen Schenkel ab fließen. Die im Schenkel bc zurückgebliebene Flüssigkeit treibt man durch Sieden aus, was man durch unvollständiges Auspumpen erleichtert. So bleibt der Schenkel bc mit trockener Luft gefüllt.

Hierauf wird die Röhre abc am Blechgefäß VV' befestigt, in vollkommen lothrechtcr Stellung und hinter dem Glase. Die Röhre ce kittet man in ein dreiarmliges Kupferstück edf , dessen Tubulatur d zu dem mit einem Hahn r versehenen manometrischen Apparat $hilk$ führt. In der Tubulatur f befindet sich ein feines Rohr fg eingekittet, welches man erforderlichenfalls mit einer kleinen Luftpumpe verknüpfen kann.

Die beiden communicirenden Röhren ih und kl werden vollständig mit Quecksilber gefüllt, wobei die im Apparat enthaltene Luft durch die offene Röhre fg entweicht; diese Röhre verschließt man vor der Lampe. Um den Druck zu verringern, läßt man durch Oeffnen des Hahns r Quecksilber aus dem Manometer abfließen; dadurch wird die im Schenkel bc enthaltene Luft in einen größeren Raum verbreitet, und folglich ihre Spannkraft geschwächt. Man läßt so viel Quecksilber ausfließen, daß das Niveau in dem verschlossenen Schenkel ab bis m herabsinkt. Die Spannung des Dampfs wird gemessen durch den Druck der Atmosphäre, verringert um die Quecksilbersäule $\alpha\beta$ im Manometer und die mn in der gekrümmten Röhre abc . Der Capillareinfluss der dünnen Wasserschicht, die sich

über dem Meniskus der Röhre ab befindet, wird, nach den Versuchen, durch directe Messungen bestimmt, wobei man durch Oeffnen der Röhre bei a den Druck in beiden Schenkeln ab und bc zur Gleichheit bringt.

Das Gefäß VV' wird mit Wasser gefüllt, welches man, wie S. 127 gesagt worden, in einer constanten Temperatur erhält.

Durch folgendes Verfahren überzeugt man sich leicht, ob der Apparat gehörig eingerichtet, und keine Luft im Schenkel ab geblieben sey. Man macht eine erste Reihe von Bestimmungen, den Quecksilberspiegel bei m haltend; dann läßt man diesen, durch Ausfließen von Quecksilber, auf m' herabsinken. Nun ist der vom Dampf eingenommene Raum doppelt so groß, wie beim ersten Versuch. Wenn im Schenkel ab die geringste Menge Luft enthalten wäre, würde man beim zweiten Versuch nicht dieselbe Dampfspannung wie beim ersten erhalten.

Wollte man durch dasselbe Verfahren die Dampfspannung einer bei niederen Temperaturen wenig flüchtigen Flüssigkeit untersuchen, so verknüpfte man die Röhre fg mit einer kleinen Luftpumpe, verdünnte zunächst mittelst derselben die im Schenkel bc enthaltene Luft, und schmolze darauf die Röhre fg zu. Der dreimal durchbohrte Hahn z (Fig. 5 *bis*, Taf. II) macht diese verschiedenen Manipulationen sehr leicht.

Will man unter stärkeren Drucken, als der der Atmosphäre, Versuche machen, so schmilzt man die Röhre fg in einem Moment zu, wo das Manometer kein Quecksilber enthält. Man gießt alsdann Quecksilber in die Röhre hl ; dadurch wird die in der Röhre hi befindliche Luft in einen immer kleineren Raum gedrängt, und somit ihre Spannkraft erhöht.

Das eben beschriebene Verfahren ist sehr bequem für sehr flüchtige Flüssigkeiten, weil es erlaubt, deren Spannkraft zwischen sehr ausgedehnten Gränzen zu bestimmen. Beim Wasser habe ich es nicht angewandt, weil

ich es, wegen der großen Zahl von Messungen, die es erfordert, bei schwachen Spannungen für viel weniger genau halte, als die bereits beschriebenen Methoden, bei welchen ich mich bemüht habe, die Anzahl der Messungen möglichst zu verringern ¹⁾).

Die Menisken in dem gekrümmten Rohre *abc* und im Manometer *hikl* wurden gleichzeitig von zwei Beobachtern mit zwei Kathetometern gemessen. Diese Vorsicht ist nothwendig, besonders bei etwas beträchtlichen Spannungen, weil die in der Röhre *hi* des Manometers befindliche Luft als Luftthermometer functionirt. Geschehen die Beobachtungen successive, so können daraus beträchtliche Fehler entspringen, indem kleine Temperaturänderungen in der umgebenden Luft Verschiebungen der Menisken bewirken.

- 1) Dieses Verfahren ist dem ähnlich, welches Hr. Magnus neuerlich in einem eben erschienen Aufsatz (Poggendorff's Annal. Bd. 61, S. 226) angewandt hat, um die Spannkraft des Wasserdampfs zwischen 0° und 100° C. zu bestimmen. Es weicht davon ab durch die Art, wie die Temperaturen bei den Beobachtungen stationär erhalten werden. Hr. Magnus gebraucht dazu einen aus mehreren concentrischen Blechkasten zusammengesetzten Apparat, der mittelst darunter gestellten Weingeistlampen erhitzt wird. Ich habe Gelegenheit gehabt, in einer Note in den *Ann. de chim. et de phys. T. VI, p. 370* einige Einwände gegen diese Methode zu machen. Hr. Magnus glaubt sie verwerfen zu müssen, indem er einen Versuch anführt, bei welchem zwei Luftthermometer von solcher Einrichtung, daß eines das andere vollständig umschloß, fortwährend übereinstimmend gingen, als sie allmählig bis 250° C. erhitzt wurden. Ich glaube nicht, daß dieser Versuch die Schwierigkeit hebe; ich begreife nämlich nicht, wie zwei Luftthermometer unter den Umständen, in welche Hr. Magnus sie versetzte, merkliche Unterschiede zeigen sollten. Mein Einwurf gilt dem Fall, wo ein Luftthermometer mit einem Quecksilberthermometer verglichen wird (A. a. O. T. VI, p. 373). Diese Methode scheint mir besonders verwerflich zu seyn bei niederen Temperaturen, die in flüssigen Bädern so leicht stationär zu erhalten sind. Sicher würde Herr Magnus bei seinen Versuchen über die Spannkraft des Wasserdampfs in niederen Temperaturen nicht so große Unterschiede angetroffen haben, wenn er flüssige Bäder angewandt hätte.

Bei den meisten der obigen Versuche wird die Quecksilbersäule, welche den Druck überträgt, bis zu derselben Temperatur erwärmt, wie der Dampf, dessen Spannung man mißt, und zuweilen steht der Raum, in welchem sich der Dampf entwickelt, in leichter Gemeinschaft mit der das Quecksilber enthaltenden Röhre; das geschieht vor allem bei dem S. 124 beschriebenen Apparat. Wenn nun in den Temperaturgränzen, bei denen wir arbeiten, die Spannung des Quecksilberdampfs beträchtlich ist, so kann sich diese Spannung zu der der in Beobachtung genommenen Flüssigkeit addiren und die Bestimmungen unrichtig machen. Es ist also nothwendig, die Spannung des Quecksilberdampfs zwischen 0° und 100° direct zu bestimmen.

Ich habe auf S. 136 gezeigt, daß man ziemlich genaue Werthe für die Spannung des Wasserdampfs erhält, selbst wenn die Barometerröhre, welche den Druck mißt, eine 8 bis 10 Grad niedrigere Temperatur besitzt als der Ballon, in welchem sich der Dampf entwickelt. Ich habe Gelegenheit gehabt, diese Thatsache auch beim Terpenthinöl nachzuweisen, selbst für beträchtlichere Temperaturüberschüsse. Es ist wahrscheinlich, daß in diesem Falle die im Apparat gebliebene Luft, zurückgedrängt in den barometrischen Raum, dazu dient, den im Ballon entwickelten barometrischen Druck zu verpflanzen. Ich habe geglaubt, daß diese Methode um desto mehr anwendbar sey, die Spannkraft des Quecksilberdampfs innerhalb Temperaturen, wo sie sehr klein ist, zu bestimmen.

In den Ballon des Apparats Fig. 1 und 2, Tafel II, brachte ich mit den außerhalb des Gefäßes *VV'* befindlichen Barometerröhren etwa 300 Grammen sehr reines Quecksilber, pumpte ihn, unter Erhitzung des Quecksilbers, oftmals aus, um ihn zu trocknen, evacuirte ihn dann noch ein Mal, und verschloß die Röhre vor der Lampe. Während der Ballon mit Eis umgeben war, maafs ich den Niveau-Unterschied der beiden Quecksilbersäulen.

Ich nahm an, daß die Spannung des Quecksilberdampfs bei 0° Null sey, so daß der beobachtete Niveau-Unterschied bloß die Spannung der im Apparat zurückgebliebenen Luft messe. Nun brachte ich den Ballon in Wasser, welches ich successiv bis zum Sieden erhitze, unter Beachtung der Vorsichtsmafsregeln, die vorhin beschrieben wurden, um die Temperaturen im Moment der Beobachtung stationär zu machen. Die Höhenunterschiede der beiden Quecksilbersäulen entstehen dann aus der Spannkraft der im Apparat zurückgebliebenen Luft und der des Quecksilberdampfs; man hat also die letztere, wenn man von dem beobachteten Höhenunterschied die Spannkraft der Luft für die in Rede stehende Temperatur, berechnet aus ihrer bei 0° direct beobachteten Spannkraft, abzieht.

Bei einem ersten Versuch liefs ich absichtlich etwas viel Luft im Apparat; die Spannkraft dieser Luft bei 0° fand sich $= 4^{\text{mm}},22$. Die Spannungen des Quecksilberdampfs ergaben sich:

bei	$0^{\circ},00$ C.	0,000 Millm.
-	23 ,57	0,068 -
-	38 ,01	0,098 -
-	100 ,60	0,555 ') -

Bei einem andern Versuch stellte ich ein fast vollkommenes Vacuum her, indem das im Ballon enthaltene Quecksilber während des Auspumpens erhitzt wurde. Die Spannkraft der im Ballon gebliebenen Luft betrug $0^{\text{mm}},10$ bei 0° C. Es wurden dann für die Spannungen des Quecksilberdampfs folgende Werthe erhalten:

- 1) Ich machte mehr Bestimmungen über die Spannung des Quecksilberdampfs bei höheren Temperaturen, indem ich den Ballon in ein Oelbad stellte. Bei 200° C. wurden die Versuche offenbar fehlerhaft wegen der Destillation des Quecksilbers. Wie dem auch sey, ich gebe hier die erhaltenen Zahlen, die nur als Annäherungen zu betrachten sind.

$100^{\circ},6$ C.	0,56 Millm.
146 ,3	3,46 -
177 ,9	10,72 -
200 ,5	22,01 -

0°,00	0,000 Millm.
25 ,39	0,034
49 ,15	0,087
72 ,74	0,183
100 ,11	0,407

Diese beiden Reihen weichen beträchtlich von einander ab, wenn man ihre relativen Werthe vergleicht; allein die absoluten Unterschiede sind wirklich sehr klein, und von der Ordnung der Unsicherheiten bei Beobachtungen. Sie genügen, glaube ich, zu zeigen, daß die Spannung des Quecksilberdampfs bei 100° C. ungefähr 0^{mm},5 ist ¹⁾, und bei 50° C. kaum auf 0^{mm},10 steigt; sie ist also unterhalb 50° C. beinahe zu vernachlässigen, weshalb ich nicht für nöthig hielt, ihretwegen eine Berichtigung in den nachfolgenden Tafeln anzubringen.

