



J. 360<sup>a</sup>.





a.







Versuche  
über die  
**Expansivkraft,**  
Dichte und latente Hitze  
des  
reinen Wasserdampfes  
bey  
verschiedenen Temperaturen,  
und über  
die Ausdehnung der trocknen und feuchten Luft  
durch die Wärme,  
von  
**G. G. Schmidt,**  
Professor der Physik und Mathematik in Gießen.

---

Mit zwey Kupfertafeln.

---

Leipzig, 1798.  
Bey Johann Ambrosius Barth.

*Juz  
W. n.*

W. F. M.

1813

Geographie

Die Erde und ihre Bewohner

von W. F. M.

Leipzig, bey C. Neumann, Neudamm, bey G. Neumann, Halle, bey G. Neumann, Berlin, bey G. Neumann, Frankfurt, bey G. Neumann, Gießen, bey G. Neumann, Jena, bey G. Neumann, Königsberg, bey G. Neumann, Landshut, bey G. Neumann, Leipzig, bey G. Neumann, Magdeburg, bey G. Neumann, Merseburg, bey G. Neumann, Naumburg, bey G. Neumann, Regensburg, bey G. Neumann, Rostock, bey G. Neumann, Schwerin, bey G. Neumann, Stralsund, bey G. Neumann, Tübingen, bey G. Neumann, Ulm, bey G. Neumann, Weimar, bey G. Neumann, Wiesbaden, bey G. Neumann, Würzburg, bey G. Neumann, Xanten, bey G. Neumann, Ypern, bey G. Neumann, Zwickau, bey G. Neumann.

Die Erde und ihre Bewohner



*Handwritten signature or note*

1813

Die Erde und ihre Bewohner





## I.

## Ueber

die Expansivkraft, Dichte und latente Hitze  
des reinen Wasserdampfes bey verschiedenen  
Temperaturen.

Die Lehre von den Dämpfen, und insbesondere von den Wasserdämpfen (welche wegen ihrer häufigen Gegenwart in der Atmosphäre, und dem großen Antheil, welchen sie bey den meteorologischen Phänomenen haben, den Naturforscher besonders interessiren), hat erst von der Zeit an Licht erhalten, da man anfing, die Dämpfe als besondere, von der Luft verschiedene, elastische Flüssigkeiten zu betrachten, welche aus der Verbindung des Feuers mit einem festen oder tropfbaren Körper entstehen.

De Luc hat diesen Satz zuerst von den Wasserdämpfen in seinem Werk über die Atmosphäre behauptet, und ihn hernach viel bestimmter und allgemeiner in seinen Ideen über die Meteorologie, und in einzelnen Abhandlungen, welche theils in Rozier's Journal der Physik, theils in den philosophischen Transactions eingerückt worden sind, vorgetragen. Ich setze aus einer der letztern (Gren's Journ. der Physik 8 B. S. 143 f.) einige Hauptsätze der de Luc'schen Lehre von den Wasserdämpfen hierher.

Der Wasserdampf ist eine elastische Flüssigkeit, welche aus der Verbindung des Wassers mit dem Feuer entsteht. Bloss von dem einen Bestandtheil, dem Feuer, rühret die Expansivkraft des Wassers her, welche daher

Neues Journ. d. Phys. B. 4. 3. 3.      K      mit



mit der erhöhten Temperatur wächst. Bey der Siedhize des Wassers ist die Expansivkraft des Wasserdampfes dem Druck der Atmosphäre gleich. Die Beständigkeit in der Temperatur der Siedhize rühret bloß davon her, daß sich eine Menge Dampf sowohl innerhalb, als auf der Oberfläche des siedenden Wassers bildet, welcher, indem er den Druck der Atmosphäre überwindet und als ein specifisch leichteres Fluidum in dieselbe entweicht, die aus dem Feuer zuströmende Wärme an sich reißt und mit sich fortführet. Die Verstärkung des Feuers dienet nur zur Beschleunigung der Dampfbildung, nicht zur Vermehrung der Hize im siedenden Wasser. Die Siedhize nimmt mit dem Druck der Atmosphäre ab und zu, weil in jenem Fall der Dampf eine mindere, in diesem eine stärkere Expansivkraft erhalten muß, um den Druck der Atmosphäre zu überwinden, die Temperatur des Dampfes aber, folglich auch des siedenden Wassers, mit der Expansivkraft des Dampfes ab- und zunimmt.

Der Wasserdampf bildet sich an der Oberfläche des Wassers, nicht bloß bey der Siedhize, sondern bey jeder Temperatur. Der bey geringern Graden der Wärme gebildete Wasserdampf unterscheidet sich von dem durch die Siedhize gebildeten bloß durch eine geringere Expansivkraft, und weil diese kleiner als der Druck der Atmosphäre ist, so kann das Verdampfen bey geringern Graden der Wärme nur an der Oberfläche, nicht im Innern des Wassers, statt finden. Der Wasserdampf steigt zwar als eine specifisch leichtere Flüssigkeit in der Atmosphäre in die Höhe, er vermischt sich aber mit der Luft bloß mechanisch und behält in dieser Mischung seine distinctiven Eigenschaften bey. Diese rühren größtentheils von der losen Verbindung seiner beiden Bestandtheilen her, wobei jeder derselben noch besondern Verwandtschaftsgesetzen unterworfen bleibt. Die Wärme des Dampfes behält zum

Theil



ihre Bestreben sich mit der Temperatur des umgebenden Mittels ins Gleichgewicht zu setzen, und die Wassertheile ihren Hang sich untereinander oder mit den umgebenden Körpern, zu welchen sie Verwandtschaft besitzen, zu vereinigen. Daher rühret die Zersezung des Wasserdampfes, wenn man ihn fortdauernd einer kältern Temperatur aussetzt, als diejenige war, wobey er sich bildete.

Ein Theil der Wärme des Dampfes, nämlich die in den Zwischenräumen enthaltene, entweicht in das umgebende Mittel und die Wassertheilchen nähern und vereinigen sich zum Theil durch ihre Anziehungskraft; hierdurch wird neues Feuer frey, welches wieder entweicht und eine wiederholte Zersezung des Dampfes veranlasset, die so lange dauert, bis die Temperatur des Dampfes zur Temperatur des umgebenden Mittels kommt. Eine andere Ursache der Zersezung des Wasserdampfes bey unveränderlicher Temperatur liegt in dem Hang der Wassertheilchen sich zu vereinigen, sobald ihre Entfernung im Dampf eine gewisse Gränze überschritten hat. Daher kann der Wasserdampf in verschlossenen Gefäßen sowohl durch eine äussere mechanische Gewalt als durch innere Verdichtung seiner Theilchen völlig zersthöhret werden, wobey die Wärme die Gefäße durchstreicht, und das Wasser als tropfbar flüssiger Körper zurückbleibt. Das Minimum der Entfernung der Wassertheilchen im Dampf, oder das Maximum der Verdichtung des Dampfes, bevor eine Zersezung erfolgt, ist eine veränderliche Größe, und nimmt mit der Temperatur ab und zu.

Eine dritte Ursache, welche jedoch nur eine partielle Zersezung des Wasserdampfes bewirken kann, ist die im Dampf noch fortdauernde Verwandtschaft der Wassertheilchen zu den umgebenden Körpern, wodurch diese dem Dampf einen Theil seines Wassers entziehen; weil aber eben dadurch ihre Ziehkraft gegen das noch übrige Wasser



des Dampfes vermindert, und zugleich die Temperatur des Dampfes durch die freywerdende Wärme erhöht wird, so kommen beide Kräfte, die Verwandtschaft der umgebenden Körper und der Wärme gegen das Wasser des Dampfes bald mit einander ins Gleichgewicht, so lange sich die Temperatur nicht ändert. Auf der zuletzt genannten Ursache der Zersetzung der Wasserdämpfen beruht die ganze Classe der hygrometrischen Erscheinungen, welche ich hier übergehe, da sie nicht zunächst für den Zweck dieser Abhandlung gehören. De Luc gründete seine hier kurz erwähnte Theorie der Wasserdämpfe theils auf schon bekannte Thatsachen, theils auf Beobachtungen und Erfahrungen, welche zum Theil von ihm, zum Theil von Saussure und Watt angestellt worden sind. Des Letztern treffliche an den in England befindlichen Dampfmaschinen im Großen angestellten Erfahrungen sind bis jetzt nur unvollständig bekannt geworden. Vielleicht ist dies eine der Hauptursachen, warum man bisher die deluceische Theorie der Dämpfe so sehr bestritten hat, und zum Theil bis auf diese Stunde bestrittet.

Es war schon längst mein Vorsatz, den Inbegriff der Thatsachen, worauf sich diese Lehre stützt, so weit es mein Apparat von Werkzeugen erlaubt, zu wiederholen, um dadurch entweder die gegen diese Lehre gemachten Zweifel zu widerlegen, oder, wenn sie gegründet seyn sollten, die Theorie durch unmittelbare Thatsachen zu berichtigen. Andere Beschäftigungen und Hindernisse hielten mich bisher immer von der Ausführung dieses Vorhabens zurück. Indessen erlangte de Luc's Theorie von den Dämpfen durch Betancourts vortreffliche Versuche (Betancourt Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau et de l'esprit de vin, lû à l'Académie R. des sciences à Paris 1790.) über die Expansivkraft der Wasserdämpfe bey verschiedenen Graden der Tem-



Temperatur von der Eiskälte bis zum 110ten Grad der 80theiligen Scale des Quecksilberthermometers eine neue und evidente Bestätigung. Da sich der größte Theil dieses Aufsatzes mit der Wiederholung der Betancourtischen Versuche beschäftigt, und meine Resultate nicht ganz mit denen von Betancourt übereinkommen, so sey es mir erlaubt, die letztern, nebst dem von Betancourt dabey beobachteten Verfahren kürzlich hier anzuzeigen.

Sein Apparat bestand aus einem verschlossenen 12 Zoll hohen kupfernen Topf A, (fig. I. T. I.), dessen Deckel mit Schlagloth ausgegüßet war. In der obern Fläche des Deckels befanden sich drey Oeffnungen, welche durch Schrauben wieder verschlossen werden konnten. Die eine a diente dazu, Wasser in den Topf zu bringen, durch die Schraube der andern gieng ein Quecksilberthermometer, dessen Scale sich ausserhalb des Topfes befand, und durch die dritte c ein heberförmiges Barometer, dessen langer oben verschlossener Schenkel 110 Zoll betrug. Zwischen den beiden Schenkeln des Barometers gleitete eine bewegliche Scale auf und ab, deren Anfangspunkt bey jeder Beobachtung auf das veränderliche Niveau des Quecksilbers in beiden Schenkeln gestellt wurde. Zur Seite gieng überdies eine gekrümmte mit einem Hahnen versehene bleierne Röhre d aus dem Topf, welche mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, zur Evacuierung des Topfes diente. Betancourt stellte mit diesem Apparat vier Reihen von Versuchen über die Expansivkraft der Wasserdämpfe an.

Bev der ersten Reihe wurde der Topf bis auf  $\frac{1}{5}$ , in der zweyten bis auf  $\frac{1}{4}$ , in der dritten bis auf  $\frac{1}{2}$ , und in der vierten bis zu  $\frac{3}{4}$  mit destillirtem Wasser angefüllt, Hierauf wurde die über dem Wasser befindliche Luft vermittelst der Luftpumpe so gut wie möglich, weggeschafft, und der Stand des Barometers, in dem der ganze Ap-



parat durch ein Gemisch von Schnee und Salz zur Temperatur der Eiskälte gebracht wurde, beobachtet. Wenn unter diesen Umständen das Quecksilber im Barometer noch einige Linien über dem Niveau stand, so wurde dies dem Druck der noch im Topf zurückgebliebenen Luft zugeschrieben, und die Expansivkraft der Wasserdämpfe bey der Temperatur der Eiskälte als eine nicht meßbare Größe = 0 gesetzt. Nach diesen Vorbereitungen wurde der Topf über eine Glutpfanne voll glühender Kohlen gebracht, sehr langsam erwärmt, und der Stand des Thermometers von Grad zu Grad nebst den zugehörigen Höhen des Quecksilbers im Barometer beobachtet. Diese Höhen gaben, nach Abzug des vorhin erwähnten von der zurückgebliebenen Luft herrührenden Drucks, die Expansivkraft des eingeschlossenen Wasserdampfes bey jedem Grad der Temperatur von 0° bis 110°. Die Resultate der vier angezeigten Reihen von Versuchen fielen etwas verschieden aus. *Betancourt* schreibt dies blos dem Umstand zu, daß in den drey ersten Reihen die Kugel des Thermometers nicht so tief unter Wasser getaucht war, als in der letztern, und daher der Gang dieses Werkzeuges der mit der zunehmenden Wärme wachsenden Expansivkraft des Dampfes in den drey ersten Reihen von Versuchen nicht schnell genug habe folgen können. Daher hält er die Resultate der letzten Reihe, welche die Expansivkraft des Wasserdampfes bey gleichen Temperaturen etwas kleiner giebt als die erstern Reihen, für die richtigsten. Die Folge wird zeigen, daß sich *Betancourt* hierin geirret habe. Ich setze einen Auszug der vier von ihm angestellten Reihen von Beobachtungen von 3 — 5 Graden der Wärme zur Vergleichung der von mir angestellten, unten folgenden Versuche hierher.

Erste



## Erste Tafel.

Grade der W ä r m e	Expansivkraft der Wasserdämpfe in Hun- derttheilen von Quecksilberzollen.			
	nach dem Gothell. Quecksilber- therm.	$\frac{1}{16}$ Wasser I	$\frac{1}{4}$ Wasser im II	$\frac{1}{2}$ Wasser Kess- III
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,09	0,10	0,05	0,02
10	0,15	0,27	0,17	0,15
15	0,28	0,45	0,35	0,35
20	0,47	0,75	0,62	0,65
25	0,82	1,00	1,00	1,05
30	1,25	1,52	1,50	1,52
35	1,85	2,12	2,15	2,15
40	2,70	2,97	2,90	2,92
45	3,75	4,10	4,00	3,95
50	5,75	5,60	5,50	5,35
55	8,30	7,80	7,55	7,32
60	11,40	10,35	10,10	9,95
65	15,30	13,70	13,25	13,20
70	19,50	17,50	17,50	16,90
75	24,80	22,80	22,35	21,75
80	31,40	29,00	28,60	28,00
85	39,90	37,70	37,00	36,45
90	49,70	47,80	47,20	46,40
95	61,20	59,20	58,20	57,80
100	75,00	73,00	72,40	71,80
105	89,00	85,80	84,90	86,80
120	120,50	99,00	98,00	98,00



Die Zahlen der Columne IV trug *Betancourt* als rechtwinklichte Coordinaten auf eine in gleiche Theile getheilte Abscissenlinie, und legte durch die Endpuncte der Ordinatn eine krumme Linie, welche zwar eine regelmäßige Krümmung erhielt, aber weder mit einem der Kegelschnitte noch der logarithmischen Linie zusammen treffen wollte. Nach mehrern vergeblichen Versuchen eine Gleichung für die krumme Linie zu finden, wandte *Betancourt* eine von *Prony* entdeckte Näherungsmethode an, um das Gesetz zwischen den veränderlichen Graden der Wärme und der Expansivkraft der Wasserdämpfe zu bestimmen. Der allgemeinen Ausdruck dieser Näherungsmethode sind Glieder der folgenden Reihe  $y = e^{\mu + \lambda x}$

$$e^{\mu' + \lambda' x} e^{\mu'' + \lambda'' x} e^{\mu''' + \lambda''' x} \dots$$

wo das Gesetz zwischen den veränderlichen Größen  $x$  und  $y$  durch die unbestimmten Exponenten  $\mu, \lambda, \mu', \lambda'$  u. s. w. gegeben ist,  $e$  ist  $= 10$  oder die Basis des gemeinen logarithmischen Systems. Die unbestimmten Exponenten  $\mu, \lambda$  u. s. w. müssen aus den beobachteten zusammengehörigen Werthen von  $x$  und  $y$  hergeleitet werden, und es erhellet, daß man so viele Beobachtungen nehmen muß, als Größen bestimmt werden sollen, weil jede Beobachtung eine Gleichung giebt. So würden die unbekanntn Exponenten von zwey Gliedern der Reihe vier Beobachtungen, von vier Gliedern der Reihe acht Beobachtungen und so weiter erfordern. Läßt man nun  $y$  die Expansivkraft des Wasserdampfes in Zollen des Barometers ausgedruckt,  $x$  den Grad der Wärme des achtzigtheiligen Quecksilber Thermometers bedeuten, so reichen zwey Glieder der Reihe

$$y = 10^{\mu + \lambda x} - 10^{\mu' + \lambda' x} - 10^{\mu'' + \lambda'' x} + 10^{\mu''' + \lambda''' x}$$

hin, die Werthe von  $y$  von  $0^\circ - 80^\circ$ , vier Glieder von



von  $80^\circ - 110^\circ$  zu berechnen, wenn man für die unbestimmten Exponenten folgende Zahlen schreibt.

$$\begin{array}{rcl} \mu & = & 0,068831 \quad \rho' & = & - 3,9376 \\ \lambda & = & 0,019438 \quad \lambda'' & = & - 0,058622 \\ \lambda' & = & 0,013490 \quad \lambda''' & = & 0,049220 \\ \rho & = & - 4,689760 \end{array}$$

Die Werthe von  $\mu$ ,  $\mu'$  sind einander gleich, wie leicht daraus erhellet, weil für  $x=0$ , wo  $y$  durch die beiden ersten Glieder ausgedrückt wird,  $y=0$  seyn soll, folglich  $10'' = 10'''$  d. i.  $\mu = \mu'$ .) Die nach dieser Methode berechneten Werthe von  $y$  für  $x$  von  $5 - 5$  Graden sind folgende.

x	y	x	y
0	— 0,0000	55	— 7,2798
5	— 0,1038	60	— 9,5280
10	— 0,2304	65	— 12,6687
15	— 0,4258	70	— 16,577
20	— 0,6872	75	— 21,587
25	— 1,0402	80	— 28,006
30	— 1,5019	85	— 35,984
35	— 2,1374	90	— 45,870
40	— 2,9711	95	— 57,801
55	— 4,0399	100	— 71,552
50	— 5,4453	105	— 85,992
		110	— 98,356

Diese Werthe von  $y$  stimmen mit den durch Beobachtung gefundenen unter der Columnen IV allerdings sehr gut überein, und beweisen, daß die Pronysche Näherungsmethode, so weit *Bernoulli's* Versuche reichen, denselben sehr gut angepaßt werden kann. Indessen darf man den durch vier Glieder der Reihe gegebenen Ausdruck für  $y$  schlechterdings nicht jenseits der Grenzen



der Beobachtungen ausdehnen wollen, wie leicht daraus erhellet, weil dieser Ausdruck für  $x = 115$   $y = 99,92$   
 $x = 120$   $y = -8,66$   
 im letztern Fall schon einen verneinten Werth von  $y$  giebt, welches offenbar ungereimt ist, weil die Expansivkraft der Wasserdämpfe mit der Temperatur immer zunehmen muß. Man sehe hierüber *Voigt's* Prüfung der *Prony'schen* Formel in *Gren's n. Journ.* I B. S. 33. Ich bemerke nur, daß nach der daselbst mitgetheilten Tafel  $y$  zuerst für  $x = 125$  einen verneinten Werth erhält, weil die Werthe der Exponenten  $\mu$   $\lambda$  u. s. w. nach *Hrn Langsdorf* etwas von den oben aus *Betancourt's* Schrift mitgetheilten abweichen.

Soll also die *Prony'sche* Näherungsmethode die Expansivkraft des Wasserdampfes auch über  $110^\circ$  Wärme ausdrücken, so muß man mehr als vier Glieder der Reihe, etwa 6, 8 und so weiter, in Rechnung bringen. Dadurch würde aber der Gebrauch der Formel, welcher bey vier Gliedern schon nicht sehr bequem ist, immer unquemer werden, und, was das Schlimmste ist, da in der gefundenen Reihe positive und negative Glieder mit einander abwechseln, d. i. die Fehler der vorhergehenden Glieder, durch die nachfolgenden Glieder verbessert werden, so wird man selbst durch Fortsetzung der Reihe vermittlest erweiterter Beobachtungen das allgemeine Gesetz zwischen der Expansivkraft der Wasserdämpfe und der Temperatur (wenn wirklich eines statt hat) nicht finden. \*)

Wenn

\*) Nachdem ich die Abhandlung beynabe vollendet hatte, erhielt ich den zweyten Theil von *Prony's* vortreflicher *nouvelle Architecture Hydraulique*. Ich ersehe hieraus, daß dieser gelehrte Mathematiker seine Formel für die Expansivkraft des Wasserdampfes nach den *Betancour'schen* Versuchen auf drey Glieder mit veränderlichen Exponenten von nachstehender Form gebracht hat,

$z =$



Wenn man auf die physische Ursache der Entstehung der Wasserdämpfe, so wie der Dämpfe überhaupt zurückgeht, so erhellet, daß bey der Bildung eines jeden Dampfes (den Druck der Luft auf die Oberfläche des verdampfenden Körpers ganz bey Seite gesetzt) zwey Kräfte sich einander entgegen wirken, die anziehende Kraft der Theilchen des verdampfenden Körpers, und die expandirende Kraft der Wärme. Die letztere Kraft steht wieder im zusammengesetzten Verhältniß der stoßenden Kraft der sich frei

$$z = \overset{x}{\mu} , y, + \overset{x}{\mu''} y'' + \overset{x}{\mu'''} y'''$$

wo  $z$  die Expansivkraft,  $x$  den Grad des reaum. Thermometers.

$$\mu' = - 0,0000072460407$$

$$\mu'' = + 0,8648188303$$

$$\mu''' = - 0,8648181057$$

$$y, = 1,142805$$

$$y'' = 1,047773$$

$$y''' = 028189 \quad \text{bedeut en}$$

Diese Formel drückt die *Vetancourtschen* Versuche fast noch genauer aus, als die oben angegebene.

Es ist schade, daß *Prony* gar keinen Zweifel in die Richtigkeit der *Vetancourtschen* Versuche setzte, und nur auf die Darstellung einer Näherungsformel bedacht war. Er suchte auf einem weitläufigern Weg, was er auf einem viel kürzern hätte finden können. *Prony* hat in dem vor mir liegenden Aufsatz, welcher *Sur les lois de la dilatabilité des fluides elastiques et sur celles de la force expansive, dans le vuide, de la vapeur de l'eau, et de la vapeur de l'alcool à différentes temperatures* überschrieben und auch in dem *Journal polytechnique* abgedruckt ist, seine Näherungsmethode umständlich auseinandergesetzt, und sie zugleich auf die von *Prieur* angestellten Versuche über die Ausdehnbarkeit der Gasarten angewendet. Aber auch diese Versuche bedürfen nach meiner Uebersetzung, einer großen Berücksichtigung, wie ich in dem andern Theil meiner Abhandlung zeigen werde.



frei bewegenden Wärmetheilchen, und der Verwandtschaft dieser Theilchen zu den Theilen des verdampfenden Körpers. Hieraus wird begreiflich, warum verschiedene Körper bey einer und derselben Temperatur Dämpfe von sehr verschiedener Expansivkraft bilden, und warum Weingeist bey gleichem Druck der Luft, gleicher Temperatur und übrigens gleichen Umständen viel leichter verdampft, als Wasser. Denken wir uns einen Körper, der durch die Wärme bereits in Dampfgestalt übergegangen ist, so wirken die beiden vorhin genannten Kräfte noch immer einander entgegen, nur daß die expandirende Kraft der Wärme jetzt das Uebergewicht über die Anziehungskraft der im Dampf aufgelöseten Theilchen (die man sich als bloß träge denken kann) hat. Nähern sich die Kräfte dem Gleichgewicht, so ist der Dampf im Begriff, sich ganz zu zersetzen, entfernen sie sich hingegen durch die Zunahme der ersten Kraft immer mehr von dem Gleichgewicht, so wächst eben dadurch die Expansivkraft des Dampfes. Das Wachsthum der Expansivkraft des Dampfes muß gegen die Zunahmen der Wärme einen progressiven Gang äußern, weil die Anziehungskraft der bloß trägen Theilchen des Dampfes mit ihrer Entfernung (oder bey gleicher Entfernung, durch die häufigere Dazwischenkunft der Wärmetheilchen) abnimmt, und zugleich die Stoßkraft der Wärme mit der Erhöhung der Temperatur zunimmt. Es wirken daher bey zunehmender Wärme zwey Kräfte zugleich auf die Vermehrung der Expansivkraft des Dampfes, welche daher nothwendig bey gleichen Zunahmen der Wärme einen beschleunigten Gang annehmen muß, und dieser beschleunigte Gang wird so lange dauern, bis die Anziehungskraft der trägen Theilchen des Dampfes gegen die Stoßkraft der Wärme als unendlich klein anzusehen ist, welches wahrscheinlich erst bey sehr hohen Graden der Wärme, vielleicht erst bey der Glühhitze statt finden mag. Die bisher betrachtete Vermehrung der Expansivkraft



Kraft des Dampfes, gründet sich auf die Vorstellung, daß eine gewisse Menge bereits gebildeten Dampfes in einem verschlossenen Raum einer immer zunehmenden Wärme ausgesetzt werde.

Hier kommt weder Dampf hinzu noch davon, oder mit andern Worten, die Dichte des Dampfes, welche bloß von der Menge seiner trägen Theilchen herrühret, bleibt ungeändert. Die durch die Temperaturerhöhung vermehrte Expansivkraft des Dampfes, ist also unter diesen Umständen bloß eine Vermehrung der specifischen Elasticität, wie man es auszudrücken pflegt. Wird hingegen, wie im papinianischen Topf, der verdampfende Körper zugleich mit dem schon gebildeten Dampf einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt, so ist es wenigstens denkbar, daß die Zunahme der Expansivkraft des Dampfes zum Theil durch die Vermehrung seiner Dichte bewirkt werde. Diese Ursach der vermehrten Expansivkraft des Dampfes, würde sich zu der vorhin betrachteten, etwa wie Vermehrung der bewegten Masse zur Vermehrung der Geschwindigkeit verhalten. Ob, und wie viel? von der mit der Temperatur beschleunigt wachsenden Expansivkraft des Wasserdampfes im papinianischen Topf auf die Rechnung der vermehrten Dichte des Wasserdampfes zu schreiben sey, muß durch Versuche ausgemacht werden. Ich schmeichle mir, durch die nachfolgende Thatsachen hierüber Aufschlüsse gegeben zu haben. Durch die vorstehende Betrachtung wurde ich, selbst ehe ich Betancourts Versuche genau kannte, auf die Vermuthung geleitet, daß sich die Zunahmen der Expansivkraft des eingeschlossenen Wasserdampfes wie irgend eine Potenz des Wärmegrades verhalten möchten, und sobald ich jene interessanten Versuche aus der Recension der göttinger gelehrten Anzeigen zuerst kennen lernte, beschloß ich sie zu wiederholen. An Betancourts Apparat,



parat, schien mir die gekrümmte Röhre, welche blos zur Evacuation des Topfes, durch die Luftpumpe diene, überflüssig zu seyn, weil ich aus Erfahrung wußte, daß man mit gehöriger Vorsicht, durch die Dämpfe des kochenden Wassers, selbst eine noch vollkommnere Leere, als durch die Luftpumpe erhalten könne. Statt des hebersförmig gekrümmten Barometers, wählte ich eine gerade, an beiden Enden offene Röhre, die unten in einer weitern eisernen Büchse stand, und zwar aus folgenden Gründen. Der kurze Schenkel des hebersförmigen Barometers am *Vetancourtschen* Apparat muß wenigstens halb so groß, als die ganze Höhe des langen Schenkels seyn, dieß entfernt den obern, wagrechten Theil *ef* *fig. 1.* des gekrümmten Barometers bey einer Höhe von 110 Zahlen, für den langen Schenkel *gh* schon sehr beträchtlich, von dem Topf und der Quelle des Feuers. Es müssen daher die durch die Röhre *cef* *fig. 1.* streichenden Dämpfe sich, bis sie an die Oberfläche des Quecksilbers im Schenkel *fg* gelangen, nothwendig erkälten und zum Theil zersetzen. Mit einem Wort, es entsteht eine Destillation des Wassers aus dem Topf in den leeren Raum der Röhre *efg* über dem Niveau des Quecksilbers, hierdurch füllt sich der Schenkel *fg* nach und nach mit Wasser, und man hat die Unbequemlichkeit, daß man nicht blos die Höhe des Quecksilbers in dem langen Schenkel über das Niveau des kürzern, sondern auch die veränderliche Höhe der Wassersäule im kürzern Schenkel beobachten, und ihren Druck zu dem Quecksilberdruck addiren muß. Diese Unbequemlichkeit würde indessen wenig zu sagen haben, wenn damit nicht eine Erscheinung verknüpft wäre, welche Unrichtigkeiten in dem Resultat der Versuche selbst erzeugt.

Ich bitte daher, meine Leser, diesen Umstand nicht zu übersehen, weil, wie ich glaube, hierin größtentheils  
die



die Ursache des Unterschiedes zwischen Betancourt's und meinen Beobachtungen liegt. Es müssen sich nämlich die Dämpfe, indem sie die Röhre *cef* durchstrichen, schon vor ihrer Zersetzung beträchtlich abkühlen, und dadurch von ihrer Expansivkraft verlieren. Um diesen Fehler zu vermeiden, oder wenigstens so viel möglich zu vermindern, brachte ich das Gefäß des Barometers so nahe wie möglich bey dem Topf an. Fig. 2. stellt meinen Apparat, die lange Barometerröhre ausgenommen, in der halben natürlichen Größe dar. *A*, der Topf von gegossenem Metall, hat bey *b* eine größere, bey *a* eine kleinere Oeffnung, auf die erste ist eine mit einem Hahn versehene metallene Röhre *bc* geschraubt, die andere *a* dient dazu, ein feines Quecksilberthermometer in den Topf zu bringen, dessen Scale auf seine Röhre mit Flußspathsäure geätzt ist, und vom Eispunkt bis zum siedenden Quecksilber geht. Auf das obere Ende der Röhre *bc* schraubt sich eine eiserne cylindrische Büchse *dd*, so daß die obere Oeffnung der Röhre *bc*, beynähe wider den Deckel der Büchse zustreben kommt. Etwas zur Seite befindet sich in dem Deckel der Büchse eine Schraubendefnung für die Barometerröhre. Die Barometerröhre sowohl als die Thermometerröhre gehen durch Lederbüchsen, deren Einrichtung bekannt ist, und aus der Figur erhellet. Von dem Gefäß *dd* aus, ging längst der Barometerröhre ein hölzerner in pariser Zolle und Zehnthelle getheilter Maasstab in die Höhe, und diente der Röhre zur Befestigung. Das Verhältniß des Querschnittes der Röhre gegen den Querschnitt des Gefäßes, wurde durch vorläufige Untersuchungen bestimmt, um aus der jedesmaligen Höhe des Quecksilbers in der Röhre beurtheilen zu können, wie viel das Niveau des Quecksilbers in der Büchse gesunken sey. Ferner erhellet aus der Einrichtung meines Apparats, daß ich zu der beobachteten Höhe des Quecksilbers, in der Röhre *ef*, den jedesmaligen Barometer



meterstand addiren mußte, um den gesammten, auf die in dem Topf eingeschlossenen Wasserdämpfe wirkenden Druck zu erhalten. Diese kleine Unbequemlichkeit wählte ich indessen lieber, weil ich durch die Einrichtung meines Apparats, den schon oben berührten Vortheil erhielt, daß die Büchse d. d. so viel wie thunlich, nahe bey dem Topf angebracht werden konnte. Ueberdies suchte ich durch die Art, wie ich meine Versuche anstellte, das Zersetzen der Dämpfe in der Büchse möglichst zu verhüten. Ich brachte so viel Wasser in den Topf, daß es die Kugel des Thermometers zur Hälfte bedeckte, schraubte das Gefäß d. d. mit der Röhre b. c. auf den Topf, und füllte das Gefäß voll Quecksilber. Hierauf ließ ich das Wasser bey offenem Hahn eine geraume Zeit kochen, um so wohl die in den Zwischenräumen des Wassers, als die über demselben in dem Topf, der Röhre b. c., und dem Gefäß d. d. enthaltene Luft, durch die siedend-heissen Dämpfe wegzuschaffen. Es füllet sich nämlich durch diese Operation der noch über dem Quecksilber befindliche leere Raum, in der Büchse nach und nach mit siedend-heissem Wasser, und die Büchse selbst wird durch die übergehenden Dämpfe beträchtlich erwärmt. Sobald alle Luft, durch anhaltendes Kochen, aus dem innern Raum der Gefäße geschafft ist, und der Wasserdampf recht unvermischt und rein, zwischen den Schraubengewinden, des mit der Barometerrohre versehenen Stöpsels heraus führt, welches man aus seiner Durchsichtigkeit beurtheilen kann, wird der Hahn um die Oefnung e. durch die Schraube fest verschlossen. Hierauf lasse ich den ganzen Apparat wieder erkalten, bis das Thermometer, welches durch die vorhergehende Operation, gewöhnlich einige Grade über 80 kommt, wieder einige Grade darunter steht, bringe alsdann aufs neue ein gelindes Kohlenfeuer unter den Topf, welches nach und nach durch Blasen verstärkt wird, und beobachte, indem ich den Hahn öffne, den

corre:



correspondirenden Gang des Quecksilbers im Thermometer und der Barometerröhre. Ich setze von mehreren Versuchen zwey Reihen, welche ich für die richtigsten halte, hierher. Sie wurden im December 1796 bey einem Barometerstand von 28 Zoll und einer Temperatur von  $8^{\circ}$  angestellt. Die Angaben sind nach dem Barometerstand, und dem Niveau des Quecksilbers in der Büchse verbessert.

## Zweite Tafel.

Grade der Wärme.	Erste Beobachtung	Zweite Beobachtung	Mittel
	Druck	Druck	Druck
80°	28, 00	28, 00	28, 00
81	—	—	—
82	31, 05	—	31, 05
83	32, 56	—	32, 56
84	—	33, 98	33, 98
85	35, 39	35, 39	35, 39
86	36, 91	36, 91	36, 91
87	38, 42	38, 42	38, 42
88	40, 54	39, 94	40, 24
89	42, 16	41, 55	41, 86
90	44, 18	43, 37	43, 77
91	46, 00	45, 79	45, 89
92	48, 22	47, 82	48, 02
93	50, 24	49, 83	50, 03
94	51, 96	51, 73	51, 84
95	54, 08	54, 28	54, 18
96	56, 60	56, 81	56, 71
97	59, 13	59, 23	59, 18
98	61, 75	61, 75	61, 75
99	64, 38	64, 18	64, 28
100	67, 00	67, 00	67, 00

Neues Journal d. Phys. B. 4. 3. 3.

S Grade



Grade der W ä r m e	Erste Beobachtung	Zweite Beobachtung	Mittel
	Druck	Druck	Druck
101°	69, 53	69, 53	69, 53
102	72, 76	72, 16	72, 46
103	75, 29	75, 29	75, 29
104	78, 32	78, 12	78, 22
105	80, 95	80, 95	80, 95
106	84, 99	84, 99	84, 99
107	88, 32	88, 12	88, 22
108	92, 06	92, 06	92, 06
109	96, 20	96, 20	96, 20
110	100, 15	101, 30	100, 72
111	103, 65	105, 06	104, 35
*) 112	—	109, 18	109, 18
*) 113	—	113, 10	113, 10
*) 114	—	117, 12	117, 12

Diese Versuche, verglichen mit den Betancourt'schen, geben die Expansivkraft der Wasserdämpfe gegen die Betancourt'schen von 80 bis zu 108° durchgehends zu klein an. Ich bin aber dem ungeachtet überzeugt, daß meine Angaben die richtigsten sind, und dies aus folgenden Gründen. Sobald die Temperatur im Topf gegen 90° kommt, so wächst die Expansivkraft des Dampfes so schnell, daß der langsamere Gang des Thermometers zurückbleibt. Man kann zwar diesen Fehler dadurch vermindern, daß man das Feuer unter dem Topf sehr gelinde und allmählig wirken läßt. Oft hat man aber das nicht so in seiner Gewalt, und dazu kommt noch, daß ein solcher Versuch nicht allzulange dauern darf, weil man sonst immer befürchten muß, daß die vereinte Wirkung der Hitze und der Expansivkraft der Dämpfe die zur Verschließung zwischen den Schrauben ange-



angebrachten Leder endlich auflöse und verbrenne, wodurch der eingeschlossene Dampf mit Heftigkeit entweicht.

Wenigstens ist das die Ursache, warum ich meine Versuche, aller angewendeten Mühe ungeachtet, nicht über  $114^{\circ}$  hinauf ausdehnen konnte, und wahrscheinlich war es dieselbe, welche *Betancourt* verhinderte, die seinigen über  $110$  fortzusetzen. Die drey letzten mit (\*) bezeichneten Beobachtungen, gehören zu einem dritten Versuch, den ich besonders in der Absicht anstellte, um die Expansivkraft der Wasserdämpfe für Grade der Wärme über  $110^{\circ}$  zu bestimmen. Um das Verbrennen der Leder, durch eine zu lange Dauer des Versuchs zu verhindern, erhitzte ich anfangs, so lange das Thermometer durch die Grade stieg, welche ich schon mehrmals beobachtet hatte, schnell, und ließ nur gegen den  $110$ ten Grad hin das Feuer langsamer wirken. Dem ungeachtet konnte ich die Beobachtungen nicht über  $214^{\circ}$  fortsetzen, denn in dem Augenblick, als die letzte Beobachtung angestellt wurde, öffnete sich das Quecksilber zwischen der untern Schraube und dem durch die Hitze zusammen gedrückten Leder mit Gewalt einen Weg, und sprang wie eine Fontaine heraus, ungeachtet vorher alles vollkommen schloß.

Vom  $91$ ten Grad des Thermometers an, beobachtete ich die Stände des Quecksilbers in der Barometer-Röhre, ungeachtet sie sich hier so schnell veränderten, daß man ihnen kaum folgen konnte. Ich setze sie zur Rechtfertigung meiner obigen Behauptung her, und die *Betancourt*ischen daneben.



## Dritte Tafel.

	meine Beobachtungen.	Betancourt.
91°	— 49, 20	— 48, 40
92'	— 50, 40	— 50, 50
93	— 52, 70	— 53, 00
94	— 55, 11	— 55, 30
95	— 57, 21	— 57, 80
96	— 59, 84	— 60, 50
97	— 62, 16	— 63, 40
98	— 64, 96	— 66, 20
99	— 66, 37	— 69, 00
100	— 69, 89	— 71, 80
101	— 73, 10	— 75, 00
102	— 75, 71	— 78, 20
103	— 77, 73	— 87, 00
104	— 80, 34	— 84, 00
105	— 84, 06	— 86, 80
106	— 86, 37	— 89, 00
107	— 89, 69	— 91, 30
108°	— 94, 50	— 93, 50
109°	— 96, 60	— 95, 60
110°	— 101, 74	— 98, 00

Aus der Vergleichung dieser Tafel mit der vorhin mitgetheilten erhellet, daß meine letztere Versuche da, wo die Veränderungen der Temperatur sehr schnell erfolgten, mit den Betancourtischen Beobachtungen näher übereinstimmen, und sich hingegen immer mehr von ihnen entfernen, und meinen ersten Versuchen, die ich für die richtigern anerkenne, nähern, da wo das Thermometer anfang langsam zu steigen, und ich willens war, meine eigentlich gültigen Beobachtungen anzufangen.

Um den Leser noch besser in den Stand zu setzen, die Genauigkeit, welche man überhaupt von diesen Beobachtungen:



tungen fordern darf, zu beurtheilen, so setze ich meine frühesten Versuche her, die ich schon vor zwey Jahren anstellte, da ich *Betancourts* Schrift noch nicht gelesen hatte, sondern sie blos aus Recensionen kannte. Ich beobachtete damals die Zunahmen der Expansivkraft des Wasserdampfes nicht von Grad zu Grad des Thermometers, sondern ich hatte mir längst der Barometerrohre Zeichen von 7 — 7 Zoll pariser Maaß bemerkt, und beobachtete jedesmal den Stand des Thermometers, wenn das Quecksilber in der Barometerrohre an die Zeichen kam. Der Druck der Luft betrug zur Zeit der Beobachtung genau 28 Zoll. Die folgende Tafel enthält die Resultate zweyer nach einander folgenden Versuche.

### Vierte Tafel.

Druck der Dämpfe.      Grade der Wärme nach zwey auf einander folgenden Beobachtungen.

28 Zoll	—	80°	.	80°
35	—	84 $\frac{3}{4}$	.	84°
42	—	89	.	88 $\frac{1}{2}$
49	—	92 $\frac{1}{2}$	.	92 $\frac{3}{4}$
56	—	96	.	96 $\frac{1}{8}$
63	—	99	.	99
70	—	102	.	101 $\frac{1}{2}$
77	—	104 $\frac{1}{8}$	.	104 $\frac{3}{4}$
84	—	106	.	106 $\frac{1}{2}$
91	—	108 $\frac{1}{4}$	.	108 $\frac{3}{4}$

Der mittlere Unterschied der beobachteten Thermometerstände in beiden Versuchen beträgt ungefähr  $\frac{1}{8}$  eines Grades, und ich zweifelte aus den schon oben angegebenen Gründen, ob man bey aller angewendeten Sorgfalt bey diesen Versuchen eine über einen viertheil Grad des Thermometers sich erstreckende Genauigkeit werde erhalten



halten können. Dieses wollte ich im voraus bemerken, damit der Leser bey Vergleichung des von mir entdeckten Gesetzes über die Expansivkraft der Wasserdämpfe keine größere Uebereinstimmung erwarte, als die Natur der Sache erlaubt.

Es gieng mir, da ich für meine in der zweyten Tafel mitgetheilte Beobachtung ein allgemeines Gesetz suchte, anfänglich wie Betancourt, das ist, ich suchte vergeblich. Indessen konnte ich mich doch von der Idee, daß irgend eine Potenz des Wärmegrades die Expansivkraft des Wasserdampfes ausdrücken möchte, nicht losmachen. Ich dachte aber nicht gleich an eine Potenz mit einem veränderlichen Exponenten. Indessen leitete mich doch diese Vorstellung auf den richtigen Weg. Da ich nämlich die Exponenten der Potenzen des Wärmegrades aus mehreren Beobachtungen suchte, welche die Expansivkraft des Wasserdampfes in Hunderttheilen von Zollen ausdrückte, so fand ich für

die Wärmegrade	die Exponenten
80 —	— 1,8113
90 —	— 1,8632
100 —	— 1,9129
110 —	— 1,9609

aus den mittlern Werthen der beiden Beobachtungen der zweyten Tafel. Hier fiel mir sogleich der beständige Unterschied von 0,05 in die Augen, wenn ich die Tausendtheile außer Acht ließ. Ich setzte mich nieder und berechnete (unter der Voraussetzung, daß, wenn der Wärmegrad des 80theiligen Quecksilberthermometers =  $t$ , die unbestimmte Potenz desselben  $t^m$ , die Expansivkraft des Wasserdampfes =  $e$  heißt,  $e = t^m$  sey, wenn man für  $t = 80^\circ$ ,  $m = 1,8113$  setzt und  $m$  für jeden Grad der Wärme um 0,005 wachsen und abnehmen läßt) die Expansivkraft des Wasserdampfes für die in der zweyten

Tafel



Tafel angeführten Beobachtungen bis zu III Grad. Da ich die berechneten Werthe mit den beobachteten, so weit die Schärfe der Beobachtungen reicht, übereinstimmend fand, so erweiterte ich die Tafel der berechneten Werthe, und suchte sie durch fernere Beobachtungen zu prüfen. Die nachstehende Tafel enthält meine Berechnungen nebst den zugehörigen Beobachtungen im Mittel genommen, und die Abweichungen der beobachteten von den berechneten Werthen. Von der Art wie ich die Beobachtungen unter  $80^{\circ}$  anstellte, will ich gleich umständlich reden.

## Fünfte Tafel.

Grade der Wärme.	Berechnete Expansiv: kraft.	Beobachtete Expansiv: kraft.	Unterschiede.
0	0,	0,	
1	0, 01		
2	0 03		
3	0, 05		
4	0, 07		
5	0, 10	0, 11	+ , 0, 01
6	0, 13	0, 15	+ , 0, 02
7	0, 16		
8	0, 20		
9	0, 25		
10	0, 31	0, 28	+ 0, 03
11	0, 34		
12	0, 38	0, 38	0, 00
13	0, 44	0, 44	0, 00
14	0, 50		
15	0, 56	0, 55	+ 0, 01
16	0, 62	0, 61	+ 0, 01
17	0, 69		
18	0, 76	0, 76	0, 00
19	0, 84		
20	0, 92	0, 90	+ 0, 02
21	1, 01		

S 4

Grade



Grade der Wärme.	Berechnete Expansiv- kraft.	Beobachtete Expansiv- kraft.	Unter- schie.de.
22	1, 10	1, 01	+ 0, 10
23	1, 19		
24	1, 29		
25	1, 40	1, 30	+ 0, 10
26	1, 51		
27	1, 63	1, 42	+ 0, 21
28	1, 75		
29	1, 88		
30	2, 02	1, 93	+ 0, 09
31	2, 16		
32	2, 31		
33	2, 47	2, 23	+ 0, 24
34	2, 63		
35	2, 80	2, 68	+ 0, 12
36	2, 98		
37	3, 17		
38	3, 37		
39	3, 58		
40	3, 80	3, 64	+ 0, 16
41	4, 03		
42	4, 26		
43	4, 51		
44	4, 77		
45	5, 05	5, 14	- 0, 09
46	5, 33		
47	5, 63		
48	5, 94		
49	6, 27		
50	6, 61	6, 40	+ 0, 21
51	6, 97	6, 60	+ 0, 37
52	7, 34		
53	7, 70		
54	8, 14		
55	8, 57	8, 55	+ 0, 02
56	9, 00		
57	9, 42		
58	9, 95	10, 14	- 0, 19

Grade



Grade der Wärme.	Berechnete Expansiv: kraft.	Beobachtete Expansiv: kraft.	Unter: schie.de.
59	10,46	10,42	+ 0,04
60	10,98	10,98	0,00
61	11,54		
62	12,10	12,24	- 0,14
63	12,71		
64	13,33		
65	13,99	14,07	+ 0,06
66	14,65		
67	15,37		
68	16,10		
69	16,90		
70	17,77	17,92	- 0,22
71	18,63	18,66	- 0,03
72	19,50	19,71	- 0,21
73	20,41	20,61	- 0,20
74	21,34	21,80	- 0,46
75	22,34	22,29	+ 0,05
76	23,35		
77	24,45		
78	25,56		
79	26,75		
80	28,00	28,00	0,00
81	29,30		
82	30,58	31,05	+ 0,47
83	31,96	32,56	- 0,60
84	33,38	33,98	- 0,60
85	34,91	35,39	- 0,48
86	36,47	36,91	- 0,44
87	38,08	38,42	- 0,34
88	39,77	40,24	- 0,47
89	41,52	41,86	- 0,34
90	43,50	43,77	- 0,27
91	45,40	45,89	- 0,49
92	47,38	48,02	- 0,64
93	49,44	50,03	- 0,59
94	51,57	51,84	- 0,27
95	53,89	54,18	- 0,29

S 5

Grade



Grade der Wärme.	Berechnete Expansiv- kraft.	Beobachtete Expansiv- kraft.	Unterschiede.
96	56,18	56,71	- 0,53
97	58,64	59,18	- 0,54
68	61,12	61,75	- 0,63
99	63,79	64,28	- 0,49
100	66,47	67,00	- 0,53
101	69,37	69,53	- 0,16
102	72,27	72,46	- 0,19
103	75,40	75,29	+ 0,11
104	78,54	78,22	+ 0,32
105	81,93	80,95	+ 0,98
106	85,33	84,99	+ 0,34
107	89,01	88,22	+ 0,79
108	92,69	92,06	+ 0,63
109	96,67	96,20	+ 0,47
110	100,87	100,72	+ 0,15
111	105,18	104,35	+ 0,83
112	109,49	109,18	+ 0,31
113	114,15	113,10	+ 1,05
114	118,81	117,12	+ 1,69

Die negativen Unterschiede zeigen zu große Beobachtungen, die positiven zu kleine gegen die durch Rechnung gefundenen Werthe. Nimmt man einige wenige der gefundenen Unterschiede aus, so geben die meisten noch keinen Viertelgrad des Thermometers, d. i. sie liegen innerhalb der Gränzen der Genauigkeit von den Beobachtungen, und müssen auf die Rechnung der Fehler derselben geschrieben werden. Vom 70sten Grad an aufwärts, sind die Unterschiede fast alle negativ, weil, wie schon erwähnt, der Gang des Thermometers in den höhern Graden der Wärme gegen den Gang des Barometers zurückbleibt. Die beiden letzten Beobachtungen sind merklich zu klein ausgefallen, weil hierbey der Apparat nicht mehr schloß.

Wenn



Wenn man meine berechneten Werthe der Expansivkraft des Wasserdampfes unter  $70^{\circ}$  mit den Betancourtischen in der ersten Tafel IV Columne, mit getheilten Beobachtungen vergleicht, so findet man die letztern immer zu klein, und der Unterschied wächst bis zu 5 Graden des Thermometers an. Dies machte mich, bevor ich eigene Beobachtungen über die Expansivkraft der Wasserdämpfe unter dem Siedpunkt angestellt hatte, gegen die Allgemeinheit meines aus höhern Graden der Wärme hergeleiteten Gesetzes mißtrauisch. Indessen stöhte mir die bereits oben angeführte Prüfung des Betancourtischen Apparats die Hoffnung ein, daß die beträchtlichen Unterschiede bloß von Fehlern der Beobachtungen herrühren möchten. Bey den niedern Graden der Temperatur ist der verhältnismäßige Gang zwischen dem Thermometer und Barometer gerade der umgekehrte von dem bey höhern Graden der Temperatur, das Barometer, dessen Veränderungen immer kleiner werden, bleibt gegen das Thermometer zurück, weil die geringen Zunahmen des Drucks an der zwischen dem Quecksilber und Glase stattfindenden Reibung einen verhältnismäßig größern Widerstand finden. Kommt nun hierzu noch eine Ursache, welche die Temperatur des Dampfes, folglich auch seine Expansivkraft immer mehr vermindert, wie die fortwährende Destillation des Wasserdampfes in der heberförmigen Röhre des Betancourtischen Apparats, so ist es kein Wunder, daß die Beobachtungen die Expansivkraft des Wasserdampfes zu klein geben. Das Wasser, worin sich die Kugel des Thermometers bey dem Betancourtischen Apparat befand, war bey den niedrigen Temperaturen immer um einige Grade wärmer, als der darüber befindliche Dampf. Erst bey den höhern Temperaturen, wo durch des immer häufigere Uebergehen und Zersetzen der Dämpfe die Röhre endlich größtentheils mit heißem Wasser gefüllt, und zugleich durch die zeretzten Dämpfe stark



stark erhitzt wurde, fiel dieser Fehler weg, und wurde endlich durch den immer beschleunigtern Gang des Barometers selbst in den entgegengesetzten verwandelt.

Diese Betrachtung zeigte mir die Nothwendigkeit zur Untersuchung der Expansivkraft des Wasserdampfes bey geringen Graden der Wärme einen Apparat zu gebrauchen, bey welchem alle Zersetzung der schon gebildeten Dämpfe völlig vermieden, und in dem ganzen innern Raum eine durchaus gleichförmige Temperatur hervor gebracht werden könnte.

Hierzu fand ich ein von Ciarcy verfertigtes Dampfbarometer, (oder eigentlicher, Dampfelastizitätsmesser) vorzüglich geschickt.

Fig. 3. bildet die wesentlichsten Theile dieses Werkzeuges ab. a b c ist eine gekrümmte oben zugeschmolzene Glasröhre von der Höhe und Weite einer gewöhnlichen Barometerröhre. An die Röhre ist unten eine Kugel d angeblasen, welche mit derselben ein gewöhnliches Gefäßbarometer bildet, das auf die bekannte Weise mit Quecksilber gefüllt, und in dem obern Raum a b luftleer gemacht wird. Die Oeffnung e des Gefäßes kann durch einen wohl passenden Korkstöpsel luftdicht verschlossen werden. Von der Seite des Gefäßes d über dem Niveau des Quecksilbers, führet eine rechtwinklicht gebogene Röhre nach einem zweyten Gefäß h, dessen untere Oeffnung i ebenfalls durch einen Korkstöpsel verschlossen wird. Durch diese Verschließung ist die in eine Spitze ausgezogene Oeffnung einer kleinen mit Wasser gefüllten gläsernen Viole k gesteckt. Der Hals der Viole ist, wie die Figur zeigt, gebogen, damit man das Wasser in der Viole durch ein untergehaltne kleines Kohlenbecken zum Sieden bringen kann, ohne den Korkstopfen in der Oeffnung zu verlegen. Dieses sinnreichen Apparats von Herrn Ciarc



Claron habe ich mich seit mehrern Jahren bedienet, um  
 meinen Zubörern in meinen Vorlesungen über die Expe-  
 rimentalnaturlehre die Art, wie man durch die Wasser-  
 dämpfe einen luftleeren Raum hervorbringen könne, zu  
 erläutern. Wenn man, indem man den Korkstöpsel e  
 ein wenig öffnet, das Wasser in der Viole k nach und  
 nach zum Sieden bringt, so zersetzen sich anfänglich die  
 durch die Oeffnung der Viole blasende Wasserdämpfe ganz  
 in dem Gefäß h, befeuchten zuerst blos die Wände dessel-  
 ben durch einen Wasserbeschlag, welcher sich immer wei-  
 ter und endlich bis in das obere Gefäß d ausdehnet.  
 Hierdurch wird der ganze inn-re Raum der Gefäße im-  
 mer mehr erhitzt, und kommt endlich, wenn das Wasser  
 eine Zeitlang in der Viole k gekocht hat, selbst auf die  
 Temperatur der Siedhitze. In diesem Augenblick hat  
 sich meistens der untere Theil des Gefäßes h schon bis über  
 die Oeffnung der Viole mit destillirtem Wasser angefüllt,  
 und es ist lehrreich zu bemerken, wie blos durch die Hitze  
 der aus der Viole k überströmenden Dämpfe das Was-  
 ser in dem Gefäß h, auf welches das Feuer der Kohlen  
 keineswegs unmittelbar würrt, in stetem Sieden erhal-  
 ten wird. Verschließet man in diesem Augenblick die Oeff-  
 nung e, und bringt die Temperatur der Gefäße d, h, k  
 nach und nach bis auf die Eiskälte, so sinkt das Queck-  
 silber in der Barometerröhre bis zu dem Niveau in dem  
 Gefäß herab; zum Beweis, daß die Dämpfe alle in den  
 Gefäßen enthaltene Luft vor sich her hinausgetrieben,  
 und sich selbst bey der Eiskälte wieder zersetzt haben. Die-  
 ser Versuch, welchen ich mehrmals wiederholet habe, ist  
 mir nie mißlungen, wenn das in der Viole enthaltne  
 Wasser durch anhaltendes Kochen von aller beygemischten  
 Luft gereinigt, und die Verschließung der Korkstöpsel voll-  
 kommen war. Die letztere zu befördern, besonders wenn  
 man das Vacuum in den Gefäßen mehrere Tage erhalten  
 will, ist es dienlich, die äußere Oberfläche der Korkstöpsel  
 gleich



gleich nach dem Versuch mit einem aus Birnsteinfirniß und fein gepulvertem ungelöschten Kalk bereiteten Kitt, zu überstreichen \*).