T a f e l I I.

Reihe A.

Temperatur		Mittel der Temperat.	Spannung		Unter- schied.
Therm. No. 7.	Therm. No. 8.		beobacht.	berechnet.	
0°,00 C.	0°,00 C.	0°,00 C.	mm.	mm.	mm.
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,695		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,665		
0 ,00	0 ,00	0 ,00	4,675		
20 ,16	20 ,18	20 ,17	17,62		
20 ,14	20 ,18	20 ,16	17,64	17,563	+ 0,08
23 ,59	23 ,59	23 ,59	21,66		
23 ,57	23 ,58	23 ,57	21,62	21,618	— 0,00
23 ,45	23 ,42	23 ,58	21,56		
23 ,45	23 ,42	23 ,58	21,59		
28 ,18	28 ,26	28 ,22	28,50		
28 ,16	28 ,25	28 ,20	28,50	28,431	+ 0,07
28 ,03	28 ,09	28 ,06	28,13	28,200	— 0,07
28 ,07	28 ,11	28 ,09	28,31		
31 ,04	31 ,11	31 ,08	33,62	33,559	+ 0,06
31 ,04	31 ,13	31 ,08	33,62		
33 ,51	33 ,63	33 ,57	38,40		
33 ,49	33 ,61	33 ,55	38,38	38,583	— 0,20
36 ,42	36 ,53	36 ,48	45,49		

1) Nach Avogadro wäre sie bei 100° C. gar nur 0,03 Millimeter.
(Ann. Bd. 27, S. 80.) P.

Temperatur.		Mittel der Temperat.	Spannung,		Unter- schied.
Therm. No. 7.	Therm. No. 8.		beobacht.	berechnet.	
			mm.	mm.	mm.
36°,38 C.	36°,47 C.	36°,43 C.	45,35		
36,35	36,40	36,38	45,19		
36,37	36,42	36,40	45,29	45,183	+0,11
36,54	36,62	36,58	45,76		
36,56	36,62	36,59	45,76		
40,71	40,79	40,75	57,58	57,146	+0,43
40,65	40,72	40,69	57,38		
44,72	44,78	44,75	70,77	70,476	+0,29
49,65	49,75	49,70	90,69	90,617	+0,07
49,65	49,75	49,70	90,74		

Reihe B.

0,00	0,00	0,00	4,65		
0,00	0,00	0,00	4,65		
0,00	0,00	0,00	4,65		
19,81	19,83	19,82	17,26	17,199	+0,06
19,82	19,84	19,83	17,26		
19,82	19,85	19,83	17,26		
22,68	22,73	22,70	20,56	20,513	+0,05
22,69	22,73	22,71	20,58		
22,70	22,74	22,72	20,56		
24,65	24,68	24,67	23,07		
24,65	24,69	24,67	23,10	23,092	+0,01
24,67	24,70	24,69	23,15		
28,83	28,87	28,85	29,50	29,524	-0,02
28,83	28,86	28,84	29,46		
28,83	28,86	28,85	29,48		
33,81	33,84	33,82	39,09		
33,81	33,84	33,82	39,11	39,170	-0,06
18,31	18,35	18,33	15,84		
18,34	18,36	18,35	15,84	15,707	+0,06
18,36	18,37	18,36	15,84		
18,38	18,38	18,38	15,88		
20,99	20,97	20,98	18,60		
21,00	20,98	20,99	18,54		
21,01	20,99	21,00	18,60	18,495	+0,10
25,48	25,47	25,48	24,35		
25,50	25,49	25,49	24,35		
25,52	25,50	25,51	24,41	24,275	+0,15
25,56	25,51	25,53	24,45		
32,16	32,21	32,19	35,86		
32,18	32,21	32,20	35,88	35,737	+0,14
30,94	30,96	30,95	33,42		
30,94	30,98	30,96	33,48		
30,94	30,99	30,97	33,50	33,349	+0,15
30,97	31,00	30,98	33,48		
30,97	31,00	30,98	33,54		

Temperatur.		Mittel der Temperatur.	Spannung,		Unter- schied.
Therm. No. 7.	Therm. No. 8.		beobacht.	berechnet.	
34°,18 C.	34°,22 C.	34°,20 C.	mm.	mm.	mm.
34,18	34,23	34,21	40,22		
34,19	34,24	34,22	40,26	40,031	+0,23
37,22	37,25	37,23	40,28		
37,22	37,25	37,23	47,50		
37,22	37,25	37,23	47,44	47,281	+0,16
37,22	37,25	37,23	47,46		
39,39	39,39	39,39	53,34	53,142	+0,20
39,37	39,41	39,39	53,36		
39,43	39,44	39,43	53,50		
39,44	39,46	39,45	53,76		
42,58	42,63	42,61	63,22		
42,57	42,62	42,60	63,14	63,012	+0,13
42,56	42,61	42,59	63,26		
42,57	42,63	42,60	63,26		
16,49	16,50	16,50	14,05	13,972	+0,08
16,50	16,52	16,51	14,09		
16,44	16,55	16,54	14,07		

Reihe C.

Temp. Th. 7.	Spannung,		Unter- schied.	Temp. Th. 7.	Spannung,		Unter- schied.
	beobach.	berechn.			beobach.	berechn.	
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.	4,58			18°,11C	15,32		
0,00	4,55			20,28	17,59		
0,00	4,54			20,23	17,56		
0,00	4,60			20,25	17,52	17,661	— 0,13
0,00	4,58			20,29	17,56		
0,00	4,56			20,29	17,64		
0,00	4,58			20,29	17,63		
11,49	9,96			22,85	20,52		
11,52	9,97	10,133	— 0,16	22,85	20,58	20,699	— 0,12
11,54	10,04			22,86	20,56		
11,54	10,02			22,88	20,61		
13,84	11,66			25,59	24,25		
13,84	11,70	11,785	— 0,08	25,56	24,22	24,347	— 0,12
13,85	11,70			25,56	24,19		
14,04	11,84	11,939	— 0,10	28,14	28,21	28,332	— 0,12
14,04	11,82			28,13	28,15		
14,06	11,85			30,30	31,92	32,096	— 0,17
16,43	13,76			30,29	31,91		
16,46	13,83	13,937	— 0,10	32,49	36,16	36,352	— 0,17
19,12	16,34			32,42	36,01		
19,12	16,40	16,468	— 0,07	32,38	36,00		
19,13	16,44			32,39	35,99		
15,93	13,36	13,475	— 0,11	36,13	44,34	44,518	— 0,19
15,94	13,37			36,13	44,32		
18,10	15,32			38,88	51,37	51,704	— 0,33
18,09	15,32	15,453	— 0,13	38,86	51,31		

Reihe D.

Temperatur.	Spannung,		Unterschied.	Temperatur.	Spannung,		Unterschied.
Therm. No. 7.	beobachtet.	berechnet.		Therm. No. 7.	beobachtet.	berechnet.	
0°,00C.	mm. 4,69	mm.	mm.	13°,92C.	mm. 11,84	mm. 11,850	mm. — 0,01
0,00	4,67			13,92	11,86		
0,00	4,67			13,92	11,86		
0,00	4,65			16,34	13,82		
8,20	8,14			16,35	13,82	13,840	— 0,02
8,24	8,18			16,36	13,82		
8,27	8,20	8,1640	+0,04	19,88	17,21		
8,28	8,26			19,88	17,21	17,263	— 0,05
9,00	8,58	8,574	+0,01	15,62	13,20		
9,00	8,60			15,61	13,22		
9,01	8,62			15,62	13,22	13,212	+0,01
9,02	8,62			15,62	10,24		
9,04	8,68						

Reihe E.

0,00	4,59			16,54	13,89		
0,00	4,59			16,55	13,91		
0,00	4,59			16,55	13,87		
6,70	7,27			16,55	13,91	14,016	— 0,10
6,72	7,27			18,32	15,53		
6,74	7,25	7,361	— 0,11	18,32	15,61	15,667	— 0,06
6,77	7,33			18,32	15,59		
7,39	7,66	7,693	— 0,03	20,51	17,81		
7,41	7,64			20,51	17,81	17,946	— 0,13
10,11	9,11			20,54	17,85		
10,11	9,13			22,84	20,53		
10,11	9,15	9,232	— 0,08	22,84	20,53	20,687	— 0,15
13,60	11,54			22,85	20,55		
13,60	11,56	11,605	— 0,04	9,98	9,07		
13,60	11,52			9,98	9,01		
13,60	11,52			9,98	9,07		
14,92	12,55			9,98	9,09	9,153	— 0,06
14,92	12,57	12,634	— 0,06	17,25	14,57		
14,91	12,57			17,25	14,55	14,650	— 0,10

Reihe F.

— 0°,37	4,48	4,457	+0,02	—30°,59	0,33		
— 11,69	1,70			—28,13	0,47	0,427	+0,04
— 8,11	2,39	2,305	+0,08	—23,95	0,53		
— 4,61	3,19	3,100	+0,09	—19,41	0,88	0,885	0,00
— 7,82	2,46			—16,83	1,16	1,100	+0,06
— 2,43	3,81	3,739	+0,07	—14,62	1,38		
— 0,83	4,34			—12,55	1,62	1,581	+0,04

Reihe G.

Temperatur.		Spannung		Unter- schied.	Temperatur.		Spannung		Unter- schied.
Therm. N.	Therm. No. 2.	beob.	berech.		Therm. N.	Therm. No. 2.	beob.	berech.	
0°,00	0°,00	mm. 4,61	mm.	mm.	—18°,41		mm. 0,98	mm. 0,963	+0,02
—27,21		0,46			—16,43		1,17	1,138	+0,03
—28,45		0,38			—16,15		1,15		
—28,39		0,43			—13,25		1,51		
—28,00		0,41	0,430	—0,02	—10,67	—10,71	1,88	1,851	+0,03
—27,80		0,48	0,438	+0,04	—10,29	—10,31	1,99		
—25,31		0,52			—7,81	—7,76	2,51		
—25,00		0,52	0,553	—0,03	—7,56	—7,59	2,49	2,423	+0,07
—22,74		0,71			—5,51	—5,57	2,94		
—21,79		0,71	0,724	—0,01	—5,37	—5,43	2,96	3,022	—0,06
—21,16		0,73			—3,72	—3,75	3,39	3,347	+0,04
—18,69		0,93			—3,68	—3,75	3,41		

Reihe H.