Um vermittelst dieses Apparats die Expansivkraft des Wasserdampfes im luftleeren Raum bey zunehmenden Graden der Wärme, von der Eiskälte bis zur Temperatur des siedenden Wassers zu beobachten, durchbohrte ich den Korfstöpsel e, und brachte durch denselben ein äußerst feines und empfindliches Quecksilberthermometer in den innern Raum des Gefäßes d. Die Kugel des Thermometers hatte eine pariser Linie im Durchmesser, und ein Grad der sotheiligen Scale betrug etwa  $\frac{1}{3}$  Linien. Das Auge konnte also noch ganz scharf 8tel Grade unterscheiden. Längst der Barometerrohre c a war eine in pariser Zollen und Zehnthellen eingetheilte Scale angebracht. Die Hunderttheile von Zollen schätzte ich mit dem Auge, welches bey einiger Uebung recht gut von Statten geht. Ich brauche nicht zu erinnern, daß wegen des veränderlichen Standes des Quecksilbers in dem Gefäß, an den beobachteten Barometerhöhen die nöthige Correction angebracht werden mußte. Anfänglich stellte ich meine Versuche nach *Berancourts* Methode so an, daß ich ein Kohlenbecken, oder die Flamme eines Lichtes unter die Viole k brachte, das Wasser in derselben zum Kochen erhitzte, und in diesem Augenblick den Stand des Thermometers und Barometers beobachtete. Allein hier entdeckten sich zuerst vollkommen die Fehler dieser Methode, indem sie mir zugleich eine merkwürdige Erscheinung darboten, die ich nicht mit Stillschweigen übergehen darf. Fast in demselben Augenblick, wie man die Flamme eines Lichtes unter die Viole

\*) Diesen Kitt habe ich bisher auch als das beste Verwahrungsmittel der zum Verschließen bey den Schrauben am vauin. Kopf gebrauchten Leder gegen die heißen Dämpfe befunden. Ich bestreiche die Leder etwas dick mit dem Kitt.



Viole k bringt, bilden sich Dampfbläschen, und das Barometer steigt in die Höhe, bis das Wasser in der Viole k zum Sieden kommt. Während der Zeit hat das Thermometer seinen Stand oft kaum um  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Grad verändert, indeß das Barometer, nach Beschaffenheit der höhern Temperatur, die in den Gefäßen h und d herrschte, ehe man das Licht unter die Viole k brachte, um 1, 2 bis 3 Zoll in die Höhe gegangen ist. (In einem Fall, wo Luft mit dem Dampf vermischt war, beobachtete ich sogar eine Aenderung von 7 Zoll am Barometer, ohne die mindeste Aenderung des Thermometers.) Führt man nun mit dem Licht unter der Viole weg, so sinkt das Barometer, indeß das Thermometer bis auf einen gewissen Punct zu steigen fortfähret, wo es eine Zeitlang stille steht, indeß das Barometer auch einen fixen Punct erreicht. Diese sonderbare Erscheinung erkläret sich folgendermaßen. In dem Augenblick, wie das Feuer unter die Viole k kommt, bilden sich in dem Wasser derselben Dämpfe, weil sich ihrer Bildung nichts als die Cohäsion des Wassers, die durch die Wirkung des Feuers bald überwunden wird, widersezt. In demselben Augenblick wird die Expansivkraft der Dämpfe über dem Wasser in der Viole k vermehret, und es steigt ein Theil der Dämpfe in das Gefäß h, wo sie zwar anfänglich wegen der daselbst herrschenden kältern Temperatur zersezt werden, weil aber wegen der fortdauernden Wirkung des Feuers mehr Dämpfe aus der Viole k nachfolgen, als in h zersezt werden, indem sich hier die Temperatur durch die Zersezung erhöhht, so entsteht auch in diesem Gefäß sehr bald eine Verdichtung und vermehrte Expansivkraft der Dämpfe, welche sich in das Gefäß d fortpflanzt, und das Barometer zum steigen bringt. Das Thermometer verändert seinen Stand nicht, weil die in den ersten Augenblicken aus h in d überströmenden Dämpfe beynah von derselben Temperatur sind, als die bereits in dem Gefäß

d ver



d befindlichen. Erst nachdem der Dampf durch die Verdichtung sein Maximum für die herrschende Temperatur überschritten hat, fängt er an sich zu zersetzen, und eben dadurch die Temperatur in dem Gefäß d zu erhöhen. Entfernt man nun gleich die Quelle des Feuers von der Biöle k, so dauert dem ungeachtet die Destillation und das Zersetzen des Dampfes in dem Gefäß d als dem kältesten Theil des Apparats noch eine Zeitlang, und das Thermometer fährt zu steigen fort, bis die Temperatur in d mit der Temperatur der übrigen Gefäße ins Gleichgewicht gekommen ist. Während der Zeit muß das Barometer schon wieder heruntersinken, weil in dem Augenblick, wo das Feuer von der Biöle k hinweggebracht, auch die Ursache der Vermehrung der Expansivkraft des Dampfes entfernt wird, folglich die in d fortdauernde Zersetzung diese Kraft sogleich vermindert. In dem Zeitpunkt, wo das Thermometer und Barometer zugleich anfangen, stille zu stehen, giebt das letztere genau die zu der Temperatur des Thermometers gehörige Expansivkraft der Dämpfe an. Beobachtet man daher, indeß die Wirkung des Feuers unter der Biöle k fortdauert, die zusammengehörigen Thermometer- und Barometerstände, so wird man die Expansivkraft der Dämpfe, wie mich die Erfahrung belehret hat, für die durch das Thermometer angegebene Temperatur stets zu groß finden. Könnte man unmittelbar in das Gefäß k ein Thermometer bringen, und beobachtete den Gang desselben mit dem Barometer, so würde man die Wärme gegen den Stand des letztern stets zu groß, das ist, die Expansivkraft der Dämpfe zu klein finden. Dies ist der Fehler, welchem der Betancourtische Apparat unterworfen war. Brächte man endlich das Thermometer in irgend eine mittlere Stelle des Gefäßes h, so würde man die wahre zu der Expansivkraft der Dämpfe gehörige Wärme finden. Der Punkt, wo das Thermometer stehen müßte, ändert sich aber wahrscheinlich



sich immer mit der Größe des Unterschiedes in der Temperatur der Gefäße k und d. Um desto leichter eine gleichförmige Temperatur in dem ganzen innern Raum der Gefäße zu erhalten, ließ ich die Viole k hinweg, brachte das Wasser unmittelbar in dem Gefäß h durch eine von der Seite mittelst eines Löhrohres dawider geblasenen Lichtflamme zum Sieden, und evacuirte so die Gefäße h und d von der Luft. Hierauf setzte ich den ganzen untern Theil des Apparats von i bis e in ein Wasserbad, welches ich zuvor bis zur Siedhize erwärmt hatte, und beobachtete den Stand des Thermometers und Barometers, indem ich das beständig in Bewegung erhaltene Wasser, anfänglich durch die Einwirkung der umgebenden Luft, hierauf durch hinzugemischtes kälteres Wasser, und endlich durch Schnee oder zerstoßenes Eis bis zur Temperatur von  $0^{\circ}$  erkältete. Da aber diese Art zu beobachten allzu viele Zeit und Mühe gekostet haben würde, wenn ich den Gang des Barometers, von Grad zu Grad des Thermometers hätte messen wollen, so schränkte ich die Zahl meiner Beobachtungen auf 5 zu 5 Grade ein, und bemerkte nur, wenn es die Umstände gerade erlaubten, auch zwischen liegende Grade. Die Resultate meiner Beobachtungen im Mittel genommen, enthält die 5te Tafel. Die Unterschiede zwischen den Beobachtungen und der Rechnung stiegen (ein Paar einzelne Fälle ausgenommen, wo sich gröbere Fehler der Beobachtung eingeschlichen haben,) nicht über  $\frac{1}{3}^{\circ}$  der Temperatur, und sind im Durchschnitt genommen, noch ungleich geringer. Eine größere Uebereinstimmung wird man, nach dem was ich bereits über die Schwierigkeiten dieser Beobachtungen gesagt habe, nicht erwarten. Ich glaube mich daher berechtigt, das von mir entdeckte Gesetz über die Expansivkraft der Wasserdämpfe, so weit unsre Beobachtungen reichen, für allgemein gültig zu halten. Nun noch einige Bemerkungen über die Natur dieses Gesetzes und die Frage, wie

Neues Journ. d. Phys. B. 4. S. 3. E weit



weit darf es ausgedehnt werden? Da, wie oben bereits erinnert worden ist, in dem allgemeinen Ausdruck  $e = tm$ , für  $t = 80$ ,  $m = 1,8113$  ist, und dieser Exponent für Veränderungen des Thermometers von 10 Graden sich um 0,05, oder für Veränderungen von einem Grad um 0,005 ändert, so beträgt  $m$ , für  $t = 0$ ,  $1,8113 - 0,4 = 1,4113$ . Man kann daher die Formel bequemer so ausdrücken:  $e = t 1,4113 + 0,005 t$ ; wo man nur für  $t$  den Wärmegrad der 80theiligen Scale des Quecksilberthermometers schreiben darf, um  $e$  in Hunderttheilen von pariser Zollen ausgedruckt zu erhalten. Es sey z. B.  $t = 100$ , so erhält man  $e = 100 1,4113 + 0,5$ ; oder für  $t = 254$  (die Hitze des siedenden Quecksilbers)  $e = 254 1,4113 + 254 \cdot 0,005 = 254 2,6813$ . Berechnet man diesen Werth von  $e$  durch Logarithmen, so findet man  $e = 280$  60 Zoll. Die Expansivkraft der Wasserdämpfe für die Hitze des siedenden Quecksilbers, ist gleich dem 1000fachen Druck der Atmosphäre. Im Vorbeygehen will ich bemerken, daß man für die Werthe von  $t$  unter  $70^\circ$ , die Tausendtheile in dem Exponenten der Potenz von  $t$  ganz ausser Acht lassen könne, und selbst bey höhern Graden der Wärme darf man sich diese Abkürzung erlauben, wenn keine außerordentliche Schärfe erfordert wird. In dem vorstehenden Exempel würde die abgekürzte Rechnung 27870, geben.

Die Frage, wie weit darf man das gefundene Gesetz für die Expansivkraft der Wasserdämpfe als richtig annehmen? könnte nur durch unmittelbare Versuche beantwortet werden. Da aber diese Versuche wegen der hierzu erforderlichen dichten Verschließung der Gefäße, wie bereits erwähnt, sehr vielen Schwierigkeiten unterworfen sind, und bey hohen Graden der Hitze wegen des zu besorgenden Springens der Gefäße selbst gefährlich werden könnten, so zweifle ich, ob diese Frage je mit geometrischer



cher Gewißheit wird beantwortet werden können. Inz  
 Unendliche kann sich das Gesetz wohl nicht erstrecken, weil  
 man sonst die expandirende Kraft der Feuertheilchen selbst  
 als unendlich groß annehmen müßte. Es ist mir indessen  
 wahrscheinlich, daß sich das Gesetz weit, wohl bis zur  
 Glühhitze erstrecken mag, wenn ich die ungeheure Ge-  
 walt bedenke, welche eingeschlossene, bis zum Glühen  
 erhitzte, Dämpfe in den Kesseln der Vulkanen und bey Erd-  
 erschütterungen ausgeübt haben. Es ist wenigstens sehr  
 interessant unter dieser Voraussetzung über die bewegende  
 Kraft, welche die fürchterlichsten aller Naturerscheinun-  
 gen erzeugt, Rechnung führen zu können. Nur ein Bey-  
 spiel zur Probe. Ich denke mir eine Höhle tief unter der  
 Erde im Kessel eines Vulkans rund um mit glühender  
 Lava umschlossen, in deren Mitte Wasser, das nicht eher  
 entweichen kann, bis es selbst zur Glühhitze gekommen ist.  
 Ich setze die Hitze der geschmolzenen Lava nur der Roth-  
 glühhitze des Eisens gleich, = 1077 Fahrenheit oder  
 464 Reaum., da sie doch dieselbe nach Spallanzani's  
 Beobachtungen (man sehe dessen Reise in beide Sicilien  
 4 Th. 23 Cap.) noch weit übertrifft, und berechne nach  
 dem gefundenen Gesetz die Expansivkraft der Wasserdäm-  
 pfe für diese Temperatur. Sie ist  $e = 464 \frac{1}{141} + 464 \frac{1}{9,005} = 464 \frac{3173}{1000} = 88331000$ . Diese Zahl mit 28 di-  
 vidiret, giebt einen 3154679fachen Druck der Atmosphäre.  
 Den Druck der Atmosphäre auf einen Quadratfuß 22  
 Centner gerechnet, so kommt für die Kraft der glühenden  
 Wasserdämpfe die ungeheure Gewalt von 69402938 Cent-  
 nern. Eine Kraft, welche, wenn man bloß an Gewicht,  
 nicht an Zusammenhang der Erde denkt, hinreichend wäre,  
 die Erde bersten zu machen, selbst wenn die Mine im  
 Mittelpunkt der Erde spränge. Man rechne das Gewicht  
 eines pariser Cubikfußes Erde (diese Größe unveränder-  
 lich durch die ganze Masse der Erde gesetzt) 175 Pfund  
 und den Halbmesser der Erde 860.22000 Fuß, so beträgt



das Gewicht eines Prisma von Erde, dessen Grundfläche ein Quadratfuß, und dessen Höhe der Halbmesser der Erde wäre, 33110.000 Centner, noch nicht die Hälfte von der gefundenen Zahl.

Voraus gesetzt die Gleichung  $e = t^{1,4113} + 0,005t$  drucke das allgemeine Gesetz für die Expansivkraft der Wasserdämpfe aus, so entsteht die Frage, was erhält sie für einen Werth für verneinte  $t$ ? Diese Frage läßt sich aus der Beschaffenheit der Formel gar nicht beantworten, (welche, wenn man für die verneinten  $t$  nicht bloß ganze, sondern auch Brüche von Graden schreibt, bejahte, verneinte und unmögliche Werthe geben kann,) sondern sie muß aus der Natur der Sache beantwortet werden. Ich habe schon oben im Allgemeinen bemerkt, daß bey der Dampfbildung zwey Kräfte (den Druck der Atmosphäre ausgeschlossen) einander entgegen wirken, die expandirende Kraft des Feuers, und die anziehende des verdampfenden Körpers. Bey dem völligen Gleichgewicht beider Kräfte ist keine Dampfbildung denkbar. Erst, wenn die Cohäsion des verdampfenden Körpers wenigstens an der Oberfläche durch die Wirkung des Feuers aufgehoben wird, kann eine wirkliche Vereinigung zwischen den Theilchen des Feuers und des Körpers vor sich gehen, wodurch diese die Dampfgestalt erhalten. Die Expansivkraft eines unter diesen Umständen gebildeten Dampfes gegen die umgebenden Körper ist 0, und der leiseste Zug der letzten zersetzt den Dampf. Erst, wenn Ueberschuß von Wärme (freie Wärme) hinzukommt, so erhält der Dampf eine sich thätig äussernde Expansivkraft. Die Ueberschüsse der Temperatur über jenen Punkt des eben aufgehobenen Gleichgewichts sind die Grade der Wärme, wodurch das Gesetz der Expansivkraft des Dampfes bestimmt wird. Bey den Wasserdämpfen fällt, wie die Erfahrung lehrt, der 0 Punkt der Thermometerscale für



für die Expansivkraft der Dämpfe auf den Frierpunkt des Wassers, oder wenigstens sehr nahe dabei, und eben daher können die Grade des reamurischen Thermometers über 0, oder jeder andern Scale, welche von demselben Punkt anfängt, dienen, das Gesetz der Expansivkraft der Wasserdämpfe auszudrücken. Verneinte unter 0 liegende Grade der Wärme giebt es gar keine, so bald von einer dadurch bewirkten Expansivkraft der Wasserdämpfe die Rede ist. Für andere Dämpfe muß der 0 Punkt der Thermometerscale durch unmittelbare Erfahrungen ausgemacht werden. Ich habe mir vorgenommen, in der Folge Untersuchungen über diesen Gegenstand anzustellen, und will gegenwärtig die Erzählung meiner bereits gemachten Erfahrungen über die Wasserdämpfe dadurch nicht unterbrechen. Aus dem, was ich zu Anfang dieser Abhandlung über De Luc's Theorie der Wasserdämpfe gesagt habe, erhellet, daß dieser Naturforscher zuerst den Satz aufgestellt hat: daß die Siedhize des im Freien kochenden Wassers, jedesmal der Temperatur gleich sey, welche erfordert wird, dem Wasserdampf eine dem Druck der Atmosphäre gleiche Expansivkraft zu geben. Herr Gren hat in einem sehr lehrreichen Aufsatz über die wesentliche Einrichtung der neuern Dampfmaschinen *S. 144 f. 1 Bdes.* seines neuen Journals der *Phys.* durch Vergleichung der De Luc'schen Beobachtungen über die Siedhize auf den Schweizergebirgen, mit den Betancourtschen Versuchen und mit eignen Beobachtungen, die Herr Gren über die Siedhize in dem Vacuum der Luftpumpe anstellte, gerechtfertiget. Ich bemerke hierzu, daß die nach meinem Gesetz über die Expansivkraft der Wasserdämpfe mit dem von De Luc beobachteten Siedhizen und zugehörigen Barometerständen noch vollkommener übereinstimmen, als Betancourts Beobachtungen und die Pronysche Rechnung, wie man sich durch den Anblick der nachstehenden Tafel überzeugen kann. Ich



habe die Deluc'schen Beobachtungen aus dem angeführten Grenschen Aufsatz entlehnt, wo die Barometerstände in Hunderttheilen von Follen und die Grade des Deluc'schen Thermometer's in ein bey 28 Zoll B. St. regulirtes verwandelt sind, und habe zu diesen Thermometerständen die Expansivkraft des Wasserdampfs sowohl nach meiner Formel, als nach der Prony'schen berechnet.

## Sechste Tafel.

Deluc's Wärme.	Beobacht. Baromst.	Expansivkr. des Dampfes nach		Unterschiede.	
		Prony.	meiner Formel.	II. III.	II. IV.
I.	II.	III.	IV.		
72,50	19,66	18,93	19,946	+ 0,73	- 0,28
73,21	20,41	19,76	20,50	+ 0,65	- 0,09
74,74	21,85	21,30	21,99	+ 0,55	- 0,14
75,80	22,98	22,51	23,183	+ 0,47	- 0,20
76,14	23,36	22,91	23,40	+ 0,45	- 0,04
76,43	23,67	23,26	23,80	+ 0,41	- 0,13
76,70	24,08	23,58	24,02	+ 0,50	+ 0,06
77,04	24,49	24,09	24,46	+ 0,40	+ 0,03
77,44	24,87	24,53	24,93	+ 0,34	- 0,06
78,38	25,92	25,76	26,01	+ 0,16	- 0,09
78,93	26,73	26,46	26,66	+ 0,27	+ 0,07
79,22	27,02	26,89	27,01	+ 0,13	+ 0,01
79,26	27,04	26,94	27,05	+ 0,10	- 0,01
79,32	27,07	27,03	27,13	+ 0,04	- 0,06
79,38	27,15	27,04	27,20	+ 0,11	- 0,05
79,41	27,30	27,17	27,26	+ 0,13	+ 0,04
79,53	27,43	27,34	27,40	+ 0,09	+ 0,03
79,61	27,53	27,45	27,49	+ 0,08	+ 0,04
79,69	27,55	27,56	27,58	+ 0,01	- 0,03
79,84	27,78	27,76	27,77	+ 0,02	+ 0,01
79,90	27,83	27,86	27,84	- 0,03	- 0,01
79,94	27,91	27,90	27,89	+ 0,01	+ 0,02
80,03	28,09	28,04	28,04	+ 0,05	+ 0,05
80,14	28,18	28,20	28,18	- 0,02	0,00
80,30	28,42	28,43	28,39	- 0,01	+ 0,03

für



Für die nahe bey  $80^{\circ}$  liegenden Siedhitzgen, giebt sowohl die Pronysche als meine Rechnung nur geringe Unterschiede. Je weiter aber die Temperatur sich von  $80^{\circ}$  entfernt, desto mehr weicht die Pronysche Rechnung von dem Deluccischen Beobachtungen ab, und wenn sich die Gränzen der Beobachtungen weiter erstrecken, so würde die Abweichung von Pronys Rechnung immer größer werden. Dieß beweiset schon die folgende von Saussüre auf dem Gipfel des Montblanc angeestellte Beobachtung. Dieser Naturforscher fand die Siedhitz auf dem höchsten Berg, in Europa  $69^{\circ}$  nach Delucc, indeß das Barometer  $16'' \frac{7}{8}$  Linien = 16,08 Zoll stand. Die Deluccischen  $69$  Grade, auf ein 80zigtheiliges Quecksilberthermometer reduciret, dessen Siedpunct bey 18 Zoll reguliret ist, geben  $68,3^{\circ}$ . Für diese Temperatur giebt meine Formel die Expansivkraft des Wasserdampfes 16,34 Zoll, die Pronysche Rechnung 15,13 Zoll. Der Unterschied zwischen meiner Rechnung und der Saussürischen Beobachtung beträgt in der Scale des Thermometers  $\frac{1}{4}$  Grad; dies läßt sich noch aus einem Fehler der Beobachtung erklären, weil, wie ich gleich umständlicher zeigen werde, die genaue Bestimmung der Siedhitz des Wassers sehr vielen Schwierigkeiten unterworfen ist. Der Unterschied zwischen der Pronyschen Rechnung und Saussüres Beobachtung beträgt aber über  $1\frac{1}{2}$  Grad, und ist zu groß, als daß man ihn dlos als einen Fehler der Beobachtung ansehen könnte. Die Grenschen Beobachtungen über die Siedhitz des Wassers im Vacuum der Luftpumpe stimmen zwar durchgehends besser mit Vetancourt's, als meinen Versuchen überein, aber Herrn Gren's Scharfsinn ist die Ursache des Fehlers selbst nicht entgangen, welcher seine Beobachtungen unsicher machte. Er bemerkte nämlich, daß der Elastizitätsmesser unter der Glocke der Luftpumpe herunterfiel, wenn gleich das heiße Wasser, in welchem sich das Ther-



mometer befand, zu Kochen fortfuhr, und nicht weiter  
 evacuirt wurde, welches Herr Gren sehr richtig aus der  
 stets fortdauernden Erkältung und Zerlegung der Dämpfe  
 an den Wänden der Glocke erklärt. Dieser Umstand mußte  
 aber nothwendig eine stets geringere Temperatur der  
 Dämpfe unter dem Recipienten, als in dem siedenden  
 Wasser selbst erzeugen. Es ist zu bedauern, daß bey die-  
 sen Versuchen kein Thermometer frei mitten in dem Re-  
 cipienten aufgehängt war, dieß würde wahrscheinlich,  
 wenn es anders empfindlich genug gewesen wäre, die  
 jedesmahlige Temperatur der Dämpfe genauer angezeigt  
 haben. Aus der Uebereinstimmung meiner Beobachtun-  
 gen und Rechnungen über die Temperatur und Expansiv-  
 kraft der Wasserdämpfe mit den bey gleichem Druck der At-  
 mosphäre von *Saussure* und *Deluc* gefundenen Sied-  
 hitzen des Wassers, folgt nun allerdings der oben ange-  
 führte *Deluc'sche* Satz von der Bestimmung der Sied-  
 hitze durch die Expansivkraft der Wasserdämpfe, welche  
 dem jedesmahligen Druck der Atmosphäre gleich ist. Es  
 ist nichts leichteres, als nach meiner Formel die zu jeder  
 gegebenen Temperatur der Siedhitze zugehörige Expan-  
 sionskraft des Wasserdampfes, oder den ihr gleichgültigen  
 Druck der Atmosphäre zu berechnen. Man kann hiernach  
 zu jeder beobachteten Siedhitze den zugehörigen Druck  
 der Atmosphäre und aus diesem, nach den bekannten Re-  
 geln für die Höhenmessung durch das Barometer, die  
 Höhe des Ortes der Beobachtung über der Meeresfläche  
 finden. So würde man statt des Barometers in Zukunft  
 das viel leichter transportable Thermometer auf die Gip-  
 fel der Berge mitführen, und dadurch ihre Höhe bestim-  
 men können. Ich zweifle indessen sehr, ob man von  
 dieser Anwendung des entdeckten Gesetzes über die Expan-  
 sionskraft der Wasserdämpfe sobald einen nützlichen Ge-  
 brauch machen könne, nicht wegen der Unvollkommenheit  
 der Theorie, sondern wegen der Schwierigkeiten, die  
 die



die Ausführung von einer andern Seite macht. Aus dem Anblick der 5ten Tafel erhellet, daß ein Grad Unterschied in der Temperatur bey 28 Zoll Barometerstand, 1,25 Zoll Unterschied für den Druck der Wasserdämpfe giebt. Für die gegenwärtige Absicht ist es verstatet, die zwischen zwey nächsten Grade des Thermometers fallenden Unterschiede der Temperatur und des Drucks der Wasserdämpfe einander proportional zu setzen. Ein Zehnthheil Grad Veränderung in der Siedhize giebt daher schon  $0,125$  Zoll Aenderung für den Stand des Barometers,  $\frac{1}{70}$  Grad Wärme  $0,0125$  Aenderung des Barometerstandes. Will man also aus der beobachteten Siedhize des kochenden Wassers mit eben der Zuverlässigkeit auf den zugehörigen Druck der Atmosphäre schließen, mit welcher man denselben durch die Beobachtung eines gut eingerichteten ausgekochten Barometers gefunden hätte, so muß man in der Bestimmung der Siedhize, wenigstens bis auf  $\frac{1}{70}$  Grad des gotheiligen Thermometers sicher seyn. Die bloße Ansicht der De Luc'schen Versuche, welche doch von einem so vortreflichen Beobachter mit so vorzüglichen Werkzeugen angestellt worden sind, beweiset schon, daß man sich von den Beobachtungen der Siedhize des Wassers keine bis auf  $\frac{1}{70}$  Grad des gotheiligen Thermometers reichenden Genauigkeit versprechen dürfe. Da ich indessen in der Naturlehre nicht gerne einen Satz auf die Auctorität eines einzigen Mannes, (wenn ich gleich denselben sehr schätze) annehme, so wollte ich mich durch eigne Beobachtungen von dem Grad der Genauigkeit bey der Bestimmung der Siedhize in offenen Gefäßen durch das Thermometer versichern. Der Apparat, welchen ich dabey gebrauchte, hatte folgende Einrichtung. A A B B fig. 4. ist ein Cylinder von weißem Blech, 4 Zoll weit, 2 Fuß paris. Maas hoch. Die obere Oefnung des Cylinders ist durch einen passenden Deckel von demselben Metall verschlossen, durch dessen kleine Oefnung in der

I 5

Mitte



Mitte die Röhre des Thermometers ab geht, und durch eingestopftes Berg festgehalten wird. Um den über der Oberfläche des kochenden Wassers sich bildenden Dämpfen einen Ausgang zu verschaffen, ohne daß der durch ihre Zersetzung gebildete Nebel die genaue Beobachtung des Thermometers verhindert, gehen zu beiden Seiten zwey anderthalb Zoll weite oben offene cylindrische Röhren c c in die Höhe. Das Gefäß A A B B wurde bis an die innere Mündung der beiden Röhren c, c voll Wasser gefüllt, und das Thermometer bis beynähe auf den Boden des Gefäßes, ohne denselben zu berühren, versenkt. Von der Scale des Thermometers, die in einen besondern Glaszylinder eingeschlossen war, reichte jedesmal nur so viel über die Oeffnung des Deckels a hervor, als zur Beobachtung des Standes des Quecksilbers nöthig war. Die ganze Scale des Thermometers ging nur von 70 zu 82 Grad der Reaum. Eintheilung. Jeder Grad der Scale betrug an 2 pariser Zoll, und konnte daher mit hinlänglicher Schärfe in 100 kleinere Theile getheilet werden. Der Punkt 80, so wie die Größe der Grade des Thermometers, waren nach einem andern Quecksilberthermometer bestimmt worden, dessen Grade, bey der ganzen Ausdehnung der reaum. Scale über  $\frac{1}{4}$  pariser Zoll betrug, und dessen Siedpunkt auf den mittlern Barometerstand von 27 Zoll 8 Linien reguliret war. Das Wasser in dem Gefäß A A B B wurde in einem Windofen mit Kohlenfeuer bis zum Sieden erhitzt, und der Thermometerstand erst dann beobachtet, wenn die ganze Wassermasse in vollem Aufwallen bis in die Röhre c c hineingetrieben wurde. Die Versuche stellte ich ganz im Freien bey einer Wärme der Luft von  $10^{\circ}$  —  $15^{\circ}$  an. Der Druck der Atmosphäre wurde durch ein Delüccisches Heberbarometer, dessen Vernier Zehnthelle von Linien angab, bestimmt.

Erster



## Erster Versuch.

Stand des Barometers.	Beob. Siedhöhe.
27 Zoll 9,9 Linien	{ 80,175
	{ 80,110
	{ 80,200
Mittel	80,161

## Zweyter Versuch.

Stand des Barometers.	Siedhöhe.
27 Zoll 8,6 Linien	{ 80,00
	{ 80,15
	{ Mittel 80,075
	80,200 wenn das Thermometer auf dem Boden des Gefäßes aufstand, und das Wasser oben zu den Röhren hinaus wallte.

## Dritter Versuch.

Barometerstand.	Siedhöhe.
27 Zoll 7,7 Linien	{ 79,95
	{ 80,00
	{ Mittel 79,975

## Vierter Versuch.

Barometerstand.	Siedhöhe.
27 Zoll, 7 Linien	{ 79,933
	{ 79,955
	{ 80,00
Mittel	79,963

## Fünfter Versuch.

Barometerstand.	Siedhöhe.
27 Zoll 9,6 Linien	{ 80,20
	{ 80,25
	{ 80,30
Mittel	80,23

Aus



Aus diesen Versuchen erhellet, daß man kaum auf  $\frac{1}{10}$  Grad der reaum. Scale in der Bestimmung der Siedhize sicher seyn könne. Die Ungewißheit rühret von den Oscillationen des im siedenden Wasser eingetauchten Thermometers her, indem die Hize des Wassers über den Siedpunkt wächst, bis die Dämpfe durch ihre immer steigende Expansivkraft die ganze Wassersäule in Bewegung setzen und mit einem heftigen Aufwallen plötzlich entweichen, wodurch das Wasser wieder unter den Siedpunkt erkältet wird. Da nun, wie schon gezeigt worden ist, zu  $\frac{1}{10}$  Grad Unterschied der Wärme bey 80° Temperatur 0.125 Zoll Unterschied im Barometerstand gehören, so wird man diesen durch die unmittelbare Beobachtung zehnmal schärfer, als durch Rechnung aus der beobachteten Siedhize finden. Man darf nicht einwenden, daß bey geringern Siedhizen, wie man sie auf den Gipfeln der Berge beobachtet, zu einem gleichen Unterschied in der Wärme ein geringerer Unterschied im Barometerstand gehöre, folglich der Fehler der Beobachtung sich vermindere. Denn man bedenke, daß in höhern Regionen der Atmosphäre gleiche Unterschiede des Barometerstandes größere Veränderungen in den daraus hergeleiteten Höhen geben, folglich der Fehler der Beobachtung wenigstens für den Zweck durch das Thermometer der Höhenmessung immer derselbe bleibt. Vielleicht wäre es möglich, durch Verbesserungen des Apparats, eine größere Genauigkeit in die Bestimmung der Siedhize durch das Thermometer zu bringen. Insbesondere verdient der Gedanke einiger englischer Physiker, die Siedhize durch bloße Dämpfe des siedenden Wassers zu bestimmen, weitere Prüfung. Es kommt dabey alles auf die Auflösung der (freilich nicht ganz leichten) Aufgabe an: die Wirkung des Feuers auf das siedende Wasser so zu reguliren, daß die von dem Wasser in einer bestimmten Zeit aufsteigende Menge Dampf der durch eine gegebne

Deß



Oefnung des Apparats entweichenden Menge stets gleich bleibe, damit der Dampf in dem Gefäß selbst, wo sich das Thermometer befindet, weder verdichtet noch zersezt werde, und daher immer einerley Temperatur behalte. Ich habe mir vorgenommen, Untersuchungen über diesen Gegenstand anzustellen. Vor der Hand finde ich es aber überflüssig, den Leser länger damit aufzuhalten, und wie *Prony* in dem zweyten Theil seiner nouvelle Architecture hydraulique gethan hat, eine Tafel zu berechnen, welche aus der Siedhize des Wassers die zugehörige Erhebung über der Meeresfläche giebt, da alles auf die Bestimmung des Barometerstandes aus der Siedhize ankommt, und diese Bestimmung nach meinen oben gegebenen Formel ohnehin sehr leicht ist. Ein anderer Nutzen, welchen man aus dem entdeckten Gesetz für die Expansivkraft der Wasserdämpfe ziehen kann, ist die Regulirung des Siedpuncts der Thermometer für jeden gegebenen Barometerstand. Hierbey kommt es auf die Auflösung der Aufgabe an: aus dem gegebenen Barometerstand die zugehörige Temperatur des Wasserdampfes oder die ihr gleiche Siedhize zu finden. Man sieht das hier in der allgemeinen Formel,  $e = t^{1,4113} + 0,005t$ ,  $e$  gegeben ist, und  $t$  gesucht wird. Da bey dieser Auflösung der Logarithme von  $t$  mit  $t$  multipliciret wird, so muß man den Logarithmen durch seine Zahl ausdrücken, und die Reihe, wodurch alsdann  $e$  gegeben ist, umkehren, um  $t$  aus  $e$  zu finden. Diese weitläufigen Rechnungen kann man aber in der Ausübung völlig entbehren, wenn man bedenkt, daß die zwischen zwey nächste Werthe von  $t$  fallenden Unterschiede von  $e$  und  $t$  einander ohne merklichen Fehler proportional sind. Aus der 5ten Tafel hat man den Unterschied der Barometerstände zwischen  $79^\circ$  und  $80^\circ$  Temperatur = 1,25 Zoll; man nenne den Unterschied des beobachteten Barometerstandes von 28 Zoll =  $d$ , und sage,  $1,25 : d = 1 :$  Gesuchte, so erhält man den Unterschied

scheid



schied der beobachteten Siedhize von  $80^{\circ}$  in Theilen des reaum. Thermometers ausgedruckt \*).

Ich kehre nach dieser Ausschweifung zu meinem Gegenstand zurück, und komme auf die Untersuchungen, welche ich über die Dichte und latente Hize des Wasserdampfes bey verschiedenen Temperaturen angestellt habe.

Hierüber sind bisher wenig directe Untersuchungen von den Naturforschern angestellt worden. Wenigstens ist das Folgende alles, was ich mich davon gelesen zu haben erinnere. Saussüre erzählt in seiner Hygrometrie S. 114 f. einige Versuche, welche er in der Absicht angestellt hat, um die Menge Wasser zu finden, welche ein Cubikfuß Luft, indem sie vom Punkt der größten Trocknheit bis zum Punkt der größten Feuchtigkeit seines Hygrometers kommt, aufgelöset erhalten kann. Er trocknete die Luft in einem großen gläsernen Ballon, der über 4 pariser Cubikfuß faßte, und worin er ein Hygrometer, Thermometer und Barometer eingeschlossen hatte, vermittelst

- \*) Nimmt man 28 Zoll allgemein für den Barometerstand an, bey welchem man den Siedpunct der Thermometer bestimmen will, und heist der Abstand zwischen dem Eis- und Siedpunct des Thermometers  $a$ , den für irgend einen andern Barometerstand gefundenen Abstand der beiden Puncte  $b$ , so läst sich  $a$  aus  $b$  durch folgende Proportion bestimmen.
- $$1,25 : d = \frac{7}{80} a : a - b, \text{ wo } d \text{ den Unterschied der Barometerstände in Decimalthellen von pariser Zollen bedeutet.}$$
- Dies giebt  $1,25 \cdot 80 \cdot a - b = da$  und  $a = \frac{80 \cdot 1,25 \cdot b}{80 \cdot 1,25 - d}$
- Wenn die beobachtete Barometerhöhe über 28 Zoll beträgt, so darf man nur für  $d$  einen negativen Werth in der Formel für  $a$  setzen. Genauer hat man für diesen Fall
- $$a = \frac{80 \cdot 1,30 \cdot b}{80 \cdot 1,30 + d}$$
- weil, wie aus der 5ten Tafel erhellet, der Unterschied der Barometerstände zwischen  $80^{\circ}$  und  $81^{\circ}$  Temperatur 1,30 beträgt.



mittelst geglähter Potasche, so gut wie möglich aus. Hier-  
 auf brachte er etwas feuchte Leinwand, deren Gewicht er  
 genau bestimmt hatte, in den Ballon, und bemerkte, in-  
 dem er den ganzen Apparat sorgfältig in einerley Tempe-  
 ratur zu erhalten suchte, wie viel Feuchtigkeit verdunstete,  
 indem das Hygrometer bis zum Punkt der größten Feuch-  
 tigkeit gieng. Es kamen im Durchschnitt 11 — 12 Gran  
 Wasser auf einen Cubikfuß Luft bey einer Temperatur  
 von 14 — 15°, das Barometer stieg durch den Druck  
 der Dämpfe von 27 Zoll auf 27 Zoll 6 Linien. Vergleicht  
 man die Vermehrung der Elastizität der eingeschlossenen  
 Luft mit der Expansivkraft des Wasserdampfes in der 5ten  
 Tafel bey gleicher Temperatur, so erhellet, daß diese jene  
 nur um weniges übertrifft, und ihr völlig gleich seyn  
 würde, wenn die Temperatur des Saussürischen Apparats  
 = 14° gesetzt würde. Dies berechtiget ferner zu der  
 Voraussetzung, der Wasserdampf habe sich mit der ein-  
 geschlossenen Luft blos mechanisch vermischt und sie ver-  
 dichtet, so, wie wenn noch ein Antheil atmosphärischer  
 Luft hinzugekommen wäre. Da nun der Raum der ein-  
 geschlossenen Luft sich nach dem mariottischen Gesetz um-  
 gekehret wie ihre Elastizität verhält, so wurde die Luft  
 durch die Wirkung des Dampfes in dem saussürischen  
 Versuch um  $\frac{1}{3}$  verdichtet, und diesen Raum =  $\frac{1}{3}$  par.  
 Cubikfuß = 31, 5 Cubikzolle nahm der aus 12 Gran  
 Wasser bey 14 — 15° Wärme gebildete Dampf ein. Setzt  
 man das Gewicht eines pariser Cubikfußes Wasser = 70  
 Pfund, so beträgt  $\frac{1}{3}$  Cubikfuß  $1\frac{1}{3}$  Pfund = 11729 par.  
 Gran. Folglich war der in diesem Versuch gebildete  
 Dampf 1056mal leichter als Wasser oder 1,3mal leichter  
 als Luft, wenn man diese 840 leichter als Wasser setzt.  
 Die Art, wie Saussür diesen Versuch angestellt hat, ver-  
 spricht keine große Genauigkeit für die Bestimmung der  
 Dichte des Wasserdampfes, welches auch gar nicht der  
 Endzweck des Versuches war.

Vors



Fürs erste werde ich in dem zweyten Theil meiner Abhandlung durch mehrere Thatsachen direct erweisen, daß die Expansivkraft des reinen, im luftleeren Raum gebildeten, Wasserdampfes keineswegs mit der Expansivkraft eines mit Luft vermischten Wasserdampfes ganz einerley ist, und man folglich nicht geradezu von der Dichte des einen auf die Dichte des andern schliessen darf. Zweytens, hält es ausserordentlich schwer, einen so großen Apparat, wie der Saussürische war, in allen seinen Theilen bey gleicher Temperatur zu erhalten, um das Niederschlagen des Wassers an die kältern Stellen, noch ehe die Luft bis zum Sättigungspunkt mit Dämpfen erfüllt ist, ganz zu verhüten. De Luc erzählt in seiner Schrift über die Meteorologie, daß Watt aus seinen Beobachtungen über die Dampfmaschinen geschlossen habe, die Dämpfe des siedenden Wassers seyen über 1300mal leichter, oder dünner als Wasser. Die Art, wie Watt seine Beobachtungen angestellt hat, finde ich aber nicht genau angegeben. Da ich directe Versuche über diesen Gegenstand anzustellen willens war, so dachte ich über die beste Methode nach, welche hierbey zu befolgen wäre. Ich fand kein anderes Mittel, die Dichte des reinen Wasserdampfes bey einer niedrigeren Temperatur als der Siedhitze zu bestimmen, als ein bestimmtes Gewicht Wasser in das Vacuum der Luftpumpe oder des Barometers zu bringen, und zu untersuchen, welchen Raum es da in Dampfgestalt bey einer bestimmten Temperatur einnehme. Da ich indessen die Art, dies mit Genauigkeit zu bewerkstelligen, mit allzuvielen Schwierigkeiten verknüpft fand, so mußte ich mich vor jetzt auf die Untersuchung der Dichte der Dämpfe des siedenden Wassers, welche ohnehin, wegen ihrer Anwendung auf das Maschinenwesen, die interessantesten sind, einschränken. Der Grundsatz, worauf ich diese Versuche bauete, ist folgender. A (Fig. 5.) bezeichne das Gewicht eines hohlen leichten Gefäßes von Glas,







dritten abgezogen das Gewicht der im Gefäß enthaltenen Luft =  $L$ , beide Unterschiede dividiret das Verhältniß des specifischen Gewichtes des Dampfes zum specifischen Gewicht der atmosphärischen Luft zur Zeit der Beobachtung. So einfach der Grundsatz ist, auf welchem der ganze Versuch beruht, so erfordert die genaue Ausführung desselben doch besondere Vorrichtungen, die ich jetzt erwähnen will. Das Gefäß  $A$  darf nicht zu groß und zu schwer seyn, um sein Gewicht an einer feinen Wage mit aller Schärfe bestimmen zu können. Das, dessen ich mich bediente, war auf der Lampe sehr dünn von Glas geblasen, faßte etwas über 6 pariser Cubitzolle und wog nicht völlig  $1\frac{1}{2}$  Loth Eöln. M. Das Wasser, welches man in das Gefäß bringt, muß sehr reines destillirtes Wasser seyn, damit es bey dem Verdampfen keinen Bodensatz zurückläßt, welcher das Gewicht vergrößern könnte. Indem man das Wasser bis zur Trockne verkokon läßt, muß man darauf sehen, daß das Gefäß überall gleichförmig, und nicht zu stark erhitzt werde. Ich habe eine Argandische Lampe zu diesem Versuch am schicklichsten gefunden, über deren Rauchfang ich das Gefäß frey mit der Hand hielte, und es fleißig umwendete, damit das Wasser nicht an der einen Stelle vertrocknete, indes sich die Dämpfe an einer andern kältern Stelle beschlugen. Auf diese Weise brachte ich es dahin, daß alle sichtbare Flüssigkeit in demselben Augenblick aus dem Gefäß verschwand, in welchem der letzte Dampfhauch zur Oeffnung  $d$  heraus blies. Alsdann muß unverzüglich die Oeffnung mit einem in Bereitschaft habenden Wachsflügelchen verschlossen, und das Gefäß vom Feuer gebracht werden. Gesähe dieses nicht, so würden sich die in dem Gefäß enthaltenen Wasserdämpfe sehr schnell über die Siedbize erwärmen, und durch ihre vermehrte Expansivkraft zum Theil aus dem Gefäß treten, und man würde ihr Gewicht an der Wage zu klein finden, oder eigentlich zu reden, man würde



würde das specifische Gewicht eines über die Siedhize erwärmten Wasserdampfes bestimmen. So fand ich wirklich in einem meiner ersten Versuche, wo ich noch nicht aufmerksam genug auf diesen Umstand war, das Gewicht der Wasserdämpfe drey mal geringer als das Gewicht der Luft, da doch die nachstehenden Versuche zeigen, daß es nicht über 1 $\frac{1}{3}$  mal geringer ist. Schloß man hingegen das Gefäß zu frühe, ehe alle sichtbare Feuchtigkeit verdampfet ist, so würde man das Gewicht der Dämpfe zu groß finden. Ich setze mehrere Versuche hierher, welche ich zu verschiedenen Zeiten auf die beschriebene Weise angestellt habe, damit derg. eneigte Leser selbst von dem Grad der hierbey erreichbaren Genauigkeit urtheilen könne.

1ter Versuch der Wasserdpf.	1,8	mal leichter als die Luft
2ter Versuch	—	— 1,71
3ter Versuch	—	— 1,70
4ter Versuch	—	— <u>1,75</u>
Mittel	—	— 1,742

wofür ich als eine runde Zahl 1,75 schreibe. Da das Gewicht der Luft selbst nicht zu allen Zeiten gleich groß ist, so nehme ich nach meinen (in meiner Samml. phys. mathem. Abhandlungen) darüber angestellten Versuchen, das Gewicht der Luft im Mittel 840 mal kleiner als das Gewicht des Wassers bey einer Temperatur von 15° Reaum. Dies giebt den Dampf des siedend-heissen Wassers 1470 mal leichter oder dünner als Wasser. Der reine im leeren Raum bey geringern Temperaturen, als die Siedhize ist, gebildete Wasserdampf ist eine noch ungleich leichtere und dünnere elastische Flüssigkeit. Dies haben mir meine so eben angeführte Versuche augenscheinlich bewiesen. Denn sobald das Gefäß A, welches, so lange es die Temperatur der Siedhize hat, ganz mit durchsichtigen Wasserdämpfen angefüllt ist und völlig trocken scheint, von dem Feuer kommt, so werden die innere Wände desselben durch niedergeschlagene zersezte Dämpfe feucht,



und diese Feuchtigkeit nimmt mit der Erkältung des Gefäßes immer zu. Folglich müssen die in dem Gefäß zurückbleibenden Dämpfe, da sie bey den niedrigeren Temperaturen immer weniger Wasser aufgelöset enthalten, auch immer dünner werden. Daß aber bey jeder Temperatur bis zur Eiskälte hin noch unzersetzte Dämpfe zurückbleiben, ersiehet man, wenn es auch nicht schon aus den bereits angeführten Versuchen über die Expansivkraft der Wasserdämpfe erhellte, sehr augenscheinlich, wenn man das Gefäß öffnet, denn in diesem Augenblick werden alle noch übrige Dämpfe durch die plöglich eindringende Luft zerstoßet, und das niedergeschlagene Wasser rinnt in dicken Tropfen an den Wänden des Gefäßes herab. Erhitzt man den im Gefäß befindlichen Wasserdampf über die Siedhize, so findet man, wie schon angeführt, das spezifische Gewicht des Dampfes ebenfalls geringer. Dies rühret aber von einer andern Ursache her und widerspricht der vorhergehenden Erscheinung keineswegs. Sobald alle Feuchtigkeit im Gefäß in Dampf aufgelöset ist, und die Wirkung der Wärme dauert auf den bereits gebildeten Dampf fort, so vermehret sich dessen Expansivkraft mit der Temperatur nach dem bereits vorgetragenen Gesetz. Kann der Dampf unter diesen Umständen entweichen, so geschieht dies in dem Maas wie seine Expansivkraft zunimmt. Hierdurch wird der zurückbleibende Dampf allerdings dünner, aber seine Wassertheilchen entfernen sich zugleich immer mehr von dem Punkt der Zersetzung, oder der Dampf wird heißer, dünner und trockner. In jenem Fall hingegen, wo der bey der Siedhize gebildete Wasserdampf in verschlossenen Gefäßen einer immer kältern Temperatur ausgesetzt wird, bleibt der Dampf stets auf dem Punkt seiner größten Dichte, welchen er nicht überschreiten kann ohne sich zu zersetzen, und weil diese Dichte bey abnehmender Temperatur immer geringer wird, so muß sich der Dampf zersetzen und dünner werden.

Nach:



Nachdem ich die Dichte des siedend-heißen Wasserdampfes durch directe Versuche bestimmt hatte, so war ich sehr begierig die Dichte des Wasserdampfes bey höhern Temperaturen zu erforschen, wenn die Quelle des Dampfes (das siedende Wasser) wie in dem papinianischen Topf oder den Dampfmaschinen im Großen, stets fort dauert. Dies ist wegen der Anwendung des Wasserdampfes als bewegende Kraft bey Maschinen von der größten Wichtigkeit, und nicht minder interessant für die Theorie der Dämpfe überhaupt. Hierdurch kann die schon oben berührte Frage entschieden werden, ob die in verschlossenen Gefäßen mit der Temperatur schnell wachsende Expansivkraft der Wasserdämpfe, blos von der durch die Wärme vermehrten specifischen Elastizität, oder von der immer zunehmenden Dichte des Dampfes, oder von beiden Ursachen zugleich herrühre. Da ich keine der vorangeführten Methoden, die Dichte des Wasserdampfes im papinianischen Topf zu bestimmen, anwenden konnte, so bediente ich mich des indirecten Weges: aus der Geschwindigkeit des durch eine bekannte Expansivkraft zu einer gegebenen Oeffnung herausströmenden Wasserdampfes auf seine Dichte zu schließen. Man nenne  $a$  die gegebene Oeffnung,  $e$  die unveränderliche Expansivkraft des eingeschlossenen Wasserdampfes,  $d$  die Dichte des Dampfes in Vergleichung gegen die Dichte des Quecksilbers oder des Wassers, je nachdem man  $e$  durch die Höhe einer Quecksilber- oder Wasserfäule ausdrückt, so ist  $\frac{e}{d}$  die Höhe einer Dampfäule von der Dichte  $d$ , deren Gewicht der Expansivkraft des Dampfes gleich ist. Hieraus folgt nach hydraulischen Gesetzen die Geschwindigkeit des in den leeren Raum strömenden Dampfes  $c = 2\sqrt{g \frac{e}{d}}$ , wenn  $2\sqrt{g}$  die Beschleunigung der Schwere bedeutet. Dies giebt ferner die Masse des in einer gegebenen Zeit  $t$  durch die Oeffnung  $a$  ausströmenden Dampfes  $m = t a c d$



$= ta \sqrt{g} e d$ . Für eine andere Expansivkraft  $E$  und Dichte des Wasserdampfes  $D$  findet man die in derselben Zeit durch dieselbe Oeffnung strömende Menge  $M = ta \sqrt{g} E D$ . Daher  $m : M = \sqrt{e d} : \sqrt{E D}$ . Wenn der Wasserdampf nicht in einem leeren Raum, sondern in die Atmosphäre strömt, so muß man für die bewegende Kraft des Dampfes nicht die wirkliche Expansivkraft des eingeschlossenen Dampfes, sondern den Unterschied derselben und des Drucks der Atmosphäre setzen. Ferner ist zu bedenken, daß der Dampfstrahl, indem er die Luft in Bewegung setzen muß, Widerstand findet; hierzu gesellt sich die Reibung des Dampfes an der Oeffnung, und dergleichen mehr. Dieser gesammte Widerstand, insbesondere aber der von der Luft herrührende, muß um desto beträchtlicher seyn, je dünner der bewegte Dampf gegen die in Bewegung zu setzende Luftmasse ist. Daher werden die durch Beobachtung gefundenen Werthe von  $m$ ,  $M$  und  $c$ , C immer viel kleiner ausfallen, als sie die Rechnung giebt. Indessen hat die Erfahrung wenigstens bey dem Wasser und andern tropfbaren Flüssigkeiten gelehret, daß, wenn gleich die absoluten Werthe von  $C$  und  $c$  beträchtlich kleiner als die berechneten ausfallen, doch ihr Verhältniß untereinander dasselbe, und den Höhen des Drucks proportional bleibt. Dies auf die bewegten Dämpfe angewendet, so erhellet, daß man in der Proportion  $m : M = \sqrt{e d} : \sqrt{E D}$  die durch Beobachtung gefundenen Werthe für  $m$ ,  $M$  schreiben könne. Weiß man nun ferner  $e$ ,  $E$  aus den beobachteten Temperaturen des ausströmenden Dampfes, und einen der Werthe  $d$ ,  $D$  durch einen directen Versuch, (etwa  $d$  die Dichte des Dampfes bey der Siedhitze) so läßt sich daraus der andere Werth berechnen. Wäre  $d = D$ , so ist  $m : M = \sqrt{e} : \sqrt{E}$ . und für  $e = E$  ist  $m : M = \sqrt{d} : \sqrt{D}$ .

Die Versuche zur Bestimmung der Werthe von  $n$ ,  $M$  habe ich mit dem Fig. 2. abgebildeten Apparat angestellt,



stellt, mit der Veränderung, daß ich das Gefäß d d mit der langen Barometerrohre abschraubte und den Dampf zur Oeffnung e herausströmen ließ. Die cylindrische Höhlung der Rohre b c, so wie die Durchbohrung des Hahns betrug ungefähr  $\frac{1}{2}$  pariser Linie im Durchmesser. Weil diese Oeffnung zu groß war, als daß ich den Dampf zu derselben hätte ausströmen lassen können, ohne daß, auch bey immer fortwirkendem Feuer, die Temperatur des Dampfes im Topf sich erniedrigte, so ließ ich die Oeffnung der Rohre c mit einer dünnen eisernen Platte verslöthen, in deren Mitte sich eine kreisförmige Oeffnung befand, welche 0,003 rhländ. Fuß im Durchmesser hatte. Bey dieser kleinen Oeffnung habe ich es in den nachstehenden Versuchen dahin gebracht, daß durch eine zweckmäßige Behandlung des Feuers die Temperatur im Topf sich während dem Ausströmen der Dämpfe nicht merklich änderte. Kleine bis zu einem Grad gehende Schwankungen des Thermometers waren, besonders bey der ersten Eröffnung des Hahns, nicht ganz zu vermeiden. Ich nahm in diesem Fall den mittlern Stand des Thermometers für die unveränderliche Temperatur an. Wenn ich den Topf sowohl als das darinn enthaltene Wasser durch vorläufiges Kochen hinlänglich von Luft gereinigt hatte, so verschloß ich den Hahnen, und wog den ganzen Apparat auf einer scharfen Wage. Nun erhitzte ich den Topf so lange, bis das darin befindliche Thermometer etwa  $\frac{1}{2}$  Grad über der Temperatur war, bey welcher ich die Dämpfe wollte ausströmen lassen, und öffnete den Hahnen. In diesem Augenblick fiel das Thermometer gewöhnlich sehr schnell um einen Grad, und mußte durch starkes Anblasen des Feuers wieder auf den Normalstand zurückgebracht werden. Nachdem der Dampf zehn Minuten lang ausgeströmt hatte, verschloß ich den Hahnen, und wog den Apparat abermals, sobald er auf die Temperatur zurückgekommen war, bey welcher das



anfängliche Gewicht bestimmt wurde. Die nachstehenden Versuche sind diejenigen, welche ich für die richtigsten zu halten Ursach habe.

#### Erster Versuch.

Der Dampf ströhmte aus bey	82 $\frac{1}{2}$ ° Wärme.
Expansivkraft des Dampfes	31, 27 Zoll.
Barometerhöhe zur Zeit der Beobacht.	28, 25
Bewegende Kraft des Dampfes = e	= 3, 02
Gewicht des Dampfes, welcher in Zeit von 10 Minuten ausströhmte	= 3,906 Loth.

#### Zweyter Versuch.

Der Dampf ströhmte aus bey	90° Wärme.
Expansivkraft des Dampfes	43, 50 Zoll.
Barometerstand	28, 33
Bewegende Kraft	15, 17
Gewicht des ausgeströhmten Dampfes	7,23 Loth.

#### Dritter Versuch.

Der Dampf ströhmte aus bey	96° Wärme.
Expansivkraft des Dampfes	56, 18 Zoll.
Barometerstand	28, 25
Bewegende Kraft des Dampfes	27, 93
Gewicht des Dampfes, welcher in 10 Minuten ausströhmte	12,72 Loth.