0,00		4,54			—12°,53	—12,59	1,61		
0,00		4,54			—12,26	—12,32	1,63		
0,00		4,54			—10,60	—10,65	1,97	1,862	+0,10
0,00		4,58			—10,47	—10,49	1,99		
0,00		4,58			—7,84	—7,90	2,40	2,355	+0,04
0,00		4,57			—7,64	—7,73	2,40		
0,00		4,58			—6,37	—6,38	2,79		
—32,84		0,27			—6,39	—6,41	2,82		
—32,78		0,28			—6,20	—6,24	2,88		
—32,26		0,29			—4,87	—4,86	3,20	3,037	+0,16
—30,67		0,33			—4,82	—4,84	3,20		
—30,89		0,32	0,339	—0,02	—3,64	—3,64	3,47		
—30,46		0,33			—3,51	—3,52	3,52		
—29,66		0,34			—2,16	—2,11	3,91		
—23,23		0,61			—2,38	—2,40	3,85		
—23,00		0,66			Th. 7.				
—23,71		0,57			+2,48		5,41		
—23,51		0,59			+2,24		5,31		
—22,27		0,66			+2,30		5,32		
—22,10		0,66	0,654	+0,01	+3,84		5,95		
—20,49		0,76			+3,85		5,97		
—20,28		0,72			+5,99		6,91		
—18,78		0,91	0,933	—0,02	+5,98		6,91		
—18,59		0,89	0,948	—0,05	+7,96		7,94		
—17,32	—17,43	1,01			+7,96		7,88		
—17,10	—17,14	1,04			+7,95		7,92		
—14,36	—14,44	1,34			+9,71		8,87		
—14,17	—14,26	1,38	1,372	—0,01	+9,70		8,87		

Reihe I.

Temperatur.	Spannung,		Unter-	Temperatur.	Spannung,		Unter-
Therm. No. 7.	beobachtet	berechnet.	schied.	Therm. No. 7.	beobachtet.	berechnet.	schied.
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00 C.		4,54		0°,00 C.	4,54		
0,00		4,54		0,00	4,52		
0,00		4,52		0,00	4,50		
0,00		4,54		0,00	4,50		
0,00		4,52		0,00	4,54		

Reihe J.

0,00		4,56		0,00	4,52		—0,08
0,00		4,53		7,61	7,64	7,808	—0,168
0,00		4,56		9,93	8,94	9,122	—0,182
0,00		4,54		12,34	10,46	10,693	—0,233
0,00		4,52		16,42	13,60	13,902	—0,302

Reihe K.

0,00	4,54			7,61	7,63		
0,00	4,54			7,61	7,65	7,808	—0,158
0,00	4,52			9,93	8,95	9,122	—0,172
0,00	4,54			9,93	8,93		
0,00	4,54			12,34	10,47	10,692	—0,222
0,00	4,56			12,34	10,45		
0,00	4,54			16,42	13,58		
0,00	4,56			16,42	13,62	13,901	—0,281

Reihe L.

0,00	4,66			24,36	22,65	22,668	—0,02
0,00	4,67			27,09	26,64	26,646	0,00
0,00	4,64			27,09	26,68		
0,00	4,62			28,27	28,58		
0,00	4,64			28,28	28,65	28,564	+0,09
0,00	4,66			26,87	26,36	26,31	+0,05
0,00	4,67			36,87	26,37		
0,00	4,66			33,71	38,92		
0,00	4,66			33,70	38,87	38,909	—0,04
9,77	9,03			37,07	46,83		
9,80	9,02	9,044	—0,02	37,06	46,89	46,845	+0,04
9,83	9,07			37,06	46,82		
12,75	11,00			41,03	57,97	58,002	—0,03
12,75	10,98	10,982	—0,00	41,03	58,06		
15,63	13,13			41,02	57,97		
15,63	13,18	13,22	—0,04	44,08	68,21		
18,94	16,25			44,08	68,24		
18,97	16,27	16,284	—0,01	44,08	68,09	68,072	+0,02
18,97	16,29			35,13	42,29	42,129	+0,16
21,37	18,77			35,13	42,35		
21,37	18,82	18,918	—0,10	35,13	42,27		
24,36	22,64						

Reihe M.

Temperatur.	Spannung.		Unterschied.	Temperatur.	Spannung.		Unterschied.
Therm. No. 7.	beobachtet	berechnet.		Therm. No. 7.	beobachtet.	berechnet.	
	mm.	mm.	mm.		mm.	mm.	mm.
0°,00C.	4,66			26°,68C.	26,08	26,012	+0,07
0,00	4,66			26,68	26,10		
0,00	4,66			36,15	44,54		
25,69	24,51			36,17	44,63		
25,69	24,54	24,533	- 0,01	36,17	44,65	41,615	+0,03
35,87	43,86			44,39	69,31		
35,87	43,90	43,886	+0,01	44,38	69,25	69,142	+0,13
43,66	66,67			51,22	97,41	97,718	- 0,30
43,66	66,60	66,602	0,00	51,21	97,39		
43,62	66,57			53,61	109,90		
49,58	90,10	90,076	+0,02	53,63	109,96	109,954	0,00
49,58	90,04			53,66	110,16		
49,58	90,04			58,34	137,29		
14,37	12,25	12,220	+0,03	58,38	137,78		
14,40	12,30			58,37	137,66	137,632	+0,03
26,69	26,12						

[Die vorstehenden Tafeln schliessen alle Versuche ein, welche ich in niederen Temperaturen über die Spannkraft des Wasserdampfs gemacht habe, allein ich glaube nicht, dass alle dieselbe Genauigkeit verbürgen. So flößen mir die Reihen J, K wenig Vertrauen ein, schon deshalb, weil die Unterschiede zwischen den berechneten und beobachteten Zahlen fortwährend mit der Temperatur zunehmen.]

IV. Die in den vorhergehenden Kapiteln auseinandergesetzten Methoden eignen sich nur für Temperaturen unterhalb 60 bis 70° C. Bei höheren Graden zertheilt sich das Wasser so rasch in ungleich heisse Schichten, dass es zur Verhütung dieses Uebelstandes eines fortwährenden Umrührens bedarf. Ueberdies werden diese Methoden bei Temperaturen über 100° gänzlich unbrauchbar.

Für hohe Temperatur nahm ich meine Zuflucht zu einem wohl bekannten Verfahren, welches von mehreren Physikern, namentlich von den HH. Arago und Dulong, angewandt worden ist. Es besteht darin, dass man die Temperatur bestimmt, bei welchem das Wasser unter einem bestimmten Drucke siedet. Es hat den Vorzug, dass

es bei höheren Drucken angewandt werden kann, und liefert, zweckmäfsig ausgeführt, sehr genaue Resultate.

In dem Apparat der HH. Arago und Dulong kam das Wasser nicht wirklich in's Sieden¹⁾. Seine Spannkraft wurde durch Wirkung der Wärme bis zu einem gewissen Maximum gesteigert, welches man mittelst eines Manometers bestimmte, während zugleich ein in den Dampf und ein in das flüssige Wasser des Kastens getauchtes Thermometer beobachtet wurden. Zu anderen Malen beobachtete man gleichzeitig die Thermometer und das Manometer, wenn die Temperatur noch im Steigen war, und sich dem Maximo näherte. Bei dieser Verfahrungsweise steht zu fürchten, dafs die Thermometer, welche nothwendig gegen die Temperatur des Dampfs etwas zurückbleiben, nicht denselben Grad wie dieser erreichen im Moment, wo sie ihr Maximum angeben.

Der Fehler, der daraus entspringen kann, ist bei Versuchen unter grofsen Drucken wahrscheinlich sehr schwach oder gar unmerklich, weil dann ein sehr kleiner Temperaturunterschied einer grofsen Aenderung in der Spannkraft entspricht; allein bei schwachen Drucken, z. B. bei kleinern als der der Atmosphäre, würde er vermuthlich nicht zu vernachlässigen seyn. Allein es ist leicht, dies Verfahren gegen allen Einwurf zu sichern, wenn man den Versuch unter genau denselben Umständen anstellt, wie den, bei welchem zur Bestimmung des Punktes 100 der Thermometer Wasser unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre siedet; und die Temperatur, bei welcher Wasser unter anderen Drucken zum Sieden kommt, läfst sich mit derselben Genauigkeit bestimmen. Dazu braucht man nur Wasser in einem Gefäfse siedend zu lassen, welches mit einem etwas grofsen Raume communicirt, in welchem man Luft nach Belieben zusammendrückt oder ausdehnt; diese Luft bildet eine künstliche Atmosphäre, welche auf

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. II, T. XLIII, p. 74.* (Ann. Bd. 18, S. 437.)

die Oberfläche des heißen Wassers einen Druck ausübt. Solchergestalt erhält man einen eben so stäten Siedepunkt, wie beim Kochen des Wassers an freier Luft, und man kann diese Temperatur so lange stationär halten wie man will.

Der zu diesem Behufe eingerichtete Apparat ist in Fig. 6, Taf. II abgebildet. Er besteht aus einer kupfernen Retorte *A*, verschlossen durch einen aufgebolzten Deckel. Dieser Deckel trägt vier unten geschlossene eiserne Röhren, von denen zwei bis zum Boden der Retorte, die beiden andern aber nur bis zu ihrer Mitte hinabgehen. Diese Röhren, welche 7 Millm. inneren Durchmesser und etwa 1 Millm. Dicke haben, sind umhüllt von einem Staucher aus sehr dünnem Kupfer, der am Deckel befestigt ist, und nach oben vier Oeffnungen *o, o, o, o* hat. Der Hals der Retorte steckt in einem Rohr *TT'* von etwa 1 Millm. Länge, welches umgeben ist von einer kupfernen Hülle, durch die man unausgesetzt einen Strom kalten Wassers leitet. Diefes Rohr communicirt mit einem kupfernen Ballon *B*, der 24 Liter faßt, und eingeschlossen ist in ein Gefäß *VV'* voll Wasser von der Temperatur der Umgebung. Der Ballon hat unten ein zweiarziges Ansatzrohr; in einen dieser Arme *xs* kittet man die Röhre *egh* des Apparates Fig. 2, wenn man die Versuche unter Drucken schwächer als der der Atmosphäre anstellt, oder die Röhre *pq* des Apparats Fig. 8, wenn die Versuche unter beträchtlicheren Drucken geschehen sollten. Der zweite Arm gemeinschaftet, mittelst einer bleiernen Röhre *tt'*, entweder mit einer gewöhnlichen Luftpumpe, um die Luft zu verdünnen, oder mit einer Druckpumpe, um sie zu verdichten.

Die vier eisernen Röhren sind bis auf einige Centimeter von der oberen Mündung mit Quecksilber gefüllt; sie nehmen Thermometer auf, deren Behälter bis zu ihrem Boden hinabgehen; zwei dieser Thermometer befinden sich sonach innerhalb des Dampfs, die beiden andern innerhalb des Wassers.

Man macht den Apparat so weit luftleer, daß nur ein sehr schwacher Druck darin bleibt. Dann erhitzt man das Wasser bis zum Sieden, wobei der Dampf sich in den Refrigerator TT' verdichtet, und in die Retorte zurückfließt. Der Druck, unter welchem das Sieden geschieht, wird gemessen durch den Höhenunterschied des Quecksilbers in der Röhre und des im Barometer. Die Quecksilbersäule, welche in der mit dem Ballon gemeinschaftenden Röhre gehoben wird, ist niemals absolut stationär; sie besitzt eine kleine Oscillationsbewegung, aber diese Bewegung hat nur eine ungemein beschränkte Amplitude, die bei zweckmäßiger Regulirung des Feuers unter der Retorte nicht auf 0,1 Millm. steigt. Der Beobachter verfolgt mit dem Faden des Fernrohrs am Kathetometer den Meniskus, und kann ihn leicht in Momenten absoluten Stillstands beobachten. Die Lage, welche dann der Meniskus einnimmt, ist genau die mittlere zwischen den Extremen, die er bei den kleinen Oscillationen erreicht. Das Barometer, welches in derselben Wanne steht, macht nur wenig merkliche Oscillationen, so daß man es nach der Beobachtung des Meniskus gemächlich ablesen kann.