#### Vierter Versuch.

Der Dampf ströhmte aus bey	100° Wärme.
Expansivkraft des Dampfes	66, 47 Zoll.
Barometerstand	28, 10
Bewegende Kraft	38, 37
Gewicht des ausgeströhmten Dampfes	13, 81.

Aus diesen Versuchen lassen sich nach den oben angeführten Grundsätzen folgende Resultate ziehen. Man  
vers



vergleiche die in dem ersten Versuch gefundenen Werthe, nach der Reihe mit den Werthen des zweyten, dritten und vierten Versuchs, so erhält man aus dem

ersten und zweyten Versuch

$$m : M = 1 : 1,86$$

$$\sqrt{e} : \sqrt{E} = 1 : 2,24$$

ersten und dritten Versuch

$$m : M = 1 : 3,30$$

$$\sqrt{e} : \sqrt{E} = 1 : 3,04$$

ersten und vierten Versuch

$$m : M = 1 : 3,54$$

$$\sqrt{e} : \sqrt{E} = 1 : 3,56.$$

Da in diesen drey Fällen das Verhältniß  $m : M$  dem Verhältniß  $\sqrt{e} : \sqrt{E}$  nahe kommt, und die Abweichungen auf entgegengesetzte Seiten fallen, so ist nichts wahrscheinlicher, als daß diese Abweichung bloß von Fehlern in den Versuchen herrühren, und das Verhältniß  $m : M = \sqrt{e} : \sqrt{E}$  sey, d. i. daß die Dichte des im papinianischen Topf eingeschlossenen Wasserdampfes unveränderlich bleibe, und die Erhöhung der Temperatur bloß eine Vermehrung der spezifischen Elastizität des schon gebildeten Dampfes bewirke. Dieser Satz giebt zugleich Rechenhaft von einigen merkwürdigen Erscheinungen, welche man bey dem Erhitzen der Flüssigkeiten im papinianischen Topf, oder überhaupt in verschlossenen, besonders luftleeren, Gefäßen bemerkt, und erhält durch sie eine neue Bestätigung. In den ersten Augenblicken, wo man das Feuer unter ein solches luftleeres zum Theil mit Wasser gefülltes Gefäß bringt, entsteht ein mit Aufwallen begleitetes wirkliches Kochen der Flüssigkeit. Sobald dies aber eine Zeitlang gedauert und eben dadurch die Temperatur des ganzen Apparats sich stufenweis er-



höhet hat, höret das Kochen auf, und die Flüssigkeit bleibt ruhig, wenn gleich die Temperatur weit über den Siedepunct steigt. Schafft man den eingeschlossenen über dem Wasser gebildeten Dämpfen einen Ausweg, so fängt das Kochen von neuem an, und dauert nun ununterbrochen fort. Daher bemerkt man die Erscheinungen der ruhigen Erhitzung der Flüssigkeit gar nicht, oder wenigstens viel später, wenn der Apparat, worin die Dämpfe eingeschlossen werden, sehr groß, oder überhaupt so beschaffen ist, daß der vom Feuer entferntere Theil stets kälter bleibt, als der nähere, und eine beständige Destillation der Dämpfe innerhalb der Gefäße statt finden kann. Diesen Fall ausgenommen, wächst die Temperatur des bereits gebildeten Dampfes eben so schnell, als die Temperatur des Wassers, und die mit der höhern Temperatur immer zunehmende Expansivkraft des Dampfes verhindert die neue Bildung desselben aus dem Wasser, da, wie die nachstehenden Versuche über die latente Hitze des Dampfes beweisen, ungleich mehr Wärme erforderlich ist, aus Wasser Dampf zu bilden, als die Temperatur und Expansivkraft des bereits gebildeten Dampfes zu erhöhen. Hieraus erklärt sich ferner die schon bemerkte Erscheinung, daß die Dämpfe im papinianischen Topf mit der zunehmenden Hitze immer trockner werden, weil sie sich immer mehr von dem Punct ihrer größten Dichte entfernen, welche sie bey der obwaltenden Temperatur, ohne sich zu zerlegen, annehmen können. Daher verbrennen die zur Verschließung bey den Schrauben gebrauchten Leder durch die Wirkung der heißen Dämpfe, wie durch die unmittelbare Wirkung des Feuers, und die dampfdichte Verschließung fällt endlich so schwer. Ich hätte sehr gewünscht, irgend eine hygroskopische Substanz der Wirkung der Dämpfe im papinianischen Topf unmittelbar aussetzen zu können, um ihren Gang zur Trockenheit mit der zunehmenden Temperatur genauer messen zu können.

Dis



Bis jetzt ist es mir aber nicht geglückt, einen dazu schicklichen Körper aufzufinden. Setzt man nach diesem Untersuchungen die Dichte des im papinianischen Topfs eingeschlossenen Wasserdampfes bey jeder Temperatur der gefundenen Dichte der siedend-heißen Wasserdämpfe gleich, so läßt sich die Menge  $m$  des in der Zeit  $t$  aus der Oeffnung  $a$  gestohrnten Wasserdampfes nach der Formel  $m = ta^2 \sqrt{g e d}$  berechnen, wenn man für die Buchstaben  $t = 10.60$  Secunden,

$$a = 0,00066 \text{ par. Quadratfuß,}$$

$$g = 15, \text{ par. Fuß,}$$

$$d = \frac{1}{1470} \text{ der Dichte des Wassers (= 1)}$$

und für  $e$  die in den Versuchen 1. 2. 3. 4 angegebenen Werthe in Fuß reduciret, und mit 13,5.70 Pfund (der specifischen Schwere des Quecksilbers in das Gewicht eines Cubikfußes Wassers) multipliciret setzt. So finde ich für

$$m \text{ im ersten Versuch } 1,23 \text{ Pfund} = 39,36 \text{ Loth.}$$

$$\text{Die Beobachtung gab nur} = 3,906 \text{ Loth.}$$

$$m \text{ im zweyten Versuch } 2,765 \text{ Pf.} = 78,48 \text{ Loth.}$$

$$\text{Die Beobachtung gab} = 7,25 \text{ Loth.}$$

$$m \text{ im dritten Versuch } 3,754 \text{ Pf.} = 120,128 \text{ Loth.}$$

$$\text{Die Beobachtung gab} = 12,72 \text{ Loth.}$$

$$m \text{ im vierten Versuch } 4,4 \text{ Pf.} = 140,8 \text{ Loth.}$$

$$\text{Die Beobachtung gab} = 13,81 \text{ Loth.}$$

Dividirt man die durch Beobachtung gefundenen Werthe in die durch Rechnung gefundenen, so ergeben sich die folgenden Quotienten aus dem

$$\text{ersten Versuch} \quad 10,008$$

$$\text{zweyten Versuch} \quad 10,825$$

$$\text{dritten Versuch} \quad 9,444$$

$$\text{vierten Versuch} \quad 10,020$$

$$\text{im Mittel} \quad \underline{\underline{10,096}}$$

Da



Da der mittlere Quotient wenig von dem aus den einzelnen Beobachtungen abweicht, so läßt sich hieraus die für die Ausübung wichtige Folge ziehen: man berechne aus der gegebenen bewegenden Kraft des Wasserdampfes, seiner Dichte und der Größe der Oeffnung, nach hydraulischen Grundsätzen die in einer bestimmten Zeit ausfahrende Menge desselben, und nehme hiervon den zehnten Theil, so hat man ohne großen Fehler die in derselben Zeit wirklich herausfahrende Menge Dampf. Ich bescheide mich zwar gerne, daß, da meine Versuche nur im Kleinen angestellt worden sind, man keine geometrische Schärfe von ihrer Anwendung im Großen erwarten dürfe. Indessen bürgt mir doch ihre gute Uebereinstimmung unter einander dafür, daß keine grobe Fehler dabey begangen worden sind, und kleine Unvollkommenheiten wird man um so eher verzeihlich finden, da es, so viel ich weiß die ersten Versuche sind, durch directe Erfahrungen die Geschwindigkeit, und die bewegende Kraft der Wasserdämpfe bey verschiedenen Temperaturen zu bestimmen.

Nach Bossüt Hydrodynamik 2 B. S. 34 d. deutschen Uebersetzung verhält sich die aus einer kleinen Oeffnung in einer dünnen Platte aus einem Gefäß bey unveränderlicher Wasserhöhe auslaufende Menge von Wasser zu der nach der Theorie berechneten = 5 : 8. Die vorstehenden Versuche geben unter ähnlichen Umständen die wirklich ausgeströmten Mengen von Dampf zu den berechneten = 1 : 10. Woher rühret die große Verschiedenheit in beiden Verhältnissen? Es ist bekannt, daß die Verminderung in der nach der Theorie berechneten Ausflußmenge des Wassers, theils von der durch den Widerstand der Luft verminderten Geschwindigkeit, größtentheils aber von dem durch die Zusammenziehung des Wasserstrahles gleichsam verengten Querschnitt der Oeffnung



nung herrühren. Beide Ursachen wirken auch auf die Verminderung der Menge des ausgeströmten Dampfes, aber in sehr verschiedenem Verhältniß. Hier beträgt die durch den Widerstand der Luft verzögerte Geschwindigkeit ungleich mehr, als die Verminderung durch die Verengung des Strahles. Daß eine Verengung des Dampfstrahles wirklich statt finde, hat mich der Augenschein bey meinen Versuchen gelehret, sie war aber zu gering, und überhaupt der Querschnitt der Oeffnung zu klein, als daß ich das Verhältniß der Zusammenziehung hätte bestimmen können. Die Wirkung des Widerstandes der Luft war desto augenfälliger. Der Dampfstrahl blieb in dem ersten Versuch, wo die bewegende Kraft durch eine Wassersäule von 3,4 Fuß dargestellt werden kann, kaum einen Zoll über der Mündung der Röhre beyammen und undurchsichtig, von hieran verwandelte er sich in einen sichtbaren Nebel, welcher in einer Höhe von einem Fuß, alle Bewegung verlohren hatte, und in der Luft verschwand. In dem vierten Versuch, wo die bewegende Kraft durch eine Wassersäule von 43,2 Fuß dargestellt wird, betrug die Höhe des unsichtbaren Dampfstrahles 6 — 8 Zoll, die Höhe des sichtbaren Nebels 4 — 5 Fuß. Der Widerstand, welchen die Luft dem ausströmenden Dampf entgegensetzt, rühret von zwey ganz verschiedenen Ursachen her, wovon man die eine, welche in der Trägheit der Luft ihren Grund hat, den mechanischen, die andere, welche von der Ziehkraft der Luft gegen das Wasser des zersetzten Dampfes herrühret, den chemischen Widerstand der Luft nennen könnte. Die letzte Art des Widerstandes vermehret den ersten außerordentlich, weil sie die Zersetzung des Dampfes und seine Zertheilung befördert, wodurch die Oberfläche, welche der Dampf der zu bewegenden Luft darbietet, die ohnehin wegen der Düntheit des Dampfes sehr beträchtlich ist, noch vergrößert wird. Aus dem großen Widerstand, welchen die Luft der Bewegung



wegung des Wasserdampfes entgegensetzt, verbunden mit der geringen Masse des Dampfes, erklärt es sich, warum ein aus einem verschlossenen Dampfbehälter mit großer Geschwindigkeit in die Atmosphäre fahrender Dampfstrahl hier seine Bewegung so bald verliert. Hieraus läßt sich die für die Maschinenlehre practische Folge ziehen, daß es nicht vortheilhaft sey, den Stoß eines Dampfstrahles gegen einen festen Körper als bewegende Kraft an einer Maschine (wie das Wasser an einem unterschlächtigen Rad) zu gebrauchen, indem  $\frac{7}{10}$  von der Wirkung der angewendeten Kraft durch die Wirkung der Widerstände verloren gehen und nur  $\frac{1}{10}$  zur Bewegung der Maschine dienet. Desto vortheilhafter ist es, die Expansivkraft des Dampfes, als eine bloß drückende Kraft, wie in den Dampfmaschinen geschieht, zur Erzeugung und Unterhaltung der Bewegung zu gebrauchen; weil man hier durch eine sehr geringe Masse eine ganz außerordentliche Kraft hervorbringen kann. Die nachstehenden Versuche über die latente Hitze des Wasserdampfes, verbunden mit den bereits angeführten über die Expansivkraft desselben, werden zeigen, daß es viel vortheilhafter ist, den Wasserdampf bey hohen als bey niedrigen Temperaturen als bewegende Kraft an den Maschinen zu gebrauchen.

Ehe ich von meinen Versuchen über die latente Hitze des Wasserdampfes rede, muß ich mich bestimmt erklären, was ich unter latenter Hitze des Wasserdampfes verstehe. Aus dem, was ich zu Anfang dieser Abhandlung von der delüccischen Theorie der Dämpfe gesagt habe, erhellet, daß der Wasserdampf aus der Vereinigung des Wassers mit den Theilchen des Feuers oder der Wärme entstehe. Durch die Stoßkraft und schnelle Bewegung der letztern erhalten die trägen und schweren Wassertheilchen, indem ihre Cohäsion überwunden wird, eine ähnliche,

nur



nur minder schnelle, Bewegung, als die freien Feuertheilchen, wodurch eigentlich die Umänderung der tropfbar flüssigen in die elastisch flüssige Form bewirkt wird. Hiervon folgt, daß jene Feuertheilchen, welche mit den Wassertheilchen in Verbindung treten, mit ihrer freien Bewegung auch ihr Bestreben in die benachbarten Körper einzudringen und Temperaturerhöhung zu bewirken, verlieren müssen. Man sagt daher, sie würden für die Anzeige des Thermometers latent. Außer dieser latenten Wärme befinden sich in dem Dampf nach Beschaffenheit seiner Temperatur mehr oder weniger freye Feuertheilchen, welche in den Zwischenräumen des Dampfes circuliren, seine Theilchen von einander entfernen und eben dadurch Erhöhung der Temperatur und Expansivkraft des Dampfes bewirken. Die freien Feuertheilchen dienen selbst zur Erhaltung des Dampfes, denn sobald sie durch die Wirkung eines umgebenden kältern Mittels in zu großer Menge entweichen, überschreiten die Dampftheilchen den Punct ihrer größten Annäherung, die Cohäsion des Wassers wird überwiegend, ein Theil des Dampfes zersetzt sich, und seine latente Wärme wird frey; wie dies bereits in der oben erwähnten Theorie der Wasserdämpfe, als eine Ursache der Zersetzung angegeben worden ist. Hieraus erhellet, daß man, um die latente Hitze des Dampfes zu bestimmen, untersuchen müsse, welche Temperaturerhöhung er an dem Thermometer und den umgebenden Körpern in dem Augenblick seiner Zersetzung hervorbringe. Watt hat nach Deluc (in seinen neuen Ideen über die Meteorologie. 1 Th. S. 174 f.) die latente Hitze des Wasserdampfes bey der Siedhitz zu bestimmen gesucht, indem er die Dämpfe des kochenden Wassers aus einem verschlossenen Dampfkessel durch eine Röhre in ein mit kaltem Wasser angefülltes Gefäß streichen ließ, und die Temperaturerhöhung bemerkte, welche der übergegangene Dampf in einer bestimmten Menge Wasser



Wasser hervorbrachte. Watt fand ein Mittel aus mehreren Versuchen, daß, wenn die latente Hitze des siedenden heißen Wasserdampfes plötzlich frei würde, oder der Dampf sich in Wasser verwandelte, er eine Temperaturerhöhung von  $943^{\circ}$  Fahrenheit  $419\frac{1}{2}^{\circ}$  Reaumur hervorbringen würde. Ich wählte zur Zerlegung des Wasserdampfes, und zur Bestimmung der dadurch frey werdenden Wärme, statt des Wassers, das Eis. Denn erstens werden die Wasserdämpfe durch das Eis viel schneller zerlegt, als durch das Wasser, besonders wenn seine Temperatur schon beträchtlich erhöht ist, und es zerstreuet sich weniger Wärme in die umgebenden Körper. Ueberdies läßt sich die Menge der aus dem zerlegten Dampf freywerdenden Wärme durch die Quantität des geschmolzenen Eises viel genauer, als durch die Temperaturerhöhung des Wassers messen, weil diese Flüssigkeit ungleiche Aenderungen in der Temperatur bey gleichen Zunahmen der Wärme zeigt. Wenigstens habe ich auf die Art, wie ich meine Versuche anstellte, das Verfahren einfacher, und die vielen Correctionen, welche bey der Wattischen Methode nöthig sind, entbehrlich gemacht. Ich bediente mich des Fig. 2. abgebildeten Apparats, indem ich, statt des Quecksilbergefäßes dd mit der Barometerröhre, eine mit doppelten Hälsen versehene Glasugel (Fig. 6.) auf die Röhre c brachte. Die beiden Hälse der Kugel wurden mit Korkstopfen verschlossen, der untere war durchbohret, und diente die Röhre c des papinianischen Topfes aufzunehmen, der obere um die Kugel, mit gröblich zerslossenem Eis, dessen Gewicht genau bestimmt wurde, zu füllen. Ich brachte die Kugel mit dem Eis zuerst in dem Augenblick auf den Topf, da dieser schon hinlänglich erhitzt, und von Luft gereinigt war. Hierauf öffnete ich augenblicklich den Hahnen und ließ den Dampf bey einem bestimmten Grad des Thermometers im Topf, das ich während dem Versuch beobachtete, in die mit Eis

ge-



gefüllte Kugel überströmen, dabey erhielt ich den Apparat durch gelindes Klopfen in steter Bewegung. Sobald alles Eis geschmolzen war, wog ich die Menge des erhaltenen Wassers, und bestimmte dadurch die Menge des übergegangnen Dampfes. Um die von den Kohlen unter dem Topf herkommende freye Wärme von der Kugel abzuhalten, brachte ich um dieselbe einen Trichter von Pappdeckel, den ich mit zerstoßenem Eis füllte. Uebrigens brauchte ich die Vorsicht, meine Versuche, die ohnehin nur kurze Zeit dauerten, in einem kalten Zimmer, dessen Temperatur wenig von der Eiskälte verschieden war, anzustellen. Folgendes sind die Resultate meiner Versuche.

Erster Versuch. 8 Loth Eis erforderten zu ihrer Schmelzung 1,133 Loth Dampf, welcher bey einer Temperatur von  $82^{\circ}$  Reaum. überströmte.

Im zweyten Versuch, wo der Dampf bey  $93^{\circ}$  überströmte, schmolzen 1,125 Loth Dampf 8,156 Loth Eis.

Im dritten Versuch wurden durch 1,343 Loth  $100^{\circ}$  heißen Wasserdampf 9,875 $^{\circ}$  Loth Eis geschmolzen. Ich berechne aus diesen Versuchen die latente Hitze des Wasserdampfes, indem ich nach dem Wilkenschen Versuch die Menge von Eis bestimme, welche der übergegangne Dampf geschmolzen haben würde, wenn er bey gleicher Temperatur die Capacität des Wassers für die Wärme gehabt hätte. So finde ich aus der Proportion  $62^{\circ} : 82^{\circ} = 1,133 : 1,5$ , daß 1,133 Loth  $82^{\circ}$  heißes Wasser 1,5 Loth Eis schmelzen würden. Da nun eben so viel Dampf von gleicher Temperatur nach dem ersten Versuch 8 Loth Eis geschmolzen hat, so ist die Wärme des  $82^{\circ}$  heißen Dampfes  $\frac{8}{1,5} = 5\frac{1}{3}$  mal größer, als die Wärme des Wassers von gleicher Temperatur, oder die gesammte Hitze des Wasserdampfes bey  $82^{\circ}$  beträgt, wenn sie frey wird  $437\frac{1}{3}^{\circ}$ . Ganz auf ähnliche Weise finde ich aus dem zweyten Versuch den

Neues Journ. d. Phys. B. 4. S. 3. F 900



93° heißen Wasserdampf  $4\frac{1}{2}$  mal heißer, als Wasser von gleicher Temperatur, oder die gesammte Hitze des Dampfes  $= 4\frac{1}{2} \cdot 93 = 449\frac{1}{2}^{\circ}$ .

Eben so ergibt sich die gesammte Hitze des Wasserdampfes von 100° Temperatur 4,55 mal heißer als Wasser von 100°  $= 455^{\circ}$ . Man ziehe von jeder in den drey Versuchen gefundenen Hitze des Wasserdampfes die Erhöhung der Temperatur über 80° Grad ab, so erhält man für die gesammte Wärme des siedheißen Dampfes aus dem ersten Versuch  $437\frac{1}{2} - 2 = 435\frac{1}{2}^{\circ}$ , aus dem zweyten Versuch  $449\frac{1}{2} - 13 = 436\frac{1}{2}^{\circ}$ , aus dem dritten Versuch  $455 - 20 = 435^{\circ}$ .

Die kleinen Abweichungen sind blos den unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Versuche zuzuschreiben, und es folgt aus dieser Uebereinstimmung, daß die latente Hitze des im papinianischen Topfs eingeschlossenen Wasserdampfes bey Temperaturen über der Siedhize nicht größer ist, als die latente Hitze des siedheißen Wasserdampfes. Dies ist der Satz, auf welchen ich vornen als eine Bestätigung der Behauptung hingewiesen habe, daß die Vermehrung der Expansivkraft des Wasserdampfes im papinianischen Topf nicht der Verdichtung, sondern blos der durch die Wärme vermehrten specifischen Elastizität des Dampfes zuzuschreiben sey. Denn würde der Dampf bey den höhern Temperaturen merklich dichter, so müßte auch seine latente Hitze zunehmen. Ferner erhellet aus diesen Versuchen, daß die Capacität des Wasserdampfes für die zu seiner Temperaturerhöhung dienende freye Wärme nicht merklich von der Capacität des Wassers verschieden sey. Dürfte man diesen Satz auch auf den unter der Siedhize gebildeten Wasserdampf bis zur Temperatur der Eiskälte ausdehnen, so würde daraus folgen, daß die latente Hitze des eiskalten Wasserdampfes  $= 436^{\circ} - 80^{\circ} = 350^{\circ}$  noch über viermal größer



größer sey, als die Hitze des siedenden Wassers. Ich versuchte es, diesen Satz an den im Vacuum der Luftpumpe gebildeten Wasserdämpfen durch Erfahrung zu prüfen, und setzte in dieser Absicht die obere Oeffnung der mit Eis gefüllten Glasugel mit der Luftpumpe in Verbindung, und evacuirte sie. Hierauf ließ ich die Wasserdämpfe, wie in den vorhergehenden Versuchen, überströmen und verschloß den Hahn des Topfes, sobald alles Eis geschmolzen war. Da bey den Ueberströmen des Dampfes das Barometer der Luftpumpe schnell stieg, so war dies ein Beweis, daß sich ein Theil der Dämpfe in den leeren Raum der Pumpe begab, und ich mußte fort evacuiren, damit sich die Siedhize des Wassers und des überströmenden Dampfes wegen des zunehmenden Druckes nicht vermehrte. Dies machte aber die genaue Bestimmung des zur Schmelzung des Eises nöthigen Dampfes sehr schwierig, und ich zähle daher selbst nicht viel auf die Genauigkeit der Versuche. Im Mittel aus einigen Versuchen fand ich, daß 1 Loth von  $50^{\circ}$  heißem Wasserdampf  $5\frac{1}{2}$  Loth Eis schmolzen. Dies gäbe den Dampf bey  $50^{\circ}$  7,2mal heißer, als Wasser von gleicher Temperatur, also für die gesammte Hitze des Dampfes bey  $50^{\circ} = 360^{\circ}$ , beträchtlich geringer, als aus den vorigen Versuchen, wenn man von der gesammten Wärme des siedheißen Dampfes  $= 436$  den Unterschied der Temperatur  $= 30^{\circ}$  abzieht, aber immer noch über viermal größer, als die Hitze des siedenden Wassers.

Ich kann nicht umhin, eine für die practische Mechanik wichtige Folge dieser Versuche hier zu bemerken. Es ist bekannt, daß, wenn man sich der Expansivkraft des Wasserdampfes, wie bey den Feuermaschinen, als bewegender Kraft bedienet, die Größe dieser Kraft aus der Grundfläche des beweglichen Kolbens, worauf sie wirkt, multipliciret in die Höhe der Quecksilbersäule, welche sie balanciret, geschätzt werde. Man kann daher



die bewegende Kraft des Dampfes bey diesen Maschinen sowohl durch die Vergrößerung der Grundfläche des Kolbens, bey ungeänderter Temperatur, als auch durch die Vermehrung der Expansivkraft des Dampfes, bey ungeänderter Kolbenfläche, erhalten. Es fragt sich, welche Veränderung in Hinsicht der dadurch verursachten Feuerungskosten die vortheilhafteste sey? Diese Frage läßt sich aus den vorstehenden Versuchen mit der größten Bestimmtheit beantworten. Die Grundfläche des Kolbens heiße  $a^2$ , und der Dampf bewirke das Kolbenspiel bey einer Temperatur von  $80^\circ$ , so wird die Größe der bewegenden Kraft durch  $a^2 \cdot 28$  vorgestellt. Soll diese verdoppelt werden, so hat man  $2 a^2 \cdot 28$ , welches man durch die Verdoppelung der Grundfläche  $= 2 a^2$  oder durch Verdoppelung der Expansivkraft des Dampfes  $= 2 \cdot 28$  erhalten kann. Sowohl bey der einen, als bey der andern Veränderung setze ich die Höhe des Kolbenspieles unveränderlich. Unter dieser Voraussetzung wird die zu einem Kolbenspiel nöthige Menge Dampf bey der Verdoppelung der Grundfläche auch doppelt so groß, und die Feuerungskosten wachsen in demselben Verhältniß; den Verlust der Wärme an die umgebenden Körper nicht gerechnet. Wollte man die Expansivkraft des Dampfes bey unveränderter Kolbenfläche verdoppeln, so darf man nur die Temperatur des Wasserdampfes bis zu  $96^\circ$ , das ist, um 16 erhöhen. Die hierzu nöthigen Feuerungskosten verhalten sich zur Vermehrung der vorhin gekundnen, wie die Erhebung der Temperatur zur gesammten Hitze des siedheißen Dampfes  $= 16 : 436 = 1 : 27\frac{1}{4}$ . Ein sehr beträchtlicher Unterschied, welcher bey höhern Temperaturen des Dampfes immer größer wird. Bey einer dreyfach vermehrten Kraft würde das Verhältniß wie  $26 : 2 \cdot 436 = 1 : 33\frac{1}{3}$  seyn. Hieraus folgt der allgemeine Grundsatz, daß es in Rücksicht der Feuerungskosten vortheilhafter ist, die Dämpfe in den Dampf:



Dampfmaschinen bey höhern als bey niedrigen Temperaturen wirken zu lassen. Doch setzt die immer schwerer werdende Verschliessung der heisern Dämpfe und die erforderliche grössere Stärke der Theile der Maschinen der Anwendung dieses Grundsatzes bestimmte Gränzen. Auch ist zu bemerken, daß der Verlust der Wärme an die umgebenden kältern Körper mit der erhöhten Temperatur des Dampfes wächst. Dem ungeachtet bin ich fest überzeugt, daß diese Lehren dereinst zu sehr wichtigen Verbesserungen der Dampfmaschinen im Großen führen werden, so wie man gegenwärtig schon die Wirkung dieser Maschinen blos dadurch sehr vermehret hat, daß man die Zersetzung des Dampfes in den Cylinder, und die dadurch bewirkte Erkältung, welche bey dem wiederholten Aufgehen des Kolbens eine Menge schon gebildeten Dampfes verzehrte, entfernt hat.

Ich komme nun auf den mir anfänglich vorgesezten Endzweck, die Prüfung der Delucischen Theorie der Wasserdämpfe, zurück. Es ist aber wohl unnöthig, die vollkommene Uebereinstimmung meiner Versuche mit dieser Theorie, da sie von selbst erhellet, noch besonders bemerklich zu machen. Nur der von de Luc aufgestellte Satz, daß sich die Wasserdämpfe blos mechanisch mit der Luft vermischen, und in dieser Mischung nichts von ihren auszeichnenden Eigenschaften verlieren, verdient um so mehr eine nähere Prüfung, da er auf die sehr besrirtene Frage führet: löset die Luft das Wasser unmittelbar oder als Dampf chemisch auf, und was entsteht aus dieser Auflöschung? In dieser Hinsicht war mir besonders die Untersuchung der Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes wichtig. Ich verspare die Erzählung meiner hierüber angestellten Versuche für eine besondere Abhandlung.