Ein zweiter Beobachter liest von weitem die in die Retorte versenkten Thermometer mit einem Fernrohr ab, und vermeidet somit die Parallaxe bei der Ablesung.

Auf diese Weise wurde bei einem selben Druck eine gewisse Anzahl von Bestimmungen gemacht, in Zwischenzeiten von 8 bis 10 Minuten zwischen je zwei auf einander folgenden; so war es leicht, die vollkommene Constanz der bei gleichem Druck von den Thermometern angezeigten Temperaturen zu erkennen, und sich zu überzeugen, daß die geringste Aenderung im Druck von einer entsprechenden Aenderung in der Temperatur begleitet war.

Um einen größern Druck im Apparat hervorzubringen, öffnete man vorsichtig den Hahn r , und ließ die nöthige Luftmenge eintreten, um den gewünschten Druck herzustellen.

Dadurch erhielt man die Siedtemperaturen des Wassers stufenweise von den schwächsten Drucken an bis zu dem der Atmosphäre. Dieser letztere wurde am Barometer des Apparats selbst gemessen nach dem S. 133 angegebenen Verfahren.

Um die Siedpunkte des Wassers für Drucke größer als der der Atmosphäre zu bestimmen, richtete man den Apparat ein wie Fig. 6, d. h. ersetzte den Mefsapparat Fig. 2 durch den Fig. 8, und brachte die Röhre *tt'* mit einer Druckluftpumpe in Verbindung.

Die Röhre *mn* hat etwa 4 Meter Länge und 14 Millimeter innern Durchmesser; sie ist an einem genau lothrechten Brette befestigt. Drei zweckmäfsig vertheilte Thermometer mit grofsen Behältern geben die mittlere Temperatur der Quecksilbersäule in der Röhre *mn*.

Mittelst der Druckpumpe stellt man jeden beliebigen Druck im Apparate her. Dieser Druck wird gemessen durch die Barometerhöhe vergrößert um die Quecksilberhöhe, welche den Unterschied der beiden Quecksilberspiegel in den Röhren *mn* und *pq* darstellt. Die Bestimmung dieses letzteren Unterschiedes erfordert Vorsicht, wenn man eine grofse Genauigkeit erlangen will. Bei gegenwärtiger Einrichtung des Apparats oscilliren die Quecksilbersäulen beide in den Röhren *mn* und *pq*. Diese Oscillationen haben nur eine kleine Amplitude, und sind oft nur in dem stark vergrößernden Fernrohr des Kathetometers sichtbar. Dennoch würde man sich Fehlern aussetzen, die nicht zu vernachlässigen sind, wenn man den Meniskus im Rohre *mn* und den im Rohre *pq* successiv mit demselben Kathetometer messen wollte. Diefs ist übrigens auch unmöglich, wenn die Niveaudifferenz gröfser ist als 1 Meter, welches an unsern Kathetometern der längste Lauf ist. Man bediente sich zu gleicher Zeit zweier Kathetometer. Mit jedem dieser Instrumente verfolgte man einen der Menisken; es war dann leicht, die vollkommen entsprechenden Lagen beider Menisken zu beobachten,

wenn man die Momente wählte, wo die Oscillationen um den Gleichgewichtspunkt nur eine sehr kleine Amplitude, etwa von 0,1 Millm., hatten. Die Beobachtungen geschahen gleichzeitig durch zwei Personen, auf ein von einer derselben gegebenes Zeichen. Die Regulirung der Kathetometer geschah durch einen und denselben Merkstrich, der auf die Röhre *pq* sehr dicht bei der Lage, wohin man beständig den Meniskus führte, gezogen war.

Auch auf die Röhre *mn* waren in Abständen von 0,9 Met. Merkstriche gezogen, deren Abstände mittelst eines Kathetometers oftmals geprüft wurden, und dabei niemals Unterschiede von 0,1 Millm. zeigten, was hinreichend die Genauigkeit des Mefsverfahrens beweist. Ich wollte auch durch directe Messungen untersuchen, ob die Skalen der beiden Kathetometer identisch seyn, und welchen Grad von Genauigkeit man von dieser Beobachtungsweise erwarten könnte. Zu dem Ende stellte ich die beiden Instrumente einander gegenüber, so daß man mit dem Fernrohr des einen die Theilung des andern aufs Deutlichste sähe, und umgekehrt. Ich las dann von 5 zu 5 Centimetern die Theilung des einen Instruments mit dem mikrometrischen Apparat des andern ab. Ich erhielt somit auf den ganzen Lauf von 1 Meter nirgends einen Unterschied, der bis 0,05 Millm. stieg. Um eine solche Genauigkeit bei den Messungen zu erhalten, müssen die Instrumente mit großer Vollkommenheit gearbeitet seyn, die Fernröhre dürfen keine zu große Brennweite (0^m,30) haben, und vor allem müssen die Libellen der Fernröhre äußerst empfindlich seyn. Die Libellen der Kathetometer des Hrn. Gambey zeigen Neigungen von 1 Sekunde leicht an. Die Nonien geben unmittelbar 0,02 Millm., und leicht schätzt man noch 0,01.

Die bei diesen Versuchen angewandten Quecksilberthermometer waren gewöhnliche mit geraden Stielen. Ein Theil der Quecksilbersäulen ragte nothwendig aus dem Deckel der Retorte hervor, und erforderte also, da er

sich nicht in der Temperatur des Dampfs befand, eine Berichtigung. Diese Berichtigung wäre leicht, wenn man die mittlere Temperatur der Säulen mit hinreichender Genauigkeit konnte. Wenn der Stiel sich in freier Luft befindet, ist die Temperatur der Säule an verschiedenen Punkten ungleich, je nach dem Abstände dieser Punkte vom Deckel des Kessels. Um jede Unsicherheitsquelle zu vermeiden, hatten die HH. Arago und Dulong die Stiele ihrer Thermometer unmittelbar am Austritt aus den eisernen Röhren rechtwinklich gekrümmt und in horizontale Glasröhren eingeschlossen, welche ein Strom kalten Wassers, dessen Temperatur ein kleines Thermometer angab, durchstrich.

Mittelst dieses Kunstgriffs verringert man bedeutend die Säulenlänge, deren Temperatur unsicher ist; allein es ist an der Biegung immer ein beträchtliches Stück des Stiels, das nicht in das Wasser gebracht werden kann, und dessen Temperatur man nicht kennt. Ueberdies bieten die gekrümmten Thermometer mehrere bedeutende Uebelstände dar. Soll ihr Kaliber richtig seyn, so muß ihre Skale gänzlich in dem horizontalen Theil des Stiels enthalten seyn; folglich trifft die Berichtigung eine beträchtliche Anzahl von Graden. Die Lage der festen Punkte ist bei gekrümmten Thermometern auch schwieriger zu bestimmen als bei geraden. Diese Betrachtungen haben mich veranlaßt, Thermometer mit geraden Stielen anzuwenden, und sie so anzubringen, daß nur ein Theil der Skale zur Retorte herausragt. Ein kleines Thermometer, etwa in der Mitte der nicht eingetauchten Säulen, gab die Temperatur, welche man als Ausdruck der Mitteltemperaturen der nicht eingetauchten Quecksilbersäulen ansah. Es blieb zu wissen, ob die so vollzogenen Berichtigungen genau wären, oder ob sie abgeändert werden müßten, um ihren wahren Werth zu erhalten. Zur Entscheidung dieser Frage stellte ich folgende Versuche an.

Ein sehr genaues, vollkommen luftfreies Thermome-

ter, das von 0° bis 110° C. ging, hatte am Ende seines Stiels eine Erweiterung, in die sich ein Theil seines Quecksilbers ergießen konnte. Man bestimmte mit großer Sorgfalt den Nullpunkt dieses Thermometers in schmelzendem Eise, und den Hundertpunkt in Dampf von siedendem Wasser, welcher den Stiel gänzlich umgab. Unmittelbar darauf brachte man dasselbe Thermometer in eine der eisernen Röhren der Retorte, in welcher Wasser unter dem Druck der Atmosphäre siedete. Die Temperatur, welche das Thermometer unter diesen Umständen anzeigte, nachdem der nicht eingetauchte Theil der Röhre nach Angabe eines kleinen Thermometers, dessen Behälter sich in halber Höhe der Säule befand, berichtigt worden, war identisch mit der, welche man zuvor in dem Apparat erhalten hatte, als der Stiel gänzlich in den Dampf tauchte. Dieser Versuch war für den Erweis der Genauigkeit der Berichtigung noch nicht entscheidend, denn dazu müßte man annehmen, daß das in die Eisenröhre gesteckte Thermometer genau die Temperatur des Dampfes in der Retorte anzeigte. Dies Letztere läßt sich aber direct erweisen, und ich habe es daher nicht versäumt zu thun. Zu dem Ende liefs ich aus dem Stiel des Thermometers eine Portion Quecksilber austreten, und sich in die obere Erweiterung ergießen, dergestalt, daß wenn das Thermometer abermals in die eiserne Röhre der Retorte gesteckt war, und das Wasser unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre siedete, das Quecksilber einige Millimeter oberhalb des Deckels stehen blieb. Mittelst des horizontalen Fernrohrs eines Kathetometers las ich äußerst sorgfältig den Stand des Thermometers ab. Darauf steckte ich das Instrument in den Apparat, der zur Bestimmung des Hundertpunkts der Thermometer dient, und las eben so den Theilstrich ab, bei welchem die Quecksilbersäule stehen blieb. Es war mir unmöglich, zwischen den in beiden Fällen vom Thermometer angezeigten Temperaturen den geringsten Unterschied nach-

zuweisen, obwohl ein Grad eine Länge von 6 Abtheilungen der Skale einnahm.

Vorstehende zwei Versuche vereint beweisen: 1) daß die Thermometer unter den Umständen, unter welchen sie im Apparate Fig. 7 sind, die Temperatur des Dampfs annehmen; 2) daß die Berichtigung, welche ich für den nicht eingetauchten Theil des Stiels angegeben habe, für 100° richtig ist. In diesem Fall stieg für meine Thermometer die Berichtigung im Maximo auf $0^{\circ},35$. Ich habe angenommen, daß dieselbe Berichtigungsweise auch auf Temperaturen unter 100° gültig sey.

Zu den Versuchen bei niederen Drucken als der der Atmosphäre dienten Thermometer, die von 0° bis 100° gingen, und 5 bis 8 Abtheilungen auf den Grad umfaßten. Es war daher leicht, $\frac{1}{60}$ Grad mit Sicherheit abzulesen. Die vier Thermometer, die zu den Versuchen unter großem Drucke dienten, gingen von 0° bis etwa 240° C. Der Centigrad entsprach 2,5 bis 3 Theile ihrer Skale. Alle diese Instrumente waren von mir selbst mit großer Sorgfalt construirt und verificirt.

Um bei den Versuchen unter hohem Druck die nicht eingetauchten Theile der Säulen zu berichtigen, machte ich folgende Versuche.