G. G. Schmidt.



## U e b e r

die Ausdehnung der trockenen und feuchten Luft durch die Wärme, und die Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes bey verschiedenen Temperaturen.

Es ist wohl kein Zweig der Naturlehre, worüber die Meinungen der Naturforscher mehr getheilet sind, als die Frage, woher rühret die Feuchtigkeit der Luft und in welchem Zustande befindet sich das Wasser in der Luft? Ich habe bereits in meiner vorhergehenden Abhandlung über die Expansivkraft des reinen Wasserdampfs die De Luc'sche Meinung erwähnt, welche die Phänomene der Feuchtigkeit unabhängig von der Luft aus den mit der Atmosphäre mechanisch vermischten Wasserdämpfen erklärt. De Luc gründet diese Behauptung insbesondere auf zwey Thatsachen, die man wenigstens nicht geradezu verwerfen darf. Die eine ist die Uebereinstimmung des Ganges des Hygrometers bey gleichen Temperaturen in verschlossenen Gefäßen, sie mögen voll Luft oder luftleer seyn; die andere, die gleiche Expansivkraft des Wasserdampfes im Vacuo und in der Luft bey einerley Temperatur. Ueber die erste Classe von Thatsachen hat de Luc selbst in Verbindung mit Smeaton eine Reihe sehr schätzbarer Erfahrungen angestellt. (Philos. Transf. 1792. Grens Journal der Physik.) Die andere Behauptung stützt de Luc auf die Vergleichung des Saussur'schen Versuchs über die Vermehrung der Elasticität der ein- geschlos-



schlossenen Luft durch die Wasserdämpfe, verbunden mit einigen von Lavoisier und de la Place angestellten Erfahrungen. Diese Naturforscher ließen einige Tropfen Wasser durch das Quecksilber in den leeren Raum des Barometers steigen, und fanden, indem das Wasser darin verdunstete, daß die Quecksilbersäule bey einer Temperatur von 12 — 15 Grad um 6 Linien heruntersank, welches ziemlich mit der Saussürischen Erfahrung übereinstimmt. Indessen bemerkte de Luc selbst, daß diese Versuche noch unvollkommen seyen, und ich habe bereits in meiner Abhandlung über die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes einige Zweifel gegen den Saussürischen Versuch vorgetragen. Hier werde ich die Versuche, welche ich über die Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes angestellt habe, umständlich erzählen. Ich bediente mich dazu des in der oben erwähnten Abhandlung schon beschriebenen Dampfelasticitätsmessers von Gayruci, weil man es bey diesem Werkzeug in seiner Gewalt hat, die in den untern Gefäßen enthaltene Luft ganz oder zum Theil durch die Expansivkraft der Wasserdämpfe zu vertreiben, je nachdem man das Kochen des Wassers in der Phiole eine längere oder kürzere Zeit dauern läßt. Im Ganzen genommen verfuhr ich bey der Anstellung meiner Versuche folgendermaßen. Nachdem ich die Gefäße des Dampfelasticitätsmessers bis auf einen gewissen Grad von Luft evacuiert und wieder verschlossen hatte, brachte ich sie in ein bis zum Kochen erhitztes Wasserbad, und beobachtete den Stand des Barometers und Thermometers, indem ich das Wasserbad durch Mischungen nach und nach bis zur 0° Temperatur herab erkältete. Die Beobachtungen gaben unmittelbar die Expansivkraft der in den Gefäßen des Elasticitätsmessers eingeschlossenen Luft, und des Wasserdampfes bey verschiedenen Temperaturen. Hiervon die Elasticität der trocknen Luft bey gleichen Temperaturen abgezogen, blieb die Expansivkraft



des mit der Luft vermischten Wasserdampfes übrig. Ich mußte daher die Vermehrung der specifischen Elastizität der Luft durch die Wärme in verschlossenen Gefäßen genau kennen. Dies führte mich auf die vorläufige Untersuchung von der Ausdehnung der Luft durch die Wärme, da nirgends die Resultate der Beobachtungen verschiedener Naturforscher mehr von einander abweichen, als in diesem Punkt. Ich setze zur Vergleichung die ältere Beobachtungen aus Gehler's physikalischen Wörterbuch hierher.

### Raum der Luft

	Beym Eispunkt.	Beym Siedpunkt.
nach Amontons	= 1,000	— 1,400
Lambert	= 1,000	— 1,375
De Luc	= 1,000	— 1,403
Schuckburg	= 1,000	— 1,4374
Roy	= 1,000	— 1,48421
Kramp	= 1,000	— 1,381
de Saussüre	= 1,000	— 1,339
Vandermonde, Bertholet und Monge	= 1,000	— 1,4328
Priestley	= 1,000	— 1,9375

Die große Verschiedenheit in den Angaben der Naturforscher bewog Herrn de Morveau (Guiton) durch Düvernois (Prieur) neue Versuche über diesen Gegenstand anzustellen. Düvernois bediente sich zu seinen Versuchen (man sehe Annales de chimie T. I, Grens Journal der Physik I. B.) einer gläsernen Phiolen mit gekrümmtem Hals, die er in einem Wasserbade von der Eiskälte bis zur Siedhize erwärmte. Die Oeffnung des Schnabels der Phiolen trat in einen mit Quecksilber gefüllten Recipienten, welcher die durch die Wirkung der Wärme aus der Phiolen getriebene Luft aufnahm. Der Raum der übergegangenen Luft wurde bey

der



der Eiskälte gemessen, und gab, verglichen mit dem Raum der Phiole, die Ausdehnungen der Luft durch die Wärme, deren Grad durch ein in dem Wasserbad stehendes Thermometer bestimmt wurde. Düvernois schränkte seine Beobachtungen auf Zwischenräume von 20 zu 20 Graden des reaum. Thermometers ein, und fand die Vermehrung des Raums der atmosphärischen Luft

von 0°	—	20°	==	0,0789
0°	—	40°	==	0,2570
0°	—	60°	==	0,6574
0°	—	80°	==	0,9368.

Das Barometer stand zur Zeit der Beobachtung 26 Zoll, 9, 5 Linien, das Thermometer in der Luft  $-4^{\circ}$ , das Hygrometer von Saussüre  $83\frac{1}{2}^{\circ}$ . Düvernois Beobachtungen sind um desto merkwürdiger, nicht bloß weil sie von den ältern Angaben über die Ausdehnungen der Luft durch die Wärme, die einzige Priestleyische ausgenommen, sehr abweichen, sondern weil sie eine ungleichförmige, mit der Temperatur wachsende Ausdehnung der Luft durch die Wärme zeigen, da man bisher fast allgemein nach den Behauptungen von Amontons und Lambert die Ausdehnung der Luft den Unterschieden der Wärme proportional setzte. Düvernois hat auf eine ähnliche Weise die Ausdehnungen der Lebensluft, des Stickgases, des Wasserstoffgases, der Salpeterluft, der Luftsäure, und des Ammoniakgases untersucht. Prony hat in dem zweyten Theil seiner nouvelle Architecture hydraulique seine Näherungsmethode auf die von Düvernois angestellten Beobachtungen angewendet, und vermittelst derselben eine Tafel berechnet, welche die Ausdehnungen der sieben oben erwähnten Luftarten durch die Wärme von Grad zu Grad, von 0 bis hundertsten Grad des reaumürischen Thermometers enthält. Diese Tafel gewähret unsireitig eine sehr große Bequemlichkeit, und es ist, besonders da sie das Ansehen eines solchen Mannes



für sich hat, nichts wahrscheinlicher, als daß man sich ihrer sehr häufig in physischen und mathematischen Schriften zur Bestimmung der Ausdehnungen der Gasarten durch die Wärme bedienen werde. Aber eben aus diesem Grunde schien es mir um so nöthiger, die Thatfachen, worauf sich die *Prony* schen Rechnungen gründen, mit aller Strenge zu prüfen, damit nicht aus einer vielleicht auf falsche Voraussetzungen gegründeten Rechnung eine Quelle von Irrthümern entspre, die sich leicht über ganze Zweige der Naturlehre verbreiten könnte.

Gegenwärtig schränke ich mich blos auf die Bestimmung der Ausdehnung der atmosphärischen Luft durch die Wärme ein. Ich hoffe aber, nach und nach den Naturforschern ähnliche Untersuchungen über die verschiedenen Gasarten vorlegen zu können. Vorläufig muß ich auf einen Umstand aufmerksam machen, welcher bey der Bestimmung der Ausdehnungen der Luft durch die Wärme von der größten Wichtigkeit ist. Dies ist die Frage, was für einen Einfluß hat die zu verschiedenen Zeiten der atmosphärischen Luft mehr und weniger beigemischte Feuchtigkeit auf die Ausdehnungen der Luft durch die Wärme, und darf man eine solche feuchte Luft bey den Versuchen, die zur Bestimmung des Gesetzes der Ausdehnbarkeit der Luft durch die Wärme dienen sollen, zum Grunde legen? Aus den über die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes bey verschiedenen Temperaturen angestellten Beobachtungen, wird es schon höchst wahrscheinlich, daß auch der mit der Luft vermischte Wasserdampf, bey zunehmender Temperatur die Elastizität einer in Gefäßen eingeschlossenen Luft, und folglich die Ausdehnung durch die Wärme bey offenen Gefäßen, oder im Freyen, beträchtlich vermehren werde. So lange man daher den Einfluß der Wasserdämpfe auf die Ausdehnungen der Luft durch die Wärme nicht kennet, so lehren alle Versuche, welche  
man



man hierüber mit einer feuchten Luft angestellt hat, so viel als gar nichts, und es erhellet, daß man sich zur Bestimmung des Gesetzes der Ausdehnung der Luft durch die Wärme einer völlig trocknen Luft bedienen müsse. Die nachstehenden Versuche setzen diese Behauptung außer allem Zweifel. Ich bediente mich dazu einer hohlen messingenen Kugel c (Fig. 1. T. II.) von zwey pariser Zoll Durchmesser im Lichten. In den Hals der Kugel b ist ein Schraubengewinde eingeschnitten, in das sich der mit einem flachen Ansatz versehene Stöpsel a schraubt. Zwischen den Ansatz des Stöpsels und die obere Fläche des Halses der Kugel wurde zur bessern Verschließung ein feuchtes Leder gebracht. Die Ausdehnung der Luft durch die Wärme zu bestimmen, setzte ich die geöffnete Kugel in eine kleine Sandkapelle über die Argandische Lampe, und ein bis zur Siedhize des Quecksilbers gehendes Thermometer in die Kugel. Ich moderirte die Flamme der Lampe, so daß das Quecksilber im Thermometer nur langsam in die Höhe stieg, und sobald es den Grad erreicht hatte, bis zu welchem ich die Kugel erhitzen wollte, brachte ich das Thermometer aus der Kugel, verschloß sie luftdicht, und steckte sie eilends mit umgewendetem Hals in Wasser, das durch vorgängiges Kochen von seiner Luft befreyet worden war. Erst wann die Kugel unter dem Wasser erkaltet war, öffnete ich die Schraube, und ließ durch den Druck der Atmosphäre das Wasser in die Kugel treten, indem ich den ganzen Apparat nach und nach bis zur Eiskälte durch zugemischten Schnee brachte. Der Unterschied zwischen dem Gewicht des durch den Weggang der Luft in die Kugel getretenen Wassers und dem Gewicht von Wasser, das den ganzen Raum der Kugel bey der Temperatur der Eiskälte erfüllet, im Verhältniß gegen das ganze zuletzt genannte Gewicht, gab das Verhältniß des Raums der Luft bey der Eiskälte zum Raum der Luft bey dem beobachteten Thermometergrad. Ich stellte auf diese Weise zwey

Reis



Reihen von Versuchen, mit trockener und mit feuchter Luft an. Die trockene Luft erhielt ich, indem ich die Kugel vor dem Versuch mit Potasche auf einem heißen Ofen austrocknete; die feuchte Luft, indem ich die Kugel voll Wasser füllte, das Wasser ausgoß und die Kugel eine Zeitlang verschlossen stehen ließ, damit die an den Wänden zurückgebliebene Feuchtigkeit Zeit hatte, sich mit der in der Kugel befindlichen Luft zu vermischen.

Nachstehendes enthält die Resultate dieser Versuche, das Volumen der Luft bey der Eiskälte = 1 gesetzt

Wärmegrad.	Raum der trocknen Luft.	Raum der feuchten Luft.
0°	1,000	1,000
40°	—	1,42
80°	1,523	2,3
120°	1,711	2,00
160°	1,93	1,90
200°	2,024	2,075.

Die Werthe dieser Tafel bieten, so irregulär sie anfänglich scheinen, merkwürdige Phänomene dar. Erstens erhellet, daß die Unterschiede der Ausdehnungen der trocknen Luft in den höhern Temperaturen gegen die Unterschiede der Wärme keineswegs wachsend, sondern vielmehr abnehmend sind, da doch, wenn nach den Versuchen von Dürvernois zu schließen, eine mit der Temperatur wachsende Ausdehnbarkeit der Luft durch die Wärme statt fände, diese bey den höhern Wärmegraden erst recht sichtbar hätte werden müssen. Ferner erhellet aus der Vergleichung der Räume der feuchten und trocknen Luft bey gleichen Temperaturen, daß die erstern bis zu 120° beträchtlich größer als die letztern, hingegen beide bis auf kleine Abweichungen, in den höhern Temperaturen von 160 und 200 Grad gleich sind. Es ist nichts natürlicher, als die Ueberschüsse der Ausdehnungen  
der



der feuchten Luft über die trockene der Wirkung der Wasserdämpfe zuzuschreiben. Warum wurden aber die Räume der feuchten und trocknen Luft bey 160 und 200 Grad des Thermometers wieder einander gleich, und warum fand überhaupt bey 80 Grad die größte Ausdehnung der feuchten Luft durch die Wärme statt? Diese beiden Fragen lassen sich schlechterdings nicht befriedigend beantworten, wenn man nicht die Art, wie die Feuchtigkeit in der Luft enthalten ist, näher bestimmt. Ich will annehmen das Wasser sey in der Luft wie in einem Menstruo chemisch aufgelöset, und die Auflösung besitze eine größere Ausdehnbarkeit durch die Wärme, als das Auflösungs mittel, so erkläret sich daraus keinesweges, warum die Ausdehnbarkeit der Auflösung über 80° wieder abnimmt, und warum der Raum der feuchten und trocknen Luft bey sehr hohen Temperaturen wieder einander gleich werden. Beide Erscheinungen erläutern sich hingegen vollkommen, wenn man annimmt die, Feuchtigkeit sey bloß vermöge einer starken physischen Adhäsion mit der Luft vereinigt, und verliere in dieser Verbindung nicht ihre Eigenschaft, durch die Wärme in Dampf aufgelöset zu werden, welcher als ein besonderes Fluidum eigenen Gesetzen folgt, und bloß mechanisch mit der Luft vermischt ist. Denn, unter dieser Voraussetzung, erhellet aus den Gesetzen über die Expansivkraft des Wasserdampfes, daß derselbe die Elastizität der Luft, und folglich auch ihre Ausdehnung bey zunehmender Wärme bis zur Siedhitze beträchtlich vermehren mußte. Sobald aber die Temperatur des Gefäßes diesen Grad der Wärme zu überschreiten anfing, so trat der Wasserdampf, dessen Expansivkraft nun nicht bloß den Druck der Atmosphäre, sondern auch die Elastizität der erwärmten Luft immer mehr übertraf, vorzugsweise aus der Kugel, und die in derselben zurückbleibende Luft gieng immer mehr zur Trockenheit, bis sie bey 160° und 200° eben so trocken, als die

durch



durch Laugensalz bey einer mäßigen Wärme getrocknete Luft war. Folglich mußten auch die Ausdehnungen der feuchten Luft über 80 Grad sich den Ausdehnungen der trockenen Luft immer mehr nähern. Diese Versuche bewiesen mir die Nothwendigkeit, beide Erscheinungen, die Ausdehnung des Wasserdampfes und die Ausdehnung der Luft, von einander zu trennen, das ist eine völlig trockene Luft den Wirkungen der Wärme zu unterwerfen. Hierzu schien mir der beschriebene Apparat nicht der schicklichste zu seyn, weil die  $\frac{1}{2}$  Zoll weite Oeffnung der Kugel mich besorgen ließ, es möchte sich während dem Versuch, und besonders indem das Thermometer aus der Kugel genommen wird, bis zur gänzlichen Verschließung derselben, etwas atmosphärische Luft mit der in der Kugel enthaltenen mischen. Ich wählte daher anfänglich einen Apparat Fig. 2, welcher dem von D u r e n o i s gebrauchten völlig ähnlich war. Er bestand in einer kleinen gläsernen Phiole a mit einem gekrümmten engen Hals b; über die Oeffnung der Röhre wurde ein nach Cubikzollen graduirter Glaszylinder dd gestürzt, dessen untere Mündung sich in einer Schale voll Quecksilber ee befand. Das Gefäß a wurde bey der Eiskälte mit trockener Luft gefüllt, und hierauf in einem Wasserbad bis zur Siedehitze des Wassers erwärmt.

Die Phiole enthielt 6 pariser Cubikzolle Luft; davon giengen über

bey 20°	—	0,5	Cubikzoll
bey 40°	—	1,07	
bey 80°	—	2,00.	

Ich brauche nicht zu erinnern, daß die in dd bey der Temperatur der Eiskälte gemessenen Lufräume auf den Druck der Atmosphäre reduciret werden mußten, weil die Luft in dem Cylindere dd sich in einem ausgedehnten

Zu



Zustande, vermöge der darunter stehenden Quecksilbersäule, befand.

Dies giebt die Ausdehnung der Luft, den Raum bey der Eiskälte = 1 gesetzt, für 20 Grad — 0,0833

40 Grad — 0,1800

80 Grad — 0,3333.

Diese Werthe sind von Düvernois gefundenen außerordentlich verschieden, und geben die Ausdehnungen der trockenen Luft den Unterschieden der Wärme ohne merklichen Fehler proportional. Die angewendete Methode giebt zwar die Ausdehnungen der Luft etwas zu klein, weil die Temperatur in dem Gefäß a immer etwas geringer als des umgebenden Wasserbades bleibt, (dieser Unterschied wird desto beträchtlicher, je größer der Raum des Gefäßes a, und je dicker seine Seitenwand ist), und weil wegen dem Druck und der Cohäsion des Quecksilbers in dem Gefäß e e die Elastizität der in a eingeschlossnen Luft immer etwas größer als der Druck der Atmosphäre seyn muß, bevor Luft in dem Cylinder d d übergeht. Der letzte Umstand setzt der Genauigkeit der Versuche die meisten Schwierigkeiten entgegen, denn er verursacht ein stoßweises Uebergehn der Luft in den Cylinder d d. Da indessen die beiden genannten Ursachen denselben, und einen noch größern Einfluß (wegen des größern Ballons) auf die Düvernoischen Versuche haben mußten, so ist der Unterschied zwischen unsern Resultaten bloß der Feuchtigkeit der von Düvernois angewendeten Luft zuzuschreiben. Die Art, wie ich die Luft in dem Ballon austrocknete, war folgende. Ich kittete die Oeffnung der Röhre b an eine bis zur Hälfte mit frisch geglüheter Potasche gefüllte Flasche an, und ließ den Apparat einige Tage in dieser Verbindung, indem ich von Zeit zu Zeit abwechselnd, bald das Gefäß a, bald die Flasche erwärmte, um den Luftzug in dem innern Raum der Gefäße zu befördern.

Unt



Um die angezeigten Fehler der Düvernoi'schen Methode zu vermeiden, und die Ausdehnungen der trocknen Luft durch die Wärme so viel möglich scharf zu erhalten, bediente ich mich des erwähnten Dampfbarometers von Ciarcy auf die folgende Weise. Ich nahm die mit Wasser gefüllte Phiole ganz weg, und brachte dafür in das Gefäß a Fig. 3. frisch geglühete Potasche zu wiederholtenmalen. Nachdem die Luft mehrere Tage hindurch auf diese Art in den Gefäßen a und b ausgetrocknet war, erwärmte ich die in den Gefäßen a und b eingeschlossenen Luft, bis das Quecksilber in dem langen Schenkel des Barometers beynahе wider dem Gewölbe des Glases stand. In diesem Augenblick öffnete ich das Gefäß a, und verschloß es alsbald wieder, nachdem ein Theil der in den Gefäßen a und b enthaltenen Luft in die Atmosphäre entwichen war. Hierauf brachte ich den Apparat in ein erhitztes Wasserbad, und beobachtete die Wärme und specifische Elastizität der eingeschlossenen Luft, indem ich das Wasserbad nach und nach bis auf die Temperatur von 0° Reaum. erkältete. Die zunächst folgenden drey Tafeln enthalten die Resultate dieser Versuche. Die Räume der Luft bey den verschiedenen Temperaturen sind aus den specifischen Elastizitäten berechnet worden, indem ich mit der specifischen Elastizität der Luft bey der Eiskälte in die specifische Elastizität bey den höhern Temperaturen dividirte.

Erster



### Erster Versuch

über die Ausdehnung der trocknen Luft mittelst  
des Elastizitätsmessers.

Temperatur nach Reaum.	Elastizität der eingeschloss- nen Luft.	Raum der Luft, den Raum bey der Eiskälte. = 1	Unterschiede.
0°	— 24,58 Zoll	— 1,0000	
15°	— 26,07	— 1,0606	
20°	— 26,62	— 1,0830	— 224
25°	— 27,20	— 1,1060	— 230
30°	— 27,79	— 1,1270	— 210
35°	— 28,37	— 1,1540	
40°	— 28,95	— 1,1780	— 270
45°	— 29,45	— 1,1980	— 200

### Zweiter Versuch

über die Ausdehnung der trocknen Luft mittelst  
des Elastizitätsmessers.

Temperatur nach Reaum.	Elastizität der eingeschloss- nen Luft.	Raum der Luft, den Raum bey der Eiskälte. = 1.	Unterschiede.
0°	— 22,35 Zoll	— 1,0000	
40°	— 27,26	— 1,2197	— 389
45°	— 28,13	— 1,2586	— 408
50°	— 29,04	— 1,2994	— 357
55°	— 29,84	— 1,3351	— 412
60°	— 30,76	— 1,3763	— 313
65°	— 31,46	— 1,4076	— 184
70°	— 31,87	— 1,4260	

Anmerk. Bey der Temperatur der Eiskälte zeigte  
sich nach dem Versuch etwas Feuchtigkeitsbeschlag in dem  
Halse des Gefäßes b.



### Dritter Versuch.

über die Ausdehnung der trockenen Luft mittelst  
des Elastizitätsmessers.

Temperatur	Elastizität der eingeschloss- nen Luft.	Raum der Luft, den Raum bey 0 = 1.	Unterschiede.
0°	— 22,70	— 1,0000	
5°	— 23,20	— 1,0220	— 220
10°	— 23,70	— 1,0440	— 220
13°	— 24,13	— 1,0630	— 190
20°	— 24,68	— 1,0870	— 240
25°	— 25,13	— 1,1070	— 200
30°	— 25,67	— 1,1309	— 239
35°	— 26,20	— 1,1546	— 237
40°	— 26,77	— 1,1793	— 247
45°	— 27,33	— 1,2040	— 247
50°	— 27,92	— 1,2300	— 260
55°	— 28,50	— 1,2555	— 255
60°	— 29,04	— 1,2793	— 238
65°	— 29,76	— 1,3071	— 278
70°	— 30,50	— 1,3436	— 365
75°	— 31,19	— 1,3740	— 304

Wenn man die Werthe der vierten Columnen untereinander vergleicht, so findet man die Unterschiede der Ausdehnungen der Luft im ersten und zweyten Versuch bald abnehmend bald wachsend, jedoch die Unterschiede sowohl wie die Ausdehnungen selbst in dem zweyten Versuch verhältnismäßig größer, als in dem ersten. Weil ich aber nach Beendigung des zweyten Versuches etwas Feuchtigkeit in dem Quecksilbergesäß des Elastizitätsmessers bemerkte, so hielt ich diesen Versuch, welcher dem ersten als Ergänzung dienen sollte, nicht für überzeugend. Man könnte sich billig wundern, woher die Feuchtigkeit in die Gefäße gekommen sey, da sie doch vor dem Versuch durch

ge



geglühtes Laugensalz ausgetrocknet waren. Die Ursache lag in einem geringen Antheil von Feuchtigkeit, welcher noch innerhalb der Masse des in dem Gefäß befindlichen Quecksilbers zurückgeblieben war, und welcher sich während dem Versuche durch die Wirkung der Wärme in Dampfgestalt herausbegeben hatte. Denn es ist zu bemerken, daß ich die beiden ersten nicht unmittelbar nach einander anstellte, sondern ich hatte vor dem zweyten Versuch mehrere Beobachtungen über die Ausdehnungen der feuchten Luft, wobey ich absichtlich Wasser in die Gefäße des Elastizitätsmessers brachte, gemacht. Die Zweifel über den Einfluß der Feuchtigkeit bey den gefundenen Ausdehnungen der Luft im zweyten Versuch bewogen mich vor Anstellung des dritten Versuchs, die Gefäße des Elastizitätsmessers nochmals mit allerVorsicht auszutrocknen.