Unter einem bestimmten Druck größer als der der Atmosphäre liefs ich Wasser in der Retorte sieden. Drei der vier Thermometer steckten in den eisernen Röhren; das vierte Eisenrohr enthielt ein Ausflussthermometer, so gefüllt, daß die Quecksilbersäule einige Millimeter oberhalb des Deckels stehen blieb, und deshalb keiner Berichtigung bedurfte. Man las dann die Angaben dieser vier Thermometer ab. Um die vom Ausflussthermometer angegebene Temperatur zu berechnen, mußte man an diesem Instrument die Lage des Hundertpunkts kennen. Diese Lage wurde direct bestimmt, durch Eintauchung des Thermometers in den Dampf von Wasser, das unter dem atmosphärischen Druck siedete.

Man kannte also die Temperatur des Ausflussthermometers, die keiner Berichtigung bedurfte, und die der andern Thermometer, die für den zur Retorte herausragenden Theil ihrer Säule berichtigt werden mußten. Es war folglich leicht zu sehen, ob die angewandte Berichtigungsweise diese Angaben zur Gleichheit brächte. Es ist gut zu bemerken, daß die nicht eingetauchten Theile der Säulen beträchtlich verschieden waren bei den drei Thermometern, und daß sie daher absolut sehr ungleiche Berichtigungen erforderten.

Die Versuche wurden etwa bei den Temperaturen 110, 120, 130 und 140° C. angestellt. Bei diesen Temperaturgränzen zeigten die Thermometer (berichtigt in der Annahme; daß die Mitteltemperatur ihrer herausragenden Stieltheile von einem mit seinem Behälter in deren halber Höhe befindlichen Thermometer angegeben ward) niemals gegen das Ausflussthermometer Unterschiede bis zu 0°,2. Sehr füglich lassen sich diese Unterschiede, wenigstens zum Theil, der Ungleichheit im Gange der Instrumente zuschreiben. Ich nehme demzufolge an, daß die Berichtigung, die nach dem aus einander gesetzten Princip an den nicht eingetauchten Säulen angebracht ward, bis zu 145° C. als hinlänglich genau angesehen werden kann.

In den folgenden Tafeln habe ich alle erlangten Resultate zusammengestellt. Es sind dabei die Angaben der in das Wasser und der in den Dampf getauchten Thermometer jede für sich gegeben. Man sieht, daß wenn das Wasser unter niedrigen Drucken siedete, das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer eine beträchtlich höhere Temperatur angab, als das im Dampf befindliche. Der Unterschied steigt bei sehr schwachen Drucken bis 0°,7; er nimmt ab in Maasse, als das Sieden unter größerem Druck geschieht, und wird endlich Null, wenn der Druck beim Sieden dem der Atmosphäre gleich ist. Bei höheren Drucken bemerkt man keinen erheblichen

Unterschied mehr, und dieß hat mich bewogen, in der Tafel V, die sich auf diese Drucke bezieht, nur das Mittel der vier Thermometer anzugeben.

Ich begann diese Reihe von Versuchen absichtlich mit sehr schwachen Drucken, um ihre Resultate zu vergleichen mit denen, die bei denselben Temperaturen nach den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Methoden erhalten wurden. Ich fand eine so vollständige Uebereinstimmung, wie man sie nur erwarten kann. Uebrigens ist klar, daß bei niederen Temperaturen die ersteren Methoden den Vorzug verdienen.

T a f e l IV.

Reihe N.

Therm. im Wasser.			Therm. im Dampf.			Spannung,		Unterschied.
O.	A.	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beobachtet.	berechnet.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
43,55	43,55	43,55	42,90	42,82	42,86	64,13	63,896	+0,25
43,64	43,55	43,59	42,89	42,83	42,86	64,13		
43,64	43,46	43,55	42,91	42,83	42,87	64,12		
49,49	49,50	49,495	48,95	48,99	48,97	87,59		
49,49	49,52	49,50	48,98	49,02	49,00	87,57		
49,53	49,54	49,535	48,98	49,00	48,99	87,55	87,455	+0,10
54,06	54,01	54,03	53,44	53,51	53,48	109,52		
54,04	54,03	54,035	53,45	53,51	53,48	109,60		
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,64		
54,07	54,05	54,06	53,46	53,51	53,49	109,64	109,21	+0,43
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,66		
57,37	57,38	57,375	56,78	56,86	56,82	128,47		
57,38	57,38	57,38	56,78	56,84	56,81	128,49	128,091	+0,40
57,40	57,37	57,385	56,78	56,84	56,81	128,43		
57,37	57,37	57,37	56,78	56,84	56,81	128,43		
61,31	61,39	61,35	60,84	60,89	60,86	155,18		
61,34	61,39	61,36	60,84	60,88	60,86	155,16	154,836	+0,32
61,38	61,47	61,42	60,88	60,93	60,90	155,40		
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62	194,280	+0,34
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62		
66,25	66,35	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62		
71,95	72,37	72,16	71,75	71,77	71,76	251,73		
71,95	72,38	72,165	71,74	71,77	71,76	251,73	251,463	+0,27
71,95	72,39	72,17	71,74	71,78	71,76	251,79		
76,69	76,83	76,76	76,49	76,47	76,48	306,71	306,908	-0,19
76,69	76,81	76,75	76,50	76,48	76,49	306,71		

Therm. im Wasser			Therm. im Dampf			Spannung,		Unter- schied.
O.	A.	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beob- achtet.	berech- net.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
76,68			76,46	76,44	76,45	306,47	306,524	— 0,05
76,68	76,79	76,73	76,46	76,43	76,45	306,41		
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00		
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00	356,229	— 0,23
80,28	80,40	80,34	80,12	80,09	80,115	356,00		
83,24	83,33	83,28	83,08	83,06	83,07	401,28		
83,24	83,33	83,28	83,07	83,05	83,06	401,30		
83,24	83,33	83,28	83,07	83,05	83,06	401,30	401,057	+ 0,24
83,24	83,32	83,28	83,07	83,04	83,06	401,30		
86,81	86,80	86,80	86,66	86,65	86,65	462,27		
86,81	86,83	86,82	86,66	86,66	86,66	462,26		
86,81	86,85	86,83	86,66	86,67	86,67	462,34	462,257	+ 0,08
86,81	86,88	86,85	86,67	86,67	86,67	462,34		
89,93	89,96	89,95	89,83	89,83	89,83	522,02		
89,94	89,98	89,96	89,83	89,83	89,83	522,02	522,058	— 0,04
89,94	89,90	89,92	89,84	89,83	89,83	522,00		
92,32	92,24	92,28	92,19	92,17	92,18	569,79		
92,31	92,22	92,26	92,18	92,15	92,17	569,79		
92,32	92,21	92,26	92,18	92,17	92,17	569,71		
92,32	92,28	92,30	92,20	92,21	92,20	569,83		
92,32	92,28	92,30	92,20	92,19	92,20	569,83	571,033	— 1,20
94,11	94,05	94,08	94,08	93,99	94,04	610,24		
94,10	94,01	94,05	94,04	93,97	94,00	610,54		
94,10	94,08	94,09	94,05	94,00	94,02	610,54		
94,10	94,08	94,09	94,04	94,01	94,02	610,54	611,194	— 0,65
95,79	95,77	95,78	95,77	95,74	95,75	651,64		
95,79	95,73	95,76	95,76	95,72	95,74	651,34	651,288	+ 0,05
95,79	95,74	95,78	95,77	95,73	95,74	651,32		
96,93	96,83	96,88	96,83	96,82	96,83	677,88		
96,92	96,83	96,88	96,85	96,82	96,84	677,98	678,060	— 0,08
96,92	96,86	96,89	96,89	96,85	96,87	677,92		
96,92	96,89	96,90	96,87	96,82	96,84	677,88		
98,75	98,82	98,78	98,76	98,70	98,73	727,07	726,205	+ 0,86
98,76	98,85	98,80	98,76	98,70	98,73	727,19		
100,20	100,16	100,18	100,20	100,13	100,17	765,70	765,10	+ 0,60

Reihe O.

47,84	47,56	47,70	47,16	47,17	47,16	80,19	79,94	+ 0,55
47,84	47,57	47,70	47,14	47,18	47,16	80,19		
62,40	62,40	62,40	62,06	62,01	62,04	163,44	163,469	— 0,02
62,40	62,41	62,40	62,06	62,01	62,04	163,44		
62,40	62,40	62,40	62,08	62,00	62,04	163,44		
71,75	71,76	71,75	71,42	71,45	71,44	248,17	248,045	+ 0,12
71,77	71,77	71,77	71,44	71,46	71,45	248,17		
71,75	71,77	71,76	71,42	71,46	71,44	248,17		
79,20	79,22	79,21	78,94	78,96	78,95	340,35	339,794	+ 0,56

Therm. im Wasser			Therm. im Dampf			Spannung,		Unter- schied.
O.	A.	Mittel.	No 8.	No. 7.	Mittel.	beob- achtet.	berech- net.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
79,20	79,22	79,21	78,94	78,95	78,95	340,27		
79,20	79,21	79,20	78,94	78,95	78,95	340,27		
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,72		
84,34	84,34	84,34	84,15	84,15	84,15	419,62	418,765	+0,86
84,34	84,34	84,34	84,15	84,14	84,15	419,64		
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,61		
87,60	87,57	87,58	87,47	87,43	87,45	476,38		
87,62	87,59	87,60	87,50	87,45	87,48	476,52	477,010	—0,49
87,62	87,60	87,61	87,52	87,47	87,49	476,50		
87,64	87,59	87,62	87,50	87,46	87,48	476,44		
89,94		89,94	89,75	89,75	89,75	519,59		
89,94	89,86	89,90	89,75	89,75	89,75	519,57	520,468	—0,90
89,92	89,82	89,87	89,73	89,74	89,73	519,37		
91,48	91,38	91,43	91,30	91,32	91,31	550,18		
91,48	91,34	91,41	91,30	91,32	91,31	550,36		
91,48	91,34	91,41	91,28	91,30	91,29	550,30	551,794	—1,49
91,46	91,34	91,40	91,28	91,30	91,29	550,22		
91,48	91,34	91,41	91,26	91,30	91,28	550,22		
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96		
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96		
92,58	92,29	92,44	92,41	92,37	92,39	573,98	575,120	—1,14
93,74	93,67	93,70	93,62	93,59	93,60	601,98		
93,80	93,65	93,72	93,67	93,63	93,65	601,96		
93,80	93,65	93,72	93,67	93,65	93,66	601,96		
93,79	93,65	93,72	93,69	93,63	93,66	602,02	603,070	—1,05
95,03	94,84	94,93	94,83	94,87	94,85	628,65		
95,03	94,85	94,94	94,85	94,87	94,86	628,61		
95,01	94,95	94,93	94,83	94,87	94,85	628,61	630,277	—1,66
95,92	95,83	95,87	95,84	95,80	95,82	653,22		
95,92	95,81	95,87	95,84	95,79	95,82	653,01		
95,92	95,83	95,87	95,82	95,78	95,80	652,97	652,725	+0,25
95,92	95,80	95,86	95,80	95,77	95,79	652,95		
96,93	96,77	95,85	96,76	96,77	96,76	676,24		
96,91	96,76	96,83	96,76	96,77	96,76	676,18	676,083	+0,10
96,91	96,75	96,83	96,74	96,76	96,75	676,14		
98,77	98,75	98,76	98,66	98,66	98,66	724,38	724,373	0,00
98,75	98,76	98,76	98,66	98,67	98,66	724,18		
100,23	100,10	100,16	100,25	100,12	100,18	765,11	765,114	0,00

Reihe P.

47,73	47,87	47,80	47,00	47,10	47,05	79,69	79,294	+0,40
47,59	47,75	47,69	46,92	47,01	46,96	79,53	78,95	+0,58
52,72	52,92	52,82	52,16	52,15	52,16	102,82	102,34	+0,48
53,01	53,18	53,09	52,49	52,47	52,48	104,79	103,96	+0,83
62,93	63,20	63,06	62,52	62,56	62,54	167,93	167,249	+0,68
63,14	63,37	63,25	62,73	62,76	62,75	169,32	168,86	+0,46

Therm. im Wasser			Therm. im Dampf			Spannung,		Unter- schied.
O.	A.	Mittel.	No. 8.	No. 7.	Mittel.	beob- achtet.	berech- net.	
° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
70,60	70,88	70,74	70,28	70,28	70,28	236,62	235,94	+ 0,68
70,87	71,17	71,02	70,60	70,60	70,60	239,78	239,23	+ 0,55
75,45	75,62	75,53	75,18	75,18	75,18	291,31	290,70	+ 0,61
75,57	75,85	75,71	75,32	75,32	75,32	293,12	292,34	+ 0,78
79,69	79,91	79,80	79,50	79,51	79,50	348,16	347,50	+ 0,66
82,96	83,16	83,06	82,81	82,78	82,80	397,74	396,93	+ 0,81
85,03	85,20	85,11	84,89	84,90	84,90	432,29	431,31	+ 0,95
90,83	90,87	90,85	90,70	90,67	90,68	539,51	539,20	+ 0,31
93,73	93,71	93,72	93,70	93,60	93,65	604,08	602,87	+ 1,21
96,84	96,80	96,82	96,82	96,69	96,76	676,29	676,08	+ 0,21
99,98	100,02	100,00	99,90	99,87	99,87	760,48	757,13	+ 3,35 ¹⁾

Reihe Q.

91,25	91,15	91,20	91,06	91,10	91,08	548,01	²⁾	
91,25	91,15	91,20	91,06	91,09	91,08	548,01	547,43	+ 0,58
91,25	91,15	91,20	91,07	91,10	91,09	547,91		
94,34	94,18	94,26	94,15	94,14	94,15	614,96		
94,34	94,19	94,27	94,15	94,15	94,15	614,94	614,15	+ 0,79
94,33	94,21	94,27	94,18	94,17	94,18	614,90		
96,58	96,51	96,55	96,52	96,49	96,50	668,66	669,69	- 1,03
96,58	96,52	96,55	96,50	96,49	96,50	668,64		
97,03	96,91	96,97	96,95	96,87	96,91	679,76		
97,03	96,89	96,96	96,92	96,86	96,89	679,56		
97,03	96,90	96,96	96,92	96,87	96,90	679,46	679,55	- 0,11
97,03	96,91	96,97	96,92	96,87	96,90	679,44		
97,52	97,46	97,49	97,46	97,42	97,44	692,92		
97,52	97,43	97,48	97,44	97,40	97,42	692,62	692,54	+ 0,08
97,52	97,42	97,47	97,41	97,38	97,40	692,62		
97,51	97,43	97,47	97,42	97,40	97,41	692,48		
98,45	98,49	98,47	98,39	98,41	98,40	717,85	717,60	+ 0,25
98,45	98,49	98,47	98,40	98,40	98,40	717,83		
98,45	98,49	98,47	98,39	98,40	98,40	717,81		
99,15	99,18	99,16	99,08	99,07	99,07	734,82	735,16	- 0,34
99,15	99,17	99,16	99,10	99,06	99,08	734,74		
99,15	99,17	99,16	99,08	99,05	99,06	734,70		
99,62	99,57	99,60	99,59	99,56	99,58	748,90	748,76	+ 0,14
99,62	99,57	99,60	99,61	99,57	99,59	748,92		
99,62	99,57	99,60	99,59	99,57	99,58	748,84		

1) Dieser letzte Versuch ist offenbar falsch; die Retorte communicirte direct mit der äußern Luft.

2) Diese Berechnungen geschahen nach der Formel (A) unter Annahme der Mitteltemperaturen, die von den im Dampf befindlichen Thermometern angegeben wurden.

Reihe R.

Thermometer im Wasser			Thermometer im Dampf			Mittel der vier Therm.	Spannung,		Unter- schied.
No. 10.	No. 12.	Mittel.	No. 0.	No. 11.	Mittel.		beobacht.	berechn. ¹⁾	
°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	°C.	mm.	mm.	mm.
99,85	99,82	99,83	99,80	99,83	99,82	99,83	751,61		
100,74	100,68	100,71	100,72	100,71	100,71	100,71	776,03		
100,82	100,72	100,77	100,72	100,71	100,71	100,74	777,09	779,86	- 2,77
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,87	905,45	+ 0,58
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,32		
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,60	1131,35	+ 0,25
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,34		
116,12	116,08	116,10	116,07	116,01	116,04	116,07	1302,37	1302,37	0,00
116,06	116,08	116,07	116,07	116,01	116,04	116,06	1302,23		
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25	1600,52	+ 0,73
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25		
128,51	128,57	128,54	128,53	128,41	128,47	128,50	1925,20	1918,02	+ 7,18
128,51	128,57	128,54	128,55	128,37	128,46	128,50	1925,48		
128,63	128,69	128,66	128,66	128,49	128,57	128,62	1931,14		
128,59	128,61	128,60	128,62	128,45	128,53	128,57	1929,36		
131,38	131,39	131,38	131,38	131,23	131,30	131,35	2094,69	2090,72	+ 5,75
131,42	131,43	131,42	131,42	131,27	131,34	131,38	2096,47		
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03	2372,33	+ 0,70
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03		
138,37	138,36	138,36	138,28	138,20	138,24	138,30	2561,73	2560,18	+ 1,32
138,37	138,40	138,39	138,32	138,20	138,26	138,32	2561,50		
140,92	140,91	140,91	141,01			140,95	2758,69		

140,88	140,91	140,90	141,01	143,76	143,93	140,93	2756,17	2757,93	- 1,76
143,88	143,93	143,90	144,10	143,68	143,83	143,92	2997,75	2991,67	+ 1,12
143,84	143,85	143,85	143,98	145,58	145,63	145,65	2992,79	3150,42	+ 1,13
145,69	145,67	145,68	145,68	145,60	145,64	145,69	3149,41	3148,28	- 1,53
145,73	145,71	145,72	145,72	145,60	145,66	145,69	3307,33	3308,86	+ 1,17
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,52		
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,39		
128,34	128,28	128,31	128,44	128,19	128,32	128,32	1908,81	1907,64	
128,34	128,28	128,31	128,44	128,19	128,32	128,32	1910,09		
126,17	126,15	126,16	126,26	126,13	126,20	126,18	1794,11	1788,76	+ 5,35
126,17	126,15	126,16	126,24	126,13	126,20	126,17	1793,47		
126,17	126,15	126,16	126,26	126,15	126,20	126,18	1793,12		
122,82	122,87	122,88	123,02	122,82	122,90	122,89	1620,04	1615,01	+ 3,53
122,82	122,83	122,82	122,98	122,78	122,88	122,85	1618,54		
122,82	122,83	122,82	122,94	122,78	122,86	122,84	1618,70		
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,30	1442,28	+ 5,02
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,37		
117,50	117,37	117,43	117,52	117,41	117,46	117,45	1364,90	1361,68	+ 3,22
117,46	117,41	117,43	117,52	117,37	117,44	117,44	1361,78		
110,68	110,72	110,70	110,67	110,64	110,65	110,68	1095,44	1091,58	+ 3,86
110,68	110,68	110,68	110,67	110,64	110,65	110,66	1094,68		
99,74	99,69	99,72	99,78	99,80	99,79	99,75	753,96		

1) Die Berechnungen geschahen nach der Formel (C) unter Annahme der Mittel aus den vier Thermometerständen.

Reihe T.

Temperatur,		Spannung,		Unterschied.
im Dampf	im Wasser	beobacht.	berechnet.	
No. 11.	No. 2.			
° C.	° C.	mm.	mm.	mm.
121,13	121,16	1530,27	1530,68	— 0,41
121,13	121,16	1529,96		
121,11	121,16	1529,18		
123,91	123,90	1668,71	1668,88	— 0,17
123,91	123,94	1670,34		
123,91	123,94	1670,32		
128,47	128,40	1915,12	1912,25	+ 2,87
128,47	128,38	1915,96		
130,18	130,12	2012,51	2013,65	— 1,14
130,20	130,15	2015,34		
131,57	131,45	2097,93	2095,07	— 2,86
131,57	131,45	2097,93		
131,63	131,51	2098,28		
133,32	133,21	2209,20	2207,00	+ 2,20
133,28	133,20	2209,08		
136,09	135,92	2387,99		
136,02	135,85	2386,07	2382,84	+ 3,23
136,00	135,83	2386,81		
137,52	137,75	2514,79		
137,54	137,77	2515,30	2520,10	— 4,80
137,54	137,77	2515,30		
137,54	137,77	2514,99		
138,89	138,90	2599,23	2603,04	— 3,81
138,89	138,90	2599,18		
138,87	138,88	2597,97		
138,82	138,84	2597,34		
138,80	138,82	2596,43		
138,75	138,66	2591,65		
138,74	138,66	2591,65		
138,74	138,65	2591,29		
138,73	138,64	2590,61		
141,59	141,61	2803,05		
141,54	141,57	2799,68		
141,56	141,58	2801,18	2808,82	— 7,64
141,56	141,58	2801,77		
141,56	141,59	2802,03		
144,15	144,10	3010,19		
144,17	144,12	3010,73	3015,93	— 5,20
144,17	144,12	3009,44		
145,98	145,88	3163,67		
145,98	145,88	3163,63	3166,64	— 5,01
145,98	145,88	3163,66		
148,30	148,20	3360,74		
148,30	148,20	3361,36	3374,53	— 13,17
148,30	148,20	3361,36		
148,30	148,24	3361,03		
148,26	143,20	3359,54		

[Bei den Berechnungen der Reihe T gebrauchte man die Angaben des Thermometers No. 11, welches eins von den zu den Reihen R und S angewandten ist. Das Thermometer No. 2 zerbrach späterhin durch Zufall, deshalb habe ich seine Angaben nicht berücksichtigt.]

Es handelt sich nun darum, eine Interpolationsformel aufzufinden, welche alle Beobachtung auf eine genügende Weise wiedergibt, und die einer gegebenen Temperatur entsprechende Spannkraft des Wasserdampfs bestimmen läßt.

Man hat, um die Spannkraft des Wasserdampfs in Function der Temperatur auszudrücken, eine große Anzahl verschiedenartiger Formeln aufgestellt. Einige derselben sind als bloße Interpolationsformeln gegeben, andere dagegen mit größeren Anprüchen, als wirkliche Ausdrücke des Gesetzes der Erscheinung.

Du Prony hat zuerst einen Ausdruck von der Form

$$e = a\alpha^t + b\beta^t + c\gamma^t + d\delta^t$$

aufgestellt, und zur Berechnung der Coëfficienten a , b , c , d und der Exponentialbasen α , β , γ , δ aus den Beobachtungen eine allgemeine Methode gegeben¹⁾.

Thomas Young hat die von mehreren Physikern angenommene Formel

$$e = (a + bt)^m$$

vorgeschlagen.