Die Ausdehnungen der Luft und ihre Unterschiede fanden sich, wie man aus dem Anblick der beiden hintersten Columnen des dritten Versuchs ersieht, zwar immer noch etwas zunehmend gegen die Siedhize, aber doch ungleich geringer als in dem zweyten Versuch. Dagegen stimmen die Ausdehnungen der Luft bis  $45^{\circ}$  im ersten und dritten Versuch bis auf Kleinigkeiten, die ich blos Fehlern der Beobachtung zuschreibe, mit einander überein. Um ferner zu prüfen, ob die in dem dritten Versuch beobachteten Zunahmen in den Unterschieden der Ausdehnungen der Luft auch bey einer ganz trockenen Luft statt finden, bemühte ich mich die Ausdehnung der trockenen Luft bey einem hohen Grad der Wärme zu bestimmen. Ich bediente mich dazu gläserner an Thermometerrohren geblasener Kugeln von  $\frac{3}{4}$  bis 1 Zoll im Durchmesser, deren Raum ich durch Abwägen mit Quecksilber auf meiner sehr empfindlichen Wage genau bestimmte. Die in der Kugel enthaltene Luft trocknete ich auf die schon beschriebene Weise dadurch aus, daß ich die Oeffnung der Thermometer-



terröhre an eine mit geglähtem Laugensalz zum Theil gefüllte Flasche ankittete, und mehrere Tage hindurch bald die Kugel bald die Flasche erwärmte. Die so ausgetrocknete Kugel brachte ich hierauf nebst einem bis zur Siedhitz des Quecksilbers reichenden Thermometer in eine kleine Sandkapelle über die Argandische Lampe. Die Oeffnung der an der Kugel befindlichen Röhre verschloß ich, sobald das Thermometer den Grad der Wärme zeigte, bey welchem ich die Ausdehnung der Luft bestimmen wollte, mit etwas Wachs, und brachte sie schnell in ein Gefäß voll Quecksilber, das ich vorher durch Kochen von seiner Luft gereinigt hatte. Indem die Atmosphäre das Quecksilber in die Kugel c Fig. 4. trieb, brachte ich den ganzen Apparat auf die Temperatur der Eiskälte und maas die lothrechte Höhe a b der Oberfläche des Quecksilbers in der Kugel über der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß. Aus dem Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers, verglichen mit dem Gewicht des den ganzen Raum der Kugel füllenden, ergab sich der Raum der in der Kugel zurückgebliebenen Luft, und aus der Höhe a b verglichen mit der Höhe des Barometers der Raum c, welchen die zurückgebliebene Luft eingenommen haben würde, wenn sie den ganzen Druck der Atmosphäre ausgehalten hätte. Das Verhältniß des so gefundenen Raums, verglichen mit dem ganzen Raum der Kugel, gab endlich das Verhältniß der Ausdehnung der Luft. Im Vorbeygehen erinnere ich, daß ich unter dem Raum der Kugel den Raum c bis an eine bezeichnete Stelle d der Röhre verstehe, so weit das Gefäß in der Sandkapelle erwärmt wurde. Der übrige Raum der Röhre kommt gar nicht in Betrachtung, weil die Luft darin nicht merklich erwärmt wurde. Ueberhaupt aber betrug der nicht erwärmte Raum gegen den ganzen sehr wenig, weil die Röhre nur einige Zoll lang und eng war. Auf diese Weise fand ich den Raum der Luft

bey



bey 80° — 1,3577

160° — 1,7000

bey einer Hitze, wo die Glasugel anfang weich zu werden 2, 20,

Diese Versuche geben schlechterdings keine mit den höhern Graden der Wärme progressiv wachsende Ausdehnung der Luft, sondern stimmen vielmehr, unter der Voraussetzung, daß die Ausdehnungen der trockenen Luft der Wärme proportional seyen, mit den im ersten und dritten Versuch vermittelst des Elastizitätsmessers gefundenen Ausdehnungen der Luft überein. Man hat nämlich aus dem ersten Versuch den Raum der Luft

bey 40° = 1,1780

dieß giebt für 80° = 1,3560

160° = 1,7120

aus dem dritten Versuch den Raum der Luft

bey 40° = 1,1793

80° = 1,3586

160° = 1,7172

Aus der Uebereinstimmung meiner bey so verschiedenen Temperaturen angestellten Versuche wird, wie ich glaube, der schon von Amontons und nachher von Deluc und Lambert behauptete Satz: daß die Zunahmen der spezifischen Elastizität der völlig trockenen Luft in verschlossenen Gefäßen, so wie die Ausdehnungen der Luft bey offenen Gefäßen, den Unterschieden der Wärme proportional seyen, vollkommen gerechtfertiget. Die Abweichungen von diesem Gesetz, welche neuere Naturforscher gefunden haben, so wie überhaupt die große Verschiedenheiten, welche in den Angaben der Ausdehnungen der Luft durch die Wärme herrschen, rühren bloß davon her, daß man keine gehörige Rücksicht auf den Einfluß der Feuchtigkeit bey der angewendeten Luft genommen hat. Dieß wird durch die nachstehenden Versu-



che noch weiter bestätigt. Nimmt man für den Raum der Luft bey 80° aus den drey Zahlen

1,3577

1,3560

1,3586

Das Mittel 1,3574, so erhält man für die Ausdehnung der trockenen Luft durch einen Grad Wärme 0,0044675. Hiernach ist die folgende Tafel berechnet worden.

## A

Wärme		Raum der trockenen Luft.
0°	— —	1,000000
5°	— —	1,0223375
10°	— —	1,0440750
15°	— —	1,070125
20°	— —	1,0893500
25°	— —	1,1116875
30°	— —	1,1340250
35°	— —	1,1563625
40°	— —	1,1787000
45°	— —	1,2010375
50°	— —	1,2233750
55°	— —	1,2457125
60°	— —	1,2680500
65°	— —	1,2903875
70°	— —	1,3127250
75°	— —	1,3350625
80°	— —	1,3574000
120°	— —	1,53625
160°	— —	1,715000
200°	— —	1,89375
240°	— —	1,07250
280°	— —	1,25125

Die Tafel läßt sich leicht erweitern oder bis auf einzelne Grade der Wärme ausdehnen. Vergleicht man die



Die berechneten Ausdehnungen derselben mit den durch den Elastizitätsmesser beobachteten im dritten Versuch, so sieht man, daß die erstern die letztern bis zum 35ten Grad des Thermometers nur um wenige Tausendtheile übertreffen. Von diesem Punkt an kehret sich das Verhältniß um, und die beobachteten Werthe übertreffen die berechneten, und zwar immer mehr, je näher die Temperatur der Siedhitze kommt. Soll nun hieraus keine mit der Wärme zunehmend wachsende Ausdehnung der Luft gefolgert werden, welches den durch Beobachtung gefundenen Ausdehnungen der trockenen Luft bey  $80^{\circ}$ ,  $160^{\circ}$  und der Glühhitze des Glases widerspricht; so fragt sich, konnte ein sehr geringer Antheil von begemischter Feuchtigkeit die spezifische Elastizität der im Elastizitätsmesser eingeschlossnen Luft bey  $75^{\circ}$  Temperatur so viel vermehren, daß die daraus hergeleitete Ausdehnung der Luft die Ausdehnung der trocknen Luft um 0,039 übertraf, indeß die Wirkung derselben Feuchtigkeit unter  $35^{\circ}$  Temperatur unmerkbar blieb? Diese Frage läßt sich allerdings bejahen, wenn man bedenkt, wie schnell die Expansivkraft des Wasserdampfes unter 35 Grad Temperatur abnimmt. Daß aber die unter  $35^{\circ}$  beobachteten Ausdehnungen der Luft noch etwas kleiner, als die berechneten, ausfielen, ist wohl der Reibung des Quecksilbers am Glase der Röhre, welche erst bey den höhern Graden der Wärme durch die Wirkung der Dämpfe überwogen wurde, zuzuschreiben. Aberdieß will ich gar nicht entscheiden, ob die Ausdehnungen der trockenen atmosphärischen Luft zu allen Zeiten dieselbe sey, welches nur durch eine lange fortgesetzte Reihe von Beobachtungen ausgemacht werden könnte. Vielmehr läßt sich dieser Satz geradezu verneinen, wenn man nach *Düvernois* Versuchen die Ausdehnung der Stickluft beträchtlich größer, als die Ausdehnung der Lebensluft setzt, und bedenkt, daß das Verhältniß der Mischung von beiden



Luftarten in der Atmosphäre veränderlich ist. Betrachtlich kann indessen der Unterschied in den Ausdehnungen der trockenen atmosphärischen Luft zu verschiedenen Zeiten nicht seyn; wie ich mich durch meine Versuche, welche ebenfalls zu verschiedenen Zeiten angestellt worden sind, überzeugt habe. Indessen kann die veränderliche Ausdehnbarkeit der trockenen atmosphärischen Luft, wenn sie gleich nur gering ist, doch hinreichend seyn, den Gebrauch des Luftthermometers, wenn man durch dies Werkzeug sehr kleine Grade der Wärme messen will, unsicher zu machen. Desto bessere Dienste wird aber das Luftthermometer, als Pyrometer betrachtet, leisten, um hohe Grade der Hitze zu bestimmen. Hier kann man kleine Abweichungen von dem allgemeinen Gesetz, welches die Ausdehnungen der trockenen Luft den Unterschieden der Wärme proportional setzt, übersehen, weil die etwa daraus entstehende Ungewißheit von einem oder höchstens ein Paar Graden der gewöhnlichen Thermometerscale bey der Angabe einer großen Hitze nicht in Betracht kommt. Fig. 5. stellt die Einrichtung eines solchen Pyrometers vor. a ist eine Kugel oder cylindrische Büchse von Kupfer, 2 Zoll im Durchmesser; von der Kugel führet eine gekrümmte Röhre bcd zu einer zweyten cylindrischen Büchse von Eisen ee 2 bis 3 Zoll weit und 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Zoll hoch. Die Kugel, Röhre und Büchse müssen in einander geschraubt und recht gut im Feuer gelötet seyn. Um sehr hohe Grade der Hitze zu messen, könnte man auch die Kugel a und den untern Theil der Röhre bc, so weit sie ins Feuer kommt, von gegossenem Eisen, oder anzubestehen von gegossener Platina machen. Die Büchse ee hat bey f eine  $\frac{1}{2}$  Zoll weite Schraubenöffnung, in welche sich eine eiserne in der Mitte durchbohrte Schraube, mit einem flachen Ansatz, welcher auf den obern Deckel der Büchse genau passet, schraubt. Durch die Oeffnung der Schraube geht eine an beiden Enden offene Barometer-  
röhre



röhre bis beynabe auf den Boden der Büchse. Vor dem Gebrauch des Werkzeugs trocknet man die in dem innern Raum der Gefäße enthaltene Luft aus, indem man frisch gegläubtes Laugensalz in die Büchse ee bringt, und den ganzen Apparat einige Tage lang verschlossen stehen läßt. Hierauf füllet man die Büchse ee mit Quecksilber, welches auf dieselbe Weise ausgetrocknet worden ist, bringt die Barometerröhre mit der Schraube f auf die Büchse, und setzt die Kugel a in das Feuer, dessen Hitze gemessen werden soll. Aus dem Stand des Quecksilbers in der Barometerröhre fg, findet man die Vermehrung der specifischen Elastizität der Luft durch die Wärme, aus welcher sich auf die Ausdehnung der Luft, und von dieser auf den Grad der Hitze schließen läßt. Damit das Quecksilber in der Büchse ee nicht beträchtlich erwärmt werde, ist es dienlich, den Theil des Apparats in ein Gefäß voll kaltes Wasser ki zu setzen, und wenn die Schraube f unter Wasser kommt, so erkennet man das durch um so leichter, ob sie die Oeffnung der Büchse ee luftdicht verschließet. Dieß ist der Gebrauch des Werkzeugs im Allgemeinen, nun muß ich noch von einigen dabey nöthigen Correctionen sprechen. Indem das Quecksilber aus der Büchse ee in die Barometerröhre fg tritt, nimmt die Luft den von ihm verlassenen Raum in der Büchse ein. Diese Ausdehnung der Luft muß zu der aus der Vermehrung der Elastizität gefundenen addiret werden. Hierzu kommt noch, daß die in der Röhre bcd enthaltene Luft nicht sehr erwärmt, sondern nur von der in a erhitzten zusammen gepresset wird; dadurch dehnt sich ebenfalls die in a enthaltene Luft aus, und man muß auch diese Ausdehnung zu bestimmen suchen. Vorausgesetzt, die in der Röhre bcd enthaltene Luft werde gar nicht erwärmt, sondern blos zusammengepresset, und der Raum der Röhre sey zum Raum der Kugel, wie 1 : m oder die Röhre  $\frac{a}{m}$ , die Höhe des Quecksilbers in

D 3

der



der Röhre fg des Luftthermometers = h, der Stand des Barometers zur Zeit der Beobachtung = b, so hat man die Zusammenpressung der Luft in der Röhre nach dem Mariottischen Gesetz

$$b + h : b = \frac{1}{m} a : \frac{ba}{m(b + h)}$$

und hieraus die Ausdehnung der Luft in der Kugel

$$= \frac{a}{m} - \frac{ba}{m(b + h)} = \frac{ha}{m(b + h)}$$

Dieser Ausdruck ist desto kleiner, je größer m, oder je kleiner der nicht erwärmte Theil der Röhre gegen den Raum der Kugel a ist. Der lothrechte Theil der Röhre, welcher durch die Fortpflanzung der Wärme beträchtlich erhitzt wird, kann nach Beschaffenheit des Feuerbehälters, worin das Werkzeug gebraucht werden soll, 6 — 8 Zoll und darüber betragen. Der horizontale Schenkel der Röhre ed braucht nicht länger zu seyn als nöthig ist, die Büchse ee von der Wirkung des Feuers entfernt zu halten, etwa 6 Zoll. Die Weite der Röhre braucht nicht über eine Linie im Lichten zu halten. Dieß gäbe bey der vorhin angenommenen Größe der Kugel a von 2 Zoll Durchmesser den nicht erwärmten Raum der Röhre  $\frac{1}{3}$  des Raums der Kugel oder  $m = 130$ . Für  $h = b$  würde die Ausdehnung der Luft =  $\frac{1}{25}$  a betragen, und für kleinere Werthe von h würde sie noch unbeträchtlicher seyn. So lange h gegen b klein bleibt, ist der Ausdruck  $\frac{hb}{(mb + h)}$  der Quecksilberhöhe h proportional, und wenn der gesammte Werth des Ausdrucks gegen den Werth von a nie sehr groß wird, so darf man jene Proportion, wenigstens ohne merklichen Fehler, auch für größere h gelten lassen. Da nun der in der Büchse ee entstehende Raum bey einer calibrirten Barometeröhre fg der Höhe h ebenfalls proportional ist, so kann man beide Correctionen entbehren, wenn man die durch das Pyrometer

ans



angezeigte Ausdehnung der Luft durch einen unmittelbaren Versuch bestimmt. Man schliesse die in a enthaltene Luft bey der Temperatur der Eiskälte durch die Schraube f von der Atmosphäre ab, hierauf setze man die Kugel a, nebst einem bis zur Siebhöhe des Quecksilbers reichenden Thermometer in eine Sandcapelle, und erhitze die Sandcapelle bis zu einem bestimmten Grad des Thermometers, ich will annehmen bis zu  $160^{\circ}$  der reaum. Scale. Die beobachtete Barometerhöhe in fg = h, den Barometerstand b, den Raum der Luft bey  $160^{\circ}$  = x, bey der Eiskälte = 1 gesetzt, so giebt die Proportion  $b : b + h = 1 : x$  den Raum der Luft bey  $160^{\circ} = \frac{b}{b + h} \cdot 1$ , folglich die Ausdehnung der Luft für ein Grad der Wärme =  $\frac{h}{160 \cdot b}$ , ohne die beiden Correctionen in Anschlag zu bringen. Hat man nun bey einem beliebigen Barometerstande B eine Höhe H in der Röhre BG gemessen und sucht die dazu gehörigen Wärme, so dividire man den Quotient  $\frac{H}{B}$  durch die Größe  $\frac{h}{160 \cdot b}$ ; der neue Quotient giebt die gesuchte Hitze in Graden der reaum. rischen Scale. Ich darf eine Erinnerung nicht unbemerkt lassen, welche man gegen dies Werkzeug machen kann. Dies ist nämlich die Frage, wird die Luft durch die Verfälschung des Kupfers nicht zersezt werden? Dies wird zwar allerdings einigermaßen erfolgen, und ließ sich nur durch die Anwendung eines vielkostbarern edeln Metalls vermeiden, aber ich bin dem ungeachtet überzeugt, daß diese Ursache einen nur sehr geringen Einfluß auf die zu messenden specifischen Elastizitäten der Luft haben werde, wenn man nur die in den Gefäßen eingeschlossene Luft stets recht trocken erhält. Denn die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit ist es eigentlich, welche durch ihre Zersezung das Verfälschen der Metalle so sehr befördert. Ueberdies ist es nicht nöthig, die eingeschlossene Luft in  
der



der Kugel a zu erneuern, wodurch sie ihre Wirkung auf die Verfälschung des Metalles bald verlieret.

Ich komme nun auf die Versuche, welche ich über die Ausdehnungen der feuchten Luft, und die Expansivkraft des mit der Luft vermischten Wasserdampfes angestellt habe. Ich bediente mich dazu ebenfalls des Elastizitätsmessers von C i a r c y, indem ich in die Gefäße a und b etwas Wasser brachte, und übrigens eben so, wie bey der Bestimmung der Ausdehnung der trocknen Luft verfuhr. In den beiden ersten Versuchen befand sich blos etwas Wasser in dem Gefäß a, worin das Thermometer nicht war; in dem dritten Versuch befand sich das Wasser in beiden Gefäßen. Die in den Gefäßen enthaltene Feuchtigkeit war mehr, als hinreichend, die Gefäße a und b mit Dampf zu erfüllen, indem bey der höchsten beobachteten Temperatur noch tropfbares Wasser zurückblieb.

### Erster Versuch.

Temperat.	Expansivkraft der feuchten Luft.	Expansivkraft der trocknen Luft.	Unterschiede
0°	21, 02	21, 02	0
10°	22, 15	21, 96	0, 19
15°	22, 62	22, 43	0, 19
20°	23, 38	22, 90	0, 48
25°	24, 09	23, 37	0, 72
30°	25, 06	23, 84	1, 22
35°	26, 02	24, 31	1, 71
40°	27, 27	24, 78	2, 49
45°	28, 71	25, 25	3, 46
50°	30, 12	25, 71	4, 41
55°	31, 80	26, 18	5, 62
60°	35, 59	26, 65	8, 94
65°	37, 35	27, 12	10, 23

Zweiter



## Zweiter Versuch.

Temperat.	Expansivkraft der feuchten Luft.	Expansivkraft der trockenen Luft.	Unterschiede
0°	15, 28	15, 28	0
15°	16, 66	16, 30	0, 36
20°	17, 18	16, 646	0, 53
25°	17, 95	16, 992	0, 96
30°	18, 63	17, 338	1, 30
35°	19, 38	17, 684	1, 70
40°	20, 52	18, 030	2, 49
45°	21, 50	18, 379	3, 13
50°	22, 67	18, 72	3, 95
55°	24, 22	19, 06	5, 16
60°	25, 40	19, 41	6, 00
65°	28, 80	19, 98	9, 12

## Dritter Versuch.

Temperat.	Expansivkraft der feuchten Luft.	Expansivkraft der trockenen Luft.	Unterschiede.
0°	15, 88	15, 88	0
15°	17, 30	16, 944	0, 36
20°	17, 89	17, 259	0, 63
25°	18, 58	17, 574	1, 01
30°	19, 32	17, 889	1, 43
35°	20, 33	18, 204	2, 13
40°	21, 47	18, 519	2, 96
45°	22, 40	18, 834	3, 57
50°	24, 58	19, 149	5, 44
55°	26, 70	19, 464	7, 24
60°	29, 62	19, 779	9, 85
65°	34, 00	20, 094	13, 91

Die



Die Werthe der dritten Columne sind nach den in der Tafel A zum Grunde gelegten Gesetz für die Ausdehnungen der trockenen Luft berechnet worden, indem die Expansivkraft der feuchten Luft bey 0 Temperatur jedesmal = 1 gesetzt worden ist. Die vierte Columne enthält die Unterschiede zwischen der Expansivkraft der feuchten und trockenen Luft bey gleichen Temperaturen, und stellt die Werthe der Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes bey verschiedenen Graden der Wärme dar. Aus der Vergleichung dieser Werthe, mit den für die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes bey gleichen Temperaturen ergiebt sich, daß die Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes bis zu 60° Temperatur beträchtlich geringer, als die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes sey. Ueber dieser Temperatur nähern sich die beiden Kräfte einander schnell und sind, wie alle Beobachtungen übereinstimmend lehren, bey der Siedhize einander völlig gleich. Es scheint mir nichts natürlicher, als die Verminderung der Expansivkraft des Wasserdampfes, wenn er mit der Luft vermischet ist, einem Zug der Luft gegen das Wasser des Dampfes zuzuschreiben. Durch diesen Zug wird die den Wassertheilchen durch die Stöße des Feuers im Dampf mitgetheilte Bewegung mehr und weniger verzögert, und eben dadurch die Expansivkraft des Wasserdampfes vermindert. Aus einem solchen Zug der Luft gegen das Wasser folgt aber noch keinesweges eine chemische Verwandtschaft zwischen den beiden Körpern, wodurch das Wasser ohne Beyhülfe der Wärme ganz in der Luft aufgelöset würde, sondern es scheint vielmehr die Voraussetzung einer solchen Verwandtschaft den beobachteten Phänomenen zu widersprechen, weil dieselbe den mit der Luft vermischten Wasserdampf bald ganz zerstören würde, indem sich das Wasser chemisch in der Luft auflösete. Dies geschieht nicht, sondern die Expansivkraft des mit der Luft vermischten

Wasser-



Wasserdampfes folgt vielmehr, die durch den Zug der Luft gegen das Wasser bewirkte Verminderung abgerechnet, ganz denselben Gesetzen, wie die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes. Auch verändern sich die chemischen Eigenschaften der Luft durch ihre Vermischung mit Wasserdampf nicht, sondern blos ihre Ausdehnbarkeit durch die Wärme und ihr specifisches Gewicht verändern sich durch den Einfluß der Wasserdämpfe, und beide kommen wieder auf ihren vorigen Zustand zurück, sobald man der Luft die Feuchtigkeit durch einem das Wasser stärker anziehenden Körper, wie das geglühete Laugensalz ist, oder auch nur durch eine sehr hohe Temperatur, wieder entziehet. Nach diesen Versuchen scheint mir die Deluccische Theorie von den Wasserdämpfen in so fern einer Berichtigung zu bedürfen, daß sich die genannten Dämpfe nicht blos mechanisch, ohne irgend eine Modification, zu erleiden, mit der Luft vermischen, sondern daß der Zug der Luft gegen das Wasser (welchem ich den Namen einer physischen oder hygrometrischen Verwandtschaft beylegen möchte), allerdings eine Veränderung in der Expansivkraft des Wasserdampfes bewirkt. Die physische Verwandtschaft der Luft gegen das Wasser dienet nicht blos, die zur Vegetation so höchst nöthige Vermischung des Wasserdampfes mit der Atmosphäre zu befördern, sondern sie verursacht auch, daß die Luft das aus dem zersetzten Dampf in den feinsten Theilchen niedergeschlagne Wasser zum Theil an sich zieht und eben dadurch, wie jeder andere hygrometrische Körper, feucht wird.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die Art, wie sich die Wasserdämpfe mit der Luft vermischen, will ich versuchen, das Gesetz aufzufinden, nach welchem die Expansivkraft des Wasserdampfes durch die Vermischung mit der Luft vermindert werde.

Auf



Auf den ersten Anblick scheint wenig Regelmäßiges aus den in den vierten Columnen enthaltenen Resultaten der drey Versuche zu folgen, da sie ziemlich stark von einander abweichen. Es ist aber hierbey Folgendes zu bemerken. In den beiden ersten Versuchen war die Feuchtigkeit blos in dem Gefäß a des Dampfbarometers enthalten, in dem Gefäß b blieb die Luft während den beiden ersten Versuchen, (weil keine große Circulation der elastischen Flüssigkeiten in den beiden Gefäßen statt fand), ziemlich trocken, wie der fast unmerkliche Feuchtigkeitsbeslag in dem Gefäß b bey der Temperatur der Eiskälte augenscheinlich bewieß. Dies zog einen andern Umstand nach sich, den ich anfangs ebenfalls übersah, und welcher gerade die Ursache von der in den beiden ersten Versuchen gefundenen geringern Expansivkraft der mit Luft vermischten Wasserdämpfe, als im dritten Versuche, war. Die Temperatur des Gefäßes a, worin sich allein die verdampfende Flüssigkeit befand, blieb jederzeit etwas geringer als die Temperatur des Gefäßes, welches das Thermometer enthielt, weil die in dem Gefäß a vorgehende Verdampfung selbst Kälte erzeugte. Von der Wahrheit dieses Satzes, wenn sie nicht schon bekannt wäre, kann sich jeder leicht überzeugen, wenn er zwey harmonirende Thermometer, eins in ein feuchtes, das andere in ein trockenes Gefäß eingeschlossen, einer gleichen Temperatur aussetzt. Das Thermometer im feuchten Gefäß wird gewöhnlich 1 — 2 Grad gegen das andere im trockenen zurückbleiben. Das im Dampfbarometer beobachtete Thermometer gab aus gleichem Grunde in den beiden ersten Versuchen eine höhere Temperatur an, als die war, welche der Dampf und die Luft in dem Gefäß b hatten, und es ist daher kein Wunder, daß die beobachtete Expansivkraft für die durch das Thermometer gefundene Temperatur zu klein ausfiel. Eben diesem Umstand schreibe ich die Abweichungen der beiden ersten Versuchen unter einander







muß desto stärker seyn, je geringer die Expansivkraft des Wasserdampfes ist, weil der Dampf in diesem Fall in kleinern Massen und dünner in den Zwischenräumen der Luft zerstreut ist. Je größer die Expansivkraft des Wasserdampfes wird, desto mehr entfernt er die Theilchen der Luft von einander, und bietet ihr folglich weniger Berührungspunkte dar, wodurch der Zug der Luft gegen den Dampf vermindert wird, bis endlich dieser Zug oder die Wirkung desselben völlig verschwindet, wenn die Expansivkraft des Dampfes der ausdehnenden Kraft der Luft gleich geworden ist. In diesem Fall ist nämlich der Wasserdampf gar nicht mehr als ein mit Luft vermischter zu betrachten, sondern überall wo er sich befindet, hebt er den Zusammenhang der Luft ganz auf, und existiret als veiner Wasserdampf, nur in der Luft zerstreuet. Die Verminderungen der Unterschiede der 5ten Columne der Tafel B sind zwar nicht gleichförmig abnehmend, indessen giebt doch die Voraussetzung, daß sie von 10° bis zu 55° gleichförmig abnehmen, wenn man den Werth den 5ten Columne für 55° Temperatur zum Grunde legt und die gleichförmige Abnahme der Unterschiede von 5 zu 5 Grad Wärme 0,022, oder für einen Grad der Wärme 0,0044, setzt, eine Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes, welche nicht weiter von den Beobachtungen abweicht, als die Genauigkeit der letztern reicht. Das angenommene Gesetz läßt sich allgemein so ausdrücken: e heiße die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes bey der Temperatur = t, e' bezeichne die Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes bey derselben Temperatur, so hat man  $e' = e - (0,397 - 0,0044 \cdot t) e = (0,603 + 0,0044 \cdot t) e$ . V. t = 55° giebt  $e' = e - (0,397 - 0,242) e = e - 0,155 e = 0,845 e$  wie die Beobachtung. Jenseits 55° darf die Formel nicht ausgedehnt werden, weil hier die von e abzuziehende Größe schneller abnimmt, als die Formel angiebt, und schon



schon für  $t = 65^\circ$  verschwindend wird. Ueberhaupt gebe ich das Gesetz blos als eine Annäherung zur Wahrheit, bis man durch sorgfältig wiederholte Versuche ein genaueres wird ausgemacht haben. Die nach diesem Gesetz berechneten Werthe der Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes sind wie folgt.

## C.

Temperatur.	Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes.
0°	0,
1°	0,0061
2°	0,0183
3°	0,0305
4°	0,0434
5°	0,0625
6°	0,0817
7°	0,0914
8°	0,1278
9°	0,1606
10°	0,2005
11°	0,2214
12°	0,2491
13°	0,2904
14°	0,3322
15°	0,3745
16°	0,4173
17°	0,4674
18°	0,5183
19°	0,5765
20°	0,6348
21°	0,7021
22°	0,7695
23°	0,8377
24°	0,9137
25°	0,9976
26°	1,075
27°	1,159



Temperatur.	Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes.	
28°	.	1,252
29°	.	1,365
30°	.	1,476
31°	.	1,587
32°	.	1,707
33°	.	1,836
34°	.	1,967
35°	.	2,107
36°	.	2,256
37°	.	2,413
38°	.	2,580
39°	.	2,756
40°	.	2,942
41°	.	3,139
42°	.	3,337
43°	.	3,545
44°	.	3,779
45°	.	4,022
46°	.	4,269
47°	.	4,534
48°	.	4,819
49°	.	5,104
50°	.	5,411
51°	.	5,684
52°	.	6,072
53°	.	6,405
54°	.	6,805
55°	.	7,184
56°	.	7,680
57°	.	8,133
58°	.	8,702
59°	.	9,257
60°	.	9,849
61°	.	10,575
62°	.	11,323
63°	.	12,131
64°	.	12,991
65°	.	13,910

Die



Die mit einem Haaken bezeichneten Werthe der Tafel (C) von  $56 - 65^\circ$  sind aus den beobachteten Werthen von  $60^\circ$  und  $65^\circ$  durch Interpolirung nach einem ähnlichen Gesetz, wie das oben angegebene ist, hergeleitet worden. Man hat nämlich die Zunahme des mit  $e$  zu multiplicirenden Factors für jeden Grad der Wärme zwischen  $55$  und  $60^\circ = 0,0112$  zwischen  $60^\circ$  und  $65^\circ = 0,0194$  gesetzt. Ueber  $65^\circ$  kann man die Expansivkraft des mit Luft vermischten Wasserdampfes einander gleichsetzen.