Die HH. Dulong und Arago haben einen Ausdruck von derselben Form angenommen. Die von diesen berühmten Physikern berechnete Formel

$$e = (1 + 0,7153t)^5$$

schließt nur eine Constante ein, die mittelst einer einzigen ihrer Beobachtungen, mittelst der beim stärksten Druck gemachten, bestimmt wurde.

Roche hat die Formel

$$e = a\alpha^{\frac{t}{m+nt}}$$

vorgeschlagen. Er giebt sie nicht als bloße Interpolationsformel, sondern als mathematischen Ausdruck des

1) *Journ. de l'école polytechnique. Coh. II, p. 1.*

Phänomens. Dieselbe Formel wurde seitdem von mehren Physikern reproducirt, namentlich von Hrn. August ¹⁾. Sie repräsentirt meine Beobachtungen zwischen den Gränzen, die zur Berechnung der Constanten dienten, ziemlich gut. Ich habe Gelegenheit gehabt, mich davon zu überzeugen, indem ich mittelst der Spannungen bei 0° , 50° und 100° drei Constanten berechnete; allein es ist leicht zu ersehen, daß sie nicht das mathematische Gesetz des Phänomens ausdrückt, und deshalb nur als eine Interpolationsformel zu betrachten ist; die Function ist discontinuirlich, und stellt eine Curve mit zwei Zweigen dar. Im Fall $\alpha > 1$ hat einer dieser Zweige, welcher die beobachteten Spannungen vorstellen soll, einen Haltepunkt für $t = -\frac{m}{n}$ und $e = 0$. Die Curve ist alsdann Tangente zur Axe der t ; von diesem Punkt ab, gegen die positiven t hin, kehrt die Curve ihre Convexität gegen die Axe der t , sie zeigt einen Beugepunkt für $t = \frac{m(\log \alpha - 2n)}{2n^2}$, endlich ist sie Asymptote zur Gerade $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, parallel der Axe der t . Der andere Zweig ist Asymptote zu derselben Geraden $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, und zu der mit der Axe der e parallelen Geraden $t = -\frac{m}{n}$.

Endlich hat Hr. Biot eine neue Interpolationsformel aufgestellt, und mittelst derselben eine Tafel über die Spannkraft des Wasserdampfs von -20° bis 220° berechnet; er stützt sich dabei für die Temperaturen unter 100° auf die Versuche des Hrn. Gay-Lussac, und für die höheren Temperaturen auf die der HH. Dulong und Arago ²⁾. Die Formel des Hrn. Biot ist analog der von

1) Poggendorff's Annal., Bd. 13, S. 122. — Dieselbe Formel wurde von Hrn. Magnus bei der S. 141 erwähnten Arbeit adoptirt.

2) *Compt. rend. de l'acad. T. XII, p. 150.* (Ann. Bd. 44, S. 627).

Prony; nur setzt Hr. Biot die Summe der Exponentialgrößen dem Logarithmen der Spannkraft gleich, und nicht der Spannkraft selbst. Er findet, daß man sich auf drei Glieder beschränken, und selbst die Basis der einen Exponentialgröße gleich 1 annehmen könne; solchergestalt nimmt er die folgende Formel an:

$$\log e = a + b\alpha^t + c\beta^t.$$

Die fünf Constanten, die in diesen Ausdruck eintreten, werden durch fünf zweckmäßig in der Temperaturskala vertheilte Beobachtungen bestimmt. Ich habe Herrn Biot's Interpolationsformel angenommen; sie scheint mir zu vielen physikalischen Phänomenen mit Vortheil anwendbar zu seyn, und besonders zu den Relationen zwischen Spannkraften und Temperaturen.

Für den Augenblick bezwecke ich nicht eine Formel aufzustellen, die das Phänomen in seiner ganzen Ausdehnung umfaßt, denn die von mir unter hohen Drucken angestellten Beobachtungen sind noch nicht vollständig genug, und müßten weiter getrieben werden. Diese Beobachtungen bieten übrigens eigenthümliche Schwierigkeiten dar, die ich bald anzeigen werde, und die mich abgehalten haben, sie als entscheidend zu betrachten.

Ich bestimme die fünf Constanten der Formel:

$$\log e = a + b\alpha_1^t + c\beta_1^t,$$

mittelst der Spannkraften, die den Temperaturen 0, 25, 75, 100 entsprechen. Seyen A, B, C, D, E ihre Logarithmen, und setzen wir überdies:

$$(\alpha_1)^{25} = \alpha \quad ; \quad (\beta_1)^{25} = \beta,$$

woraus:

$$\alpha_1 = {}^{25}\sqrt{\alpha} \quad ; \quad \beta_1 = {}^{25}\sqrt{\beta},$$

dann haben wir die fünf Bedingungsgleichungen:

$$A = a + b + c \quad \dots (1)$$

$$B = a + b\alpha + c\beta \quad \dots (2)$$

$$C = a + b\alpha^2 + c\beta^2 \quad \dots (3)$$

$$D = a + b\alpha^3 + c\beta^3 \quad \dots (4)$$

$$E = a + b\alpha^4 + c\beta^4 \quad \dots (5).$$

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) zieht man:

$$a = \frac{[A\alpha\beta - (\alpha + \beta)B + C](\alpha - \beta)}{(\alpha - 1)(\beta - 1)(\alpha - \beta)}$$

$$b = \frac{[A\beta - (1 + \beta)B + C](\beta - 1)}{(\alpha - 1)(\beta - 1)(\alpha - \beta)}$$

$$c = \frac{[-A\alpha + (1 + \alpha)B - C](\alpha - 1)}{(\alpha - 1)(\beta - 1)(\alpha - \beta)}.$$

Substituirt man diese Werthe in den Gleichungen (4) und (5), so erhält man zwei Gleichungen, die nur α und β einschließen.

Zieht man die Gleichung (2) von der Gleichung (4) ab, so kommt:

$$D - B = b\alpha(\alpha^2 - 1) + c\beta(\beta^2 - 1),$$

und substituirt man für b und c ihre Werthe, und reducirt:

$$D - B = A\alpha\beta - B(\alpha + 1)(\beta + 1) + C(\alpha + \beta + 1) \quad \dots (6),$$

oder:

$$D - C = (A - B)\alpha\beta - (B - C)(\alpha + \beta) \quad \dots \dots \dots (7).$$

Durch Subtraction der Gleichung (3) von Gleichung (5) kommt:

$$E - C = \beta\alpha^2(\alpha^2 - 1) + c\beta^2(\beta^2 - 1),$$

und für b und c ihre Werthe gesetzt, und reducirt:

$$(\alpha + \beta)[A\alpha\beta - B(\alpha + 1)(\beta + 1) + C(\alpha + \beta + 1)] + A\alpha\beta - C\alpha\beta = E - C,$$

oder vermöge der Gleichung (6):

$$(\alpha + \beta)(D - B) + (A - C)\alpha\beta = E - C \quad \dots \dots \dots (8).$$

Aus den Gleichungen (6) und (8) zieht man:

$$\alpha + \beta = \frac{(D - C)(A - C) - (E - C)(A - B)}{(A - C)(C - B) - (A - B)(A - C)}$$

$$\alpha\beta = \frac{(E - C)(C - B) - (A - C)(D - C)}{(A - C)(C - B) - (A - B)(A - C)},$$

woraus α und β , mithin auch α_1 und β_1 hervorgehen.

Die Werthe der Coëfficienten a , b , c berechnen sich dann durch die Formeln:

$$b = \frac{A\beta - (1 + \beta)B + C}{(\alpha - \beta)(\alpha - 1)}$$

$$c = \frac{-A\alpha + (1 + \alpha)B - C}{(\alpha - \beta)(\beta - 1)}$$

$$a = A - b - c.$$

In den vorhergehenden Tafeln findet man eine große Anzahl von Bestimmungen der Spannkraft des Wasser-

dampfs bei 0° ; allein es herrscht unter diesen Bestimmungen kein so vollkommener Einklang, wie ich wohl gewünscht hätte. Zwar sieht man die in einer selben Reihe enthaltenen Zahlen nur sehr wenig von einander abweichen, was beweist, daß die Beobachtungsfehler äußerst gering sind. Allein wenn man eine Reihe mit der andern vergleicht, sind die Unterschiede merklicher, und im Allgemeinen, wenn sich bei 0° ein Unterschied zeigt, hält er sich fast auch constant in den höhern Temperaturen. Diese Unterschiede entspringen also aus constanten Fehlern, die ich vergebens zu entfernen gesucht habe. Zur Berechnung der Formel habe ich die Zahl $4^{\text{mm}},60$ als Spannung bei 0° angenommen; sie ist das Mittel zwischen den äußersten Beobachtungen 4,52 und 4,68.

Die den Spannungen 25, 50 und 75 entsprechenden Temperaturen wurden erhalten, indem man nach den Resultaten der Versuche die Spannungen in großem Maafsstabe graphisch construirte, und den numerischen Werth der zur Curve genommenen Ordinate durch eine kleine Interpolation, gemacht an den benachbarten, unmittelbar durch die Beobachtungen gegebenen Punkte, rectificirte. Diese Interpolation hat den Werth der Ordinaten, die den Temperaturen $t=25^{\circ}$ und $t=50^{\circ}$ entsprechen, nicht merklich geändert. Für $t=75^{\circ}$ gab die graphische Curve $e=288^{\text{mm}},8$; die Interpolation reducirte diesen Werth auf $288^{\text{mm}},50$.

Ausgehend von den Daten:

$t = 0^{\circ}$	$e = 4,60$ Millm.
$t = 25$	$e = 23,55$ -
$t = 50$	$e = 91,98$ -
$t = 75$	$e = 288,50$ -
$t = 100$	$e = 760,00$ -

findet man:

$$\left. \begin{array}{l} \log \alpha_1 = 0,006865036 \\ \log \beta_1 = 0,9967249-1 \\ \log h = 0,1340339-2 \\ \log c = 0,6116485 \\ a = +4,7384380 \end{array} \right\} \dots (A).$$

Aus den Tafeln kann man ersehen, welcher Einklang zwischen den aus dieser Formel abgeleiteten und den direct beobachteten Resultaten besteht.

Ich habe gesucht, dieselbe Formel auf Temperaturen unter 0° anzuwenden, habe aber gefunden, daß die also abgeleiteten Spannkkräfte immer höher sind als die beobachteten. Für die ersten negativen Grade der Skale ist der Unterschied zwar sehr klein, aber gegen -25° C. steigt er auf $0^{\text{mm}},25$, so daß die durch die Formel gegebene Curve von 0° steigt, und sich für die fernerer Grade unter 0° successiv von der beobachteten Curve entfernt.

Jene Formel kann also für sehr tief unter 0° liegende Temperaturen nicht angewandt werden. Für diese habe ich eine kleine Interpolationsformel angewandt, nämlich:

$$e = a + b\alpha^x \dots \dots \dots (B),$$

worin $x = t - 32$ Grade.

Die drei Constanten wurden durch folgende drei Werthe bestimmt:

$$\begin{array}{lll} t = -32 & x = 0 & e = 0,31 \text{ Millm.} \\ t = -16 & x = 16 & e = 1,18 \quad - \\ t = 0 & x = 32 & e = 4,60 \quad - \end{array}$$

So erhielt man:

$$\left. \begin{array}{l} \log b = 0,4724984-1 \\ \log a = 0,0371566 \\ a = +0,0131765 \end{array} \right\} \dots (B).$$

Bei allen meinen Versuchen wurden die Temperaturen durch Quecksilberthermometer gemessen, welche gegen Luftthermometer den Vorzug haben, daß sie eine weit pünktlichere und genauere Ablesung gestatten; allein über 100° werden die Angaben der Quecksilberthermometer unsicher; sie variiren sogar für eine und dieselbe Temperatur nach der Natur des zum Behälter genommenen Glases, und wahrscheinlich auch nach der

Art, wie dieser Behälter geblasen worden ist. Die vier Thermometer, die zu den Versuchen über 100° dienten, waren aus Röhren von Krystallglas, das aus Einem Tiegel genommen worden, construiert, und die Behälter durch einen und denselben Künstler daran geschmolzen; dennoch zeigten diese Thermometer in ihrem Gange keinen so vollkommenen Einklang, als man nach der ungemainen Sorgfalt, die man auf die Anfertigung und Prüfung der Skale verwandt hatte, wohl zu erwarten berechtigt gewesen wäre. Man würde diesen Uebelstand vermeiden, wenn man die Temperaturen über 100° direct an einem Luftthermometer beobachtete; allein wenn dieß letztere Instrument einer gewissen Genauigkeit fähig seyn soll, so muß es beträchtliche Dimensionen haben, damit die Röhren, in welchen man die Aenderungen der Spannkraft der Luft mißt, einen so großen Durchmesser haben können, daß sie keine merkliche Variation in der Capillarität zeigen. Ein Instrument dieser Art konnte aber nicht mit meinen Apparaten verknüpft werden. Ich habe es vorgezogen, die Temperaturen direct durch Quecksilberthermometer zu messen, und darauf diese selben Thermometer mit einem gehörig construirten Luftthermometer zu vergleichen, indem ich sie unter ähnliche Umstände versetzte wie die, bei welchen sich diese Instrumente in der Retorte befanden. Ich habe mehre Probeversuche zum Behufe dieser Vergleiche gemacht, aber die Resultate genügten mir noch nicht; ich beabsichtige neue Versuche anzustellen, die ich mit der Ergänzung meiner gegenwärtigen Beobachtungen, denen über die Spannkraft des Wasserdampfs in höheren Temperaturen, veröffentlichen werde.

Einstweilen halte ich es für zweckmäfsig, die bisher in höhern Temperaturen angestellten Beobachtungen durch eine provisorische Interpolationsformel zu verknüpfen, damit man ihren Gang leichter studiren könne. Ich nehme blofs eine Formel mit zwei Gliedern:

$$\log e = a + b\alpha^x.$$

Die drei Constanten dieser Formel wurden nach folgenden Werthen berechnet:

$$t=100^{\circ} \quad e=760,0 \text{ Millm.}$$

$$t=123 \quad e=1621,0 \quad -$$

$$t=146 \quad e=3177,0 \quad -$$

Sie wurden von der nach den Beobachtungen der Reihe R construirten Curve abgenommen. Somit fand man:

$$\left. \begin{array}{l} \log a = 0,9977641 - 1 \\ \log b = 0,4692291 \\ a = +5,8267890 \end{array} \right\} \dots (C).$$

Die Formel ist:

$$\log e - b \alpha^x \quad x = t - 100 \dots (C).$$

Aus den Tafeln kann man ersehen, daß diese Formel die Beobachtungen ziemlich gut wiedergiebt; der größte Unterschied steigt auf $13^{\text{mm}},2$; er entspricht in der Schätzung der Temperatur einem Fehler von $0^{\circ},15$.

Die in dieser Abhandlung veröffentlichten Versuche sind also repräsentirt durch drei partielle Interpolationsformeln, die vorzugsweise den Zweck haben, den Gang der Beobachtungen zu studiren. Wenn ich dahin gelangt seyn werde, meine Versuche in höheren Temperaturen zu vervollständigen, und die dabei angewandten Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer zu vergleichen, will ich untersuchen, ob es möglich sey, die Beobachtungen in ihrer ganzen Ausdehnung durch eine einzige Formel auszudrücken.

Am Schlusse dieser Abhandlung findet man die Tafel der Spannkkräfte des Wasserdampfs, berechnet mittelst der Formeln *A* und *B*, für alle Temperaturgrade zwischen -32° und 100° C.

Für Temperaturen unter 100° lassen sich über die Spannkraft des Wasserdampfs sehr genaue Bestimmungen erhalten, wenn man bei Besteigung eines Berges den Siedpunkt des Wassers an verschiedenen Orten beobachtet. Die HH. Bravais und Peltier waren so gut, auf meine

Bitte einige Versuche der Art während ihrer Besteigung des Faulhorns im Sommer 1842 anzustellen. Die Notiz, welche das Detail dieser Versuche enthält, ist in den *Compt. rend. de l'acad.*, T. XVIII, p. 572, veröffentlicht ¹⁾.

Die von den HH. Bravais und Peltier gefundenen Zahlen zeigen ziemlich große Unterschiede mit den aus meinen Beobachtungen abgeleiteten. Es ist jedoch zu bemerken, daß das von diesen Physikern angewandte Thermometer sehr große Unregelmäßigkeiten in der Lage des Nullpunktes darbot; ähnliche Unregelmäßigkeiten müssen sich nothwendig beim Siedpunkt gezeigt haben.

Eine andere Reihe von Versuchen wurde im December 1843 von Hrn. Marié, Prof. der Physik am Collège zu St. Etienne, bei einer Besteigung des Mont Pila angestellt. Die Details dieser Versuche sind in den *Compt. rend. de l'acad.*, T. XVIII, p. 252, veröffentlicht.

Ich begnüge mich, die Resultate hieher zu schreiben, und daneben die für dieselben Temperaturen aus meinen Beobachtungen berechneten Spannkraft:

Siedpunkt.	Spannkraft,		Unterschied.	Siedpunkt.	Spannkraft,		Unterschied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
° C.	mm.	mm.	mm.	° C.	mm.	mm.	mm.
99,87	756,69	756,59	+0,10	96,80	679,63	677,07	+2,56
99,40	745,06	743,94	+1,12	96,38	666,94	666,75	+0,19
98,61	723,52	723,06	+0,46	95,95	655,79	656,33	-0,54
98,36	716,45	716,56	-0,11	95,49	645,99	645,33	+0,66
97,70	700,30	699,63	+0,67				

Man sieht, die Beobachtungen des Hrn. Marié stimmen mit der Formel so gut überein, als man es nur wünschen kann.

1) Neuere Beobachtungen der Art sind in dies. Ann., Bd. 65, S. 365 u. 368, mitgetheilt. P.

Spannkraft des Wasserdampfs von -32° bis -1° C.

Tempera- tur.	Spann- kraft.	Unter- schied.	Tempera- tur.	Spann- kraft.	Unter- schied.
$^{\circ}$ C.	mm.	mm.	$^{\circ}$ C.	mm.	mm.
— 32	0,310		— 16	1,179	0,095
— 31	0,336	0,026	— 15	1,284	0,105
— 30	0,365	0,029	— 14	1,398	0,114
— 29	0,397	0,032	— 13	1,521	0,123
— 28	0,431	0,034	— 12	1,656	0,135
— 27	0,468	0,037	— 11	1,803	0,147
— 26	0,509	0,041	— 10	1,963	0,160
— 25	0,553	0,044	— 9	2,137	0,174
— 24	0,602	0,049	— 8	2,327	0,190
— 23	0,654	0,052	— 7	2,533	0,206
— 22	0,711	0,057	— 6	2,758	0,225
— 21	0,774	0,063	— 5	3,004	0,246
— 20	0,841	0,067	— 4	3,271	0,267
— 19	0,916	0,075	— 3	3,553	0,282
— 18	0,996	0,080	— 2	3,879	0,326
— 17	1,084	0,088	— 1	4,224	0,345

Spannkraft des Wasserdampfs von 0° bis 100° C.

0	4,600		28	28,101	1,596
1	4,940	0,340	29	29,782	1,681
2	5,302	0,362	30	31,548	1,766
3	5,687	0,385	31	33,406	1,858
4	6,097	0,410	32	35,359	1,953
5	6,534	0,437	33	37,411	2,052
6	6,998	0,464	34	39,565	2,154
7	7,492	0,494	35	41,827	2,262
8	8,017	0,525	36	44,201	2,374
9	8,574	0,557	37	46,691	2,490
10	9,165	0,591	38	49,302	2,611
11	9,792	0,627	39	52,039	2,737
12	10,457	0,665	40	54,906	2,867
13	11,162	0,705	41	57,910	3,004
14	11,908	0,746	42	61,055	3,145
15	12,699	0,791	43	64,346	3,291
16	13,536	0,837	44	67,790	3,444
17	14,421	0,885	45	71,391	3,601
18	15,357	0,936	46	75,158	3,767
19	16,346	0,989	47	79,093	3,935
20	17,391	1,045	48	83,204	4,111
21	18,495	1,104	49	87,499	4,295
22	19,659	1,164	50	91,982	4,483
23	20,888	1,229	51	96,661	4,679
24	22,184	1,296	52	101,543	4,882
25	23,550	1,366	53	106,636	5,093
26	24,988	1,438	54	111,945	5,309
27	26,505	1,517	55	117,478	5,533

Tempera- tur.	Spann- kraft.	Unter- schied.	Tempera- tur.	Spann- kraft.	Unter- schied.
° C.	mm.	mm.	° C.	mm.	mm.
56	123,244	5,766	79	340,488	13,677
57	129,251	6,007	80	354,643	14,155
58	135,505	6,254	81	369,287	14,644
59	142,015	6,510	82	384,435	15,148
60	148,791	6,776	83	400,101	15,666
61	155,839	7,048	84	416,298	16,197
62	163,170	7,331	85	433,041	16,743
63	170,791	7,621	86	450,344	17,303
64	178,714	7,923	87	468,221	17,877
65	186,945	8,231	88	486,687	18,466
66	195,496	8,551	89	505,759	19,072
67	204,376	8,880	90	525,450	19,691
68	213,596	9,220	91	545,778	20,328
69	223,165	9,569	92	566,757	20,979
70	233,093	9,928	93	588,406	21,649
71	243,393	10,300	94	610,740	22,334
72	254,073	10,680	95	633,778	24,038
73	265,147	11,074	96	657,535	23,757
74	276,624	11,477	97	682,029	24,494
75	288,517	11,893	98	707,280	25,251
76	300,838	12,321	99	743,305	26,025
77	313,600	12,762	100	760,000	26,695
78	326,811	13,211			

VI. *Ueber die Anwendung einer neuen empirischen Formel auf die Spannung der Dämpfe;*
von Herrn Emile Barry.

(*Compt. rend., T. XX, p. 1574.*)

Um seine Versuche über die Spannkraft des Wasserdampfs mathematisch auszudrücken, hat Hr. Regnault die von Hrn. Biot aufgestellte Formel

$$\log y = a + b\alpha^t + c\beta^t \dots\dots\dots (E)$$

gewählt, in welcher y die Spannkraft des Dampfs für die Temperatur t , und a, b, c, α, β Constanten sind, die mittelst fünf Paare von Beobachtungen bestimmt werden ¹⁾.

1) *Ann. de chim. et de phys., Ser. III, T. XI, p. 325.* (S. S. 169 dieses Heftes.)