Bermitteltst der vorstehenden Tafel und der oben mitgetheilten Tafel A über die Ausdehnungen der trockenen Luft, läßt sich die Ausdehnung einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft für jede gegebene Temperaturerhöhung finden. Es sey zum Beyspiel die ausdehnende Kraft einer feuchten Luft bey der Temperatur der Eiskälte  $= 28$  Zoll V. St. Man fragt, wie groß ist die ausdehnende Kraft dieser Luft bey  $40^\circ$  und bey  $80^\circ$  Wärme. Für  $40^\circ$  hat man die ausdehnende Kraft der trockenen Luft  $= 28,1,1787 = 33,0036$ , hierzu die Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes bey  $40^\circ = 2,942$ , giebt für die gesammte ausdehnende Kraft der feuchten Luft bey  $40^\circ = 35,9456$  Zoll V. St. Eben so berechnet man die ausdehnende Kraft für  $80^\circ$  Temper.

Die ausdehnende Kraft der trockenen Luft	38,0072
Expansivkraft des Wasserdampfes.	28,0000
ausdehnende Kraft der feuchten Luft	66,0072.

Bermitteltst der ausdehnenden Kräfte lassen sich die Räume der Luft bey erfolgter Ausdehnung berechnen, wenn man den Raum bey der Eiskälte gleich 1 setzt. Dies giebt den Raum der feuchten Luft

bey $40^\circ$	$= 1,2836$
bey $80^\circ$	$= 2,3574$
	3 3



Es erhellet, daß diese Rechnungen nur für eine mit Feuchtigkeit völlig gesättigte Luft gelten, weil die Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes unter diesen Umständen gefunden worden ist. In der Atmosphäre findet bekanntlich der Punkt der Sättigung mit Feuchtigkeit nur selten statt, und es entsteht daher die Frage, wenn man die angestellten Untersuchungen auf die wirkliche Ausdehnungen der atmosphärischen Luft anwenden will, wie ändert sich der Einfluß der Feuchtigkeit ab, wenn die Luft mehr und weniger von dem Punkt der Sättigung entfernt ist? Es ist wohl nichts natürlicher als die Voraussetzung, daß die Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes bey gleicher Temperatur und übrigens gleichen Umständen den Quantitäten des der Luft beygemischten Wasserdampfes proportional sey. Dürfte man ferner annehmen, daß die Grade unsrer besten Hygrometer des Delücischen oder Saussurischen, wirkliche Mengen des der Luft beygemischten Wasserdampfes anzeigen, so würde daraus folgen, daß die Expansivkraft des Wasserdampfes in einer Luft, worin das Hygrometer 50 Grad zeigte, bey jeder Temperatur halb so groß wäre, als sie die vorstehenden in der Tafel (C) enthaltenen Untersuchungen angeben. Ich habe unter den beiden erwähnten Voraussetzungen die nachstehende Tafel berechnet, welche die Ausdehnungen der feuchten Luft von 10 zu 10 Graden des Hygrometers und von 5 zu 5 Graden des Thermometers enthält. Sollte gleich die letzte der beiden Voraussetzungen, worauf sich die berechnete Werthe der Tafel stützen, nicht ganz genau seyn, so geben doch diese Werthe gewiß eine Annäherung zur Wahrheit in einem Theil der Experimentalnaturlehre, worin bisher so viel wie nichts geleistet war. Ueberdies eröffnen diese Untersuchungen, wenn die Thatsachen, worauf sie gegründet sind, (wie ich nicht anders erwarte) durch wiederholte Versuche als wahr befunden, oder nöthigenfalls berichtigt werden, einen neuen











D.  
T a f e l  
über

die Ausdehnungen der feuchtesten Luft von 10 zu 10 Graden des Hygrometers, und von 5 zu 5 Graden des Thermometers, den Raum der Luft bey der Eiskälte = 1 gesetzt und den Barometerstand = 28 Zoll pariser Maaß.

Grade des Thermomet.	10	Grade 20	30	des 40	50	60	70	Hygrometers. 80	90	100.
0°	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5°	1,0225607	1,0227839	1,0230071	1,0232303	1,0234535	1,0236767	1,0239009	1,0241231	1,0243463	1,0245696
10°	1,0453911	1,0461072	1,0468233	1,0475394	1,0482555	1,0489716	1,0496877	1,0504038	1,0511199	1,0528360
15°	1,0683482	1,0696839	1,0710196	1,0723553	1,0736910	1,0750267	1,0764624	1,0776981	1,0790338	1,0803695
20°	1,0915171	1,0938843	1,0961514	1,0994186	1,1006857	1,1029529	1,1052200	1,1074872	1,1095543	1,1120215
25°	1,1152503	1,1188132	1,1223760	1,1259389	1,1295018	1,1330646	1,1366275	1,1401903	1,1437532	1,1473161
30°	1,1392964	1,1445678	1,1498393	1,1551127	1,1603824	1,1656536	1,1709250	1,1761964	1,1814719	1,1867393
35°	1,1638875	1,1114125	1,1789375	1,1865625	1,1929875	1,2015125	1,2090375	1,2165625	1,2240875	1,2316125
40°	1,1892071	1,1997142	1,2102213	1,2207285	1,2312356	1,2417427	1,2522498	1,2627569	1,2732641	1,2837712
45°	1,2153946	1,2297518	1,2441089	1,2584660	1,2728232	1,2861803	1,3015375	1,3158946	1,3302517	1,3446089
50°	1,2426964	1,2620178	1,2813393	1,3016627	1,3199821	1,3393036	1,3586250	1,3779464	1,3972679	1,4165893
55°	1,2713696	1,2970268	1,3226839	1,3483410	1,3739982	1,3996553	1,4253125	1,4509696	1,4666267	1,5022839
60°	1,3032250	1,3384000	1,3735750	1,4087500	1,4439250	1,4791000	1,5142750	1,5494500	1,5846250	1,6198000
65°	1,3400675	1,3897475	1,4394275	1,4891075	1,5387875	1,5884675	1,6381475	1,6878275	1,7375075	1,7871875
70°	1,3758322	1,4389394	1,5020466	1,5651538	1,6282610	1,6913682	1,7544754	1,8175826	1,8806898	1,9437970
75°	1,4150625	1,4950625	1,5750625	1,6550625	1,7350625	1,8150625	1,8950625	1,9750625	2,0550625	2,1350625
80°	1,4574000	1,5174000	1,6574000	1,7574000	1,8574000	1,9574000	2,0574000	2,1574000	2,2574000	2,3574000



## die Ausdehnungen der feuchten Luft von 10 zu 10te

=

Grade des Thermomet.	10	Grade 20	3
0°	1,0000	1,0000	100
5°	1,0225607	1,0227839	1,026
10°	1,0453911	1,0461072	1,040
15°	1,0683482	1,0696839	1,075
20°	1,0915171	1,0938843	1,095
25°	1,1152503	1,1188132	1,121
30°	1,1392964	1,1445678	1,143
35°	1,1638875	1,1114125	1,175
40°	1,1892071	1,1997142	1,212
45°	1,2153946	1,2297518	1,249
50°	1,2426964	1,2620178	1,293
55°	1,2713696	1,2970268	1,349
60°	1,3032250	1,3384000	1,370
65°	1,3400675	1,3897475	1,475
70°	1,3758322	1,4389394	1,500
75°	1,4150625	1,4950625	1,575
80°	1,4574000	1,5174000	1,600



neuen Weg in das noch ziemlich ungebauete Feld der Hygrometrie. Ich meyne, man wird durch solche Tafeln, wie die nachstehende ist, dereinst in den Stand gesetzt werden, vermittelst eines guten Elastizitätsmessers die in der Luft bey verschiedenen Temperaturen enthaltenen Mengen von Wasserdämpfen bestimmter anzugeben, als durch unsere bisherigen Hygrometer geschieht.

Verbindet man mit der vorstehenden Tafel D die Tafel A über die Ausdehnungen der trockenen Luft, so erhält man eine vollständige Uebersicht des Gesetzes der Ausdehnungen der atmosphärischen Luft von 5 zu 5 Graden der Wärme und 10 zu 10 Graden der Feuchtigkeit. Die Ausdehnungen für die zwischenliegenden nicht in den Tafeln A und D enthaltenen Grade der Wärme und Feuchtigkeit lassen sich ohne merklichen Fehler durch Interpolation nach Proportionaltheilen finden. Eigentlich sollte für jeden Barometerstand eine besondere Tafel, wie die vorstehende (D) für 28" B. St., berechnet werden. Da aber nach meinen bisherigen Versuchen das Gesetz der Ausdehnungen der völlig trocknen Luft, durch die Veränderung des Barometerstandes nicht merklich modificiret wird, so hat die Veränderung des Barometerstandes auf die Ausdehnungen der feuchten Luft nur in sofern Einfluß, als die nach der Temperatur veränderliche Expansivkraft des Wasserdampfes eine größere Veränderung des Volumens bey einer geringern Elastizität der Luft, als bey einer größern bewirkt. Dieser Einfluß ist indessen nicht beträchtlich, wenn die Aenderung des Barometerstandes nicht groß ist, wie folgendes Beyspiel beweist. Bey 27 Zoll Barometerstand würden sich die Ausdehnungen der feuchten Luft bey 80° Wärme, statt der in der vorstehenden Tafel D enthaltenen, in folgende verwandeln,



Hygromet.		Ausdehn. der Luft bey 8° Therm.
10°	—	1,4611037
20°	—	1,5648074
30°	—	1,6685111
40°	—	1,7622148
50°	—	1,8659185
60°	—	1,9696222
70°	—	2,0733259
80°	—	2,1770296
90°	—	2,2807333
100°	—	2,3840370.

Allgemein findet man die Ausdehnung einer feuchten Luft für jeden gegebenen Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstand, wenn man zu der Ausdehnung der trockenen Luft bey der gegebenen Temperatur den mit dem Grad des Hygrometers (als Hunderttheile gelesen) multiplicirten Quotienten aus der Expansivkraft des Wasserdampfes dividirt durch den Barometerstand addiret, z. B. die Ausdehnung der feuchten Luft bey 26" Bar. St. 40° Therm. 50° Hygrometer, ist (Ausdehn. der trockenen Luft)  $1,1787 + \frac{2,942}{26} \cdot 0,50 = 1,2352$ . Den Beweis zu diesem Verfahren wird sich der aufmerksame Leser aus dem Vorstehenden leicht von selbst entwickeln; ich bemerke nur, daß man für die Grade der Wärme unter 65° die Expansivkraft des mit Luft gemischten Wasserdampfes, für höhere Grade der Temperatur aber die Expansivkraft des reinen Wasserdampfes in Rechnung bringt.

Vergleicht man die oben angeführten von D u v e r n o i s gefundenen Werthe für die Ausdehnungen der atmosphärischen Luft mit den in den Tafeln (A) und (D) angegebenen Ausdehnungen der feuchten und trockenen Luft, so erhellet, daß von den D u v e r n o i s'schen Zahlen die Ausdehnung für 20° selbst für die ganz trockene Luft zu klein ist.



ist. Die Ausdehnung für  $40^{\circ}$  der Wärme fällt zwischen 70 und 80 der Feuchtigkeit, und stimmt ziemlich mit der Angabe des Saussürischen Hyarometers von  $83\frac{1}{2}^{\circ}$ . Die Ausdehnung für  $60^{\circ}$  ist selbst für die absolute Feuchtigkeit der Luft zu groß, und die Ausdehnung für  $80^{\circ}$  Wärme bey der angegebenen Feuchtigkeit zu klein. D ü v e r n o i s glaubt selbst, daß er die Ausdehnung bey der Siedhize zu klein angegeben habe. Ueberhaupt läßt sich aus der Vergleichung dieses D ü v e r n o i s'schen Versuches weder für noch wider die Richtigkeit meiner Tafeln etwas folgen. Hierzu gehören mehrere bey verschiedenen Graden der Feuchtigkeit der Luft mit aller Genauigkeit über die Ausdehnungen derselben angestellte Versuche.

Ich habe mir vorgenommen, demnächst selbst an diese Arbeit zu gehen, oder wenn sie früher von andern Naturforschern ausgeführet werden sollte, so werde ich darnach mit Vergnügen meine über die Ausdehnungen der feuchten und trockenen Luft aufgestellten Gesetze prüfen, und nöthigenfalls berichtigen. Vor der Hand werden sie, wie ich mir schmeichle, wenigstens als Annäherungen zur Wahrheit keine ungeneigte Aufnahme finden.

G. G. Schmidt.



## Inhalt.

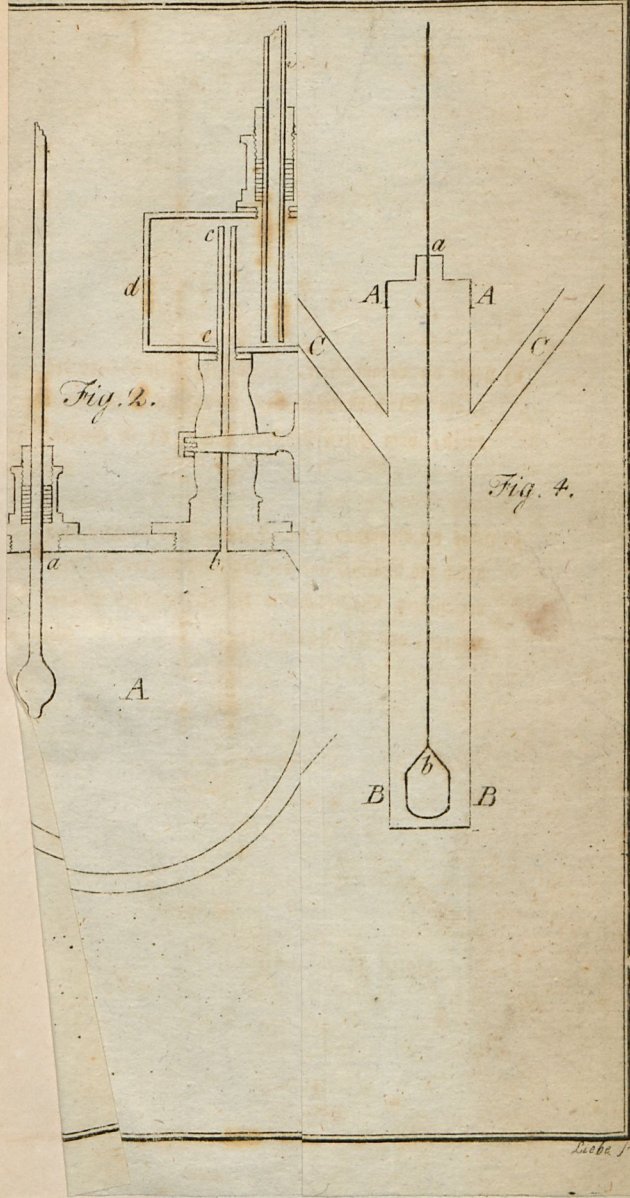
- 1) Ueber die Expansivkraft, Dichte und latente Hitze des  
reinen Wasserdampfes bey verschiedenen Tempera-  
turen, vom Herrn Professor Schmidt in Gießen.

Seite 251

- 2) Ueber die Ausdehnung der trockenen und feuchten Luft  
durch die Wärme, und die Expansivkraft des mit Luft  
vermischten Wasserdampfes bey verschiedenen Tempera-  
turen, von Ebdemselben.

Seite 326

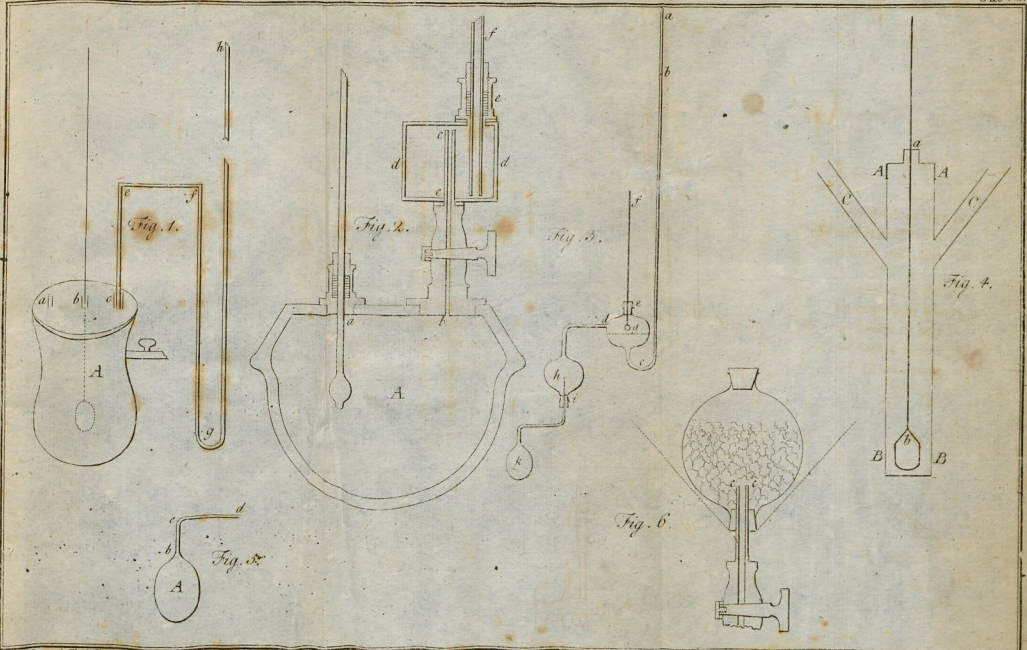




Liebe J.





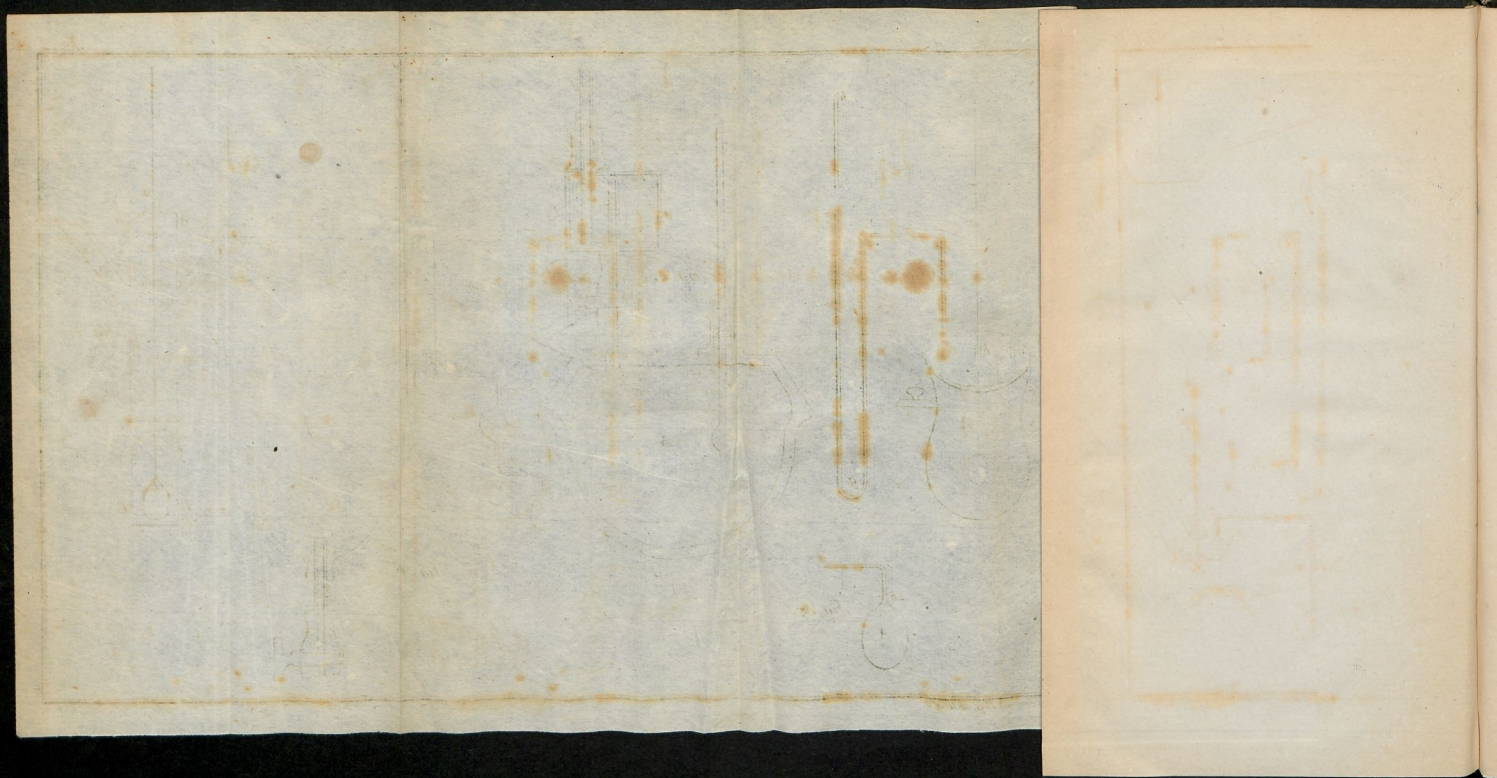


Novae Journ. d. Phys. S. II. K. 3.

Tab. I



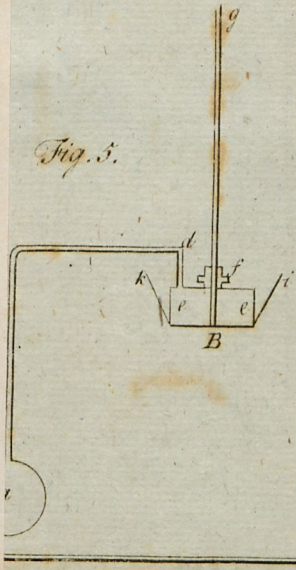
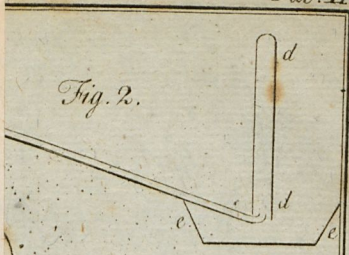




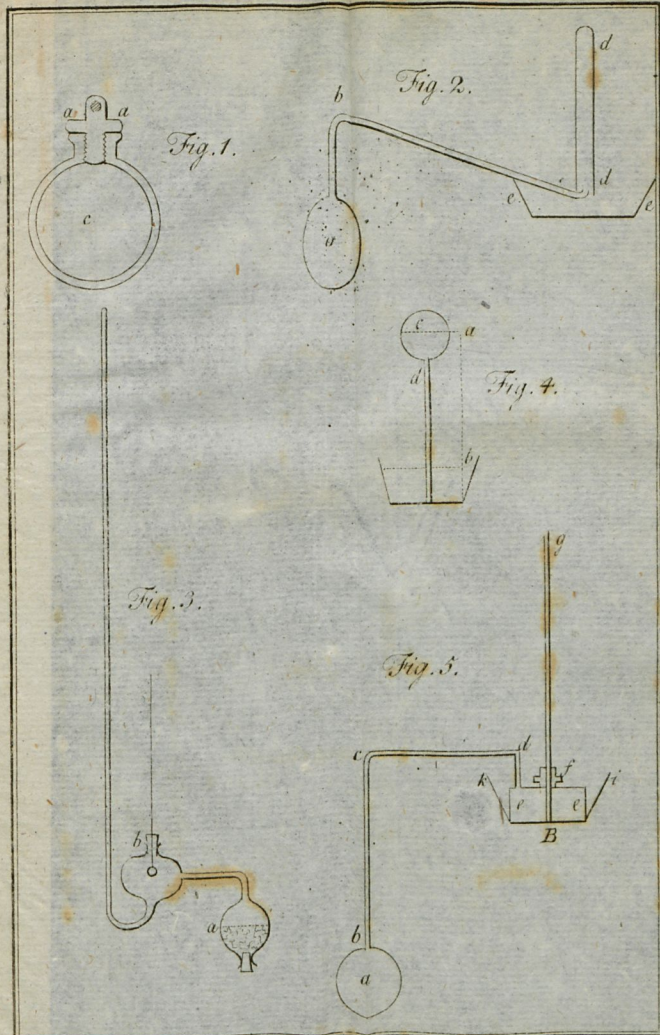










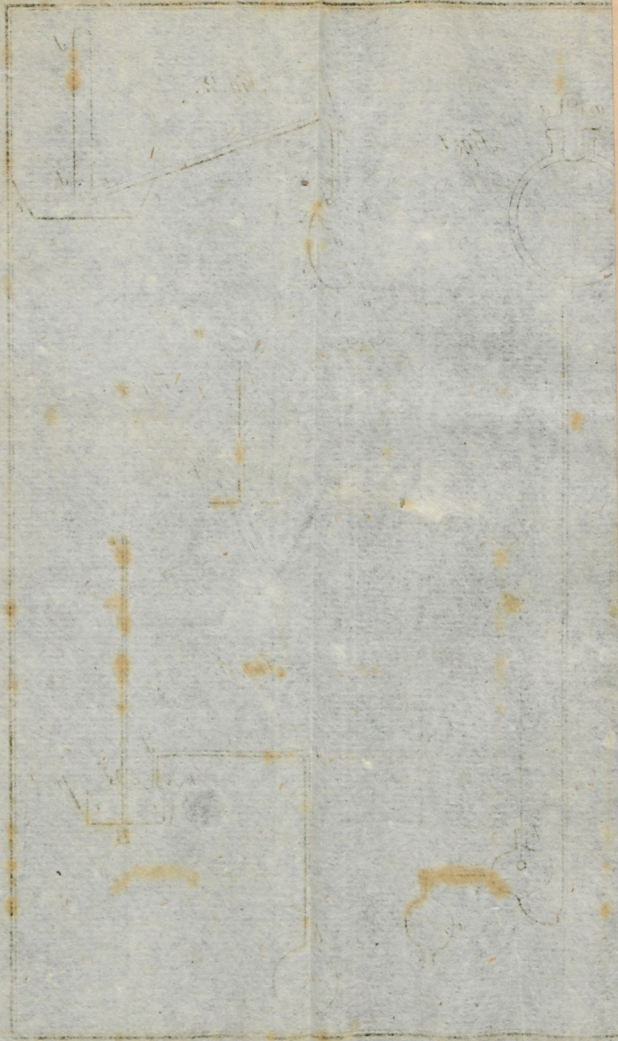


Novis Journ. de Phys. 3. 17. 263.





II. 170

















Bb 973. 8.

S

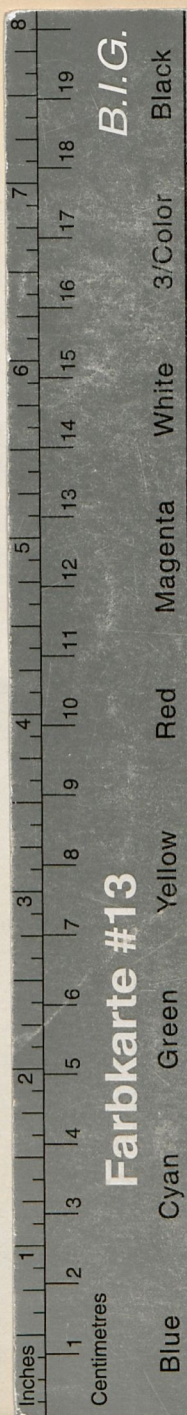
X2424988

m.c.









B.I.G.

Farbkarte #13

Black  
3/Color  
White  
Magenta  
Red  
Yellow  
Green  
Cyan  
Blue

Versuche  
über die  
**Expansivkraft,**  
Dichte und latente Hitze  
des  
trocknen Wasserdampfes  
bey  
verschiedenen Temperaturen,  
und über  
die Ausdehnung der trocknen und feuchten Luft  
durch die Wärme,  
von  
**G. G. Schmidt,**  
Professor der Physik und Mathematik in Gießen.

Mit zwey Kupfertafeln.

Leipzig, 1798.  
Johann Ambrosius Barth.

*J. G. G. Schmidt*

