

Grad, so wird dieser Grad, der mit  $Q_v$  bezeichnet seyn mag, da nach (III) die ausgeflossene Gewichtsmenge  $= 1 - \frac{1 + \delta_v}{1 + \Delta_v}$  ist, ausgedrückt werden durch:

$$Q_v = \frac{\Delta_v - \delta_v}{\Delta_{100} - \delta_{100}} \cdot \frac{1 + \Delta_{100}}{1 + \Delta_v} \dots \dots \text{(IX)}$$

Das Verhältniß der Grade beider Thermometer ist also nach (VIII):

für die Temperatur $t'$	für die Temperatur $t''$
$\frac{Q_v}{q_v} = \frac{1 + \delta_v}{1 + \Delta_v} \cdot \frac{1 + \Delta_{100}}{1 + \delta_{100}}$	$\frac{Q_{v''}}{q_{v''}} = \frac{1 + \delta_{v''}}{1 + \Delta_{v''}} \cdot \frac{1 + \Delta_{100}}{1 + \delta_{100}}$

Folglich:

$$\frac{Q_v}{Q_{v''}} \cdot \frac{q_{v''}}{q_v} = \frac{\rho_v}{\rho_{v''}},$$

d. h. der Quotient aus den Verhältnissen beider Thermometergrade für zwei Temperaturen gleich dem Verhältniß der bei diesen Temperaturen in dem Dulong'schen Thermometer zurückgebliebenen Gewichtsmengen Quecksilber. (P.)

## II. *Versuche über die specifische Wärme der Gase und der Luft unter verschiedenem Druck; von C. G. Suerman, Dr. Ph. et M.*<sup>1)</sup>

Es war i. J. 1815, daß Hr. Gay-Lussac die Verdunstungskälte in trockner Luft bei verschiedenen Temperaturen durch Erfahrung und Rechnung bestimmte, und somit in eine bis dahin schwankende und unsichere Theorie Genauigkeit brachte<sup>2)</sup>. Seit jener Zeit ist dieser Gegenstand in Frankreich ganz in Vergessenheit gera-

1) *Ann. de chim. et des phys.* T. LXIII p. 315.

2) *Ann. de chim. et de phys.* T. XXI p. 82.

then. Hr. Gay-Lussac, der denselben einen der interessantesten in der Physik nennt, hatte zwar darauf hingewiesen, dafs man dadurch den hygrometrischen Zustand der Luft so wie die Wärmecapacität der Gase bestimmen könne; allein erst in Deutschland und England hat man gesucht das erste dieser Probleme zu lösen.

Die Versuche von Hutton, Leslie und anderen Physikern waren sehr unvollkommen geblieben, als Hr. August in Berlin unter dem Namen *Psychrometer* einen Apparat bekannt machte, mittelst dessen er die Elasticität des in der Luft enthaltenen Dampfs zu bestimmen suchte. Dieser Apparat besteht nur in zwei sehr empfindlichen Thermometern, die durch eine Holzwand getrennt sind. Die Kugel des einen ist mit Leinwand umgeben, welche beständig feucht erhalten wird, durch einen in ein kleines Gefäfs mit Wasser hinabreichenden Baumwollenfaden. Der Stand beider Thermometer, verbunden mit dem des Barometers, sind die erforderlichen Elemente zur theoretischen Lösung des Problems, welches Hr. August nach den von Hrn. Gay-Lussac aufgestellten Grundsätzen ausführt.

Seitdem haben die HH. Baumgartner, Bohnenberger, Stierlin und andere deutsche Physiker diese Theorie durch vergleichende Beobachtungen aufzuhellen gesucht, während in England die HH. Ivory und Anderson, und ganz neuerlich Prof. Apjohn in Dublin, dieselbe Aufgabe mit vieler Sorgfalt behandelt haben. Nach diesen Versuchen ist man sowohl in England als in Deutschland darüber einverstanden, dafs das Psychrometer das einzige Instrument sey, welches beim gegenwärtigen Zustand der Wissenschaft zur Hygrometrie benutzt werden kann, wiewohl es dabei noch Schwierigkeiten zu beseitigen giebt, deren Erörterung uns indels von unserem eigentlichen Zweck zu weit abführen würde.

Dieser Zweck ist die Auseinandersetzung einer Reihe von Versuchen, die zum Behuf der Lösung des zweiten

von Hrn. Gay-Lussac angedeuteten Problems angestellt wurden. Sie sind einige Monate früher angestellt als die in gleicher Absicht unternommenen des Hrn. Apjohn<sup>1)</sup>, die ich in der That erst kennen lernte, als ich meine Arbeit angefangen. Da aber seine Versuche auf eine ganz andere Weise gemacht wurden, und, wie ich glaube, nicht allgemein bekannt sind, so erlaube ich mir sie hier kurz zusammenzufassen.

Hr. Apjohn nimmt ein Glasrohr, 1<sup>m</sup>,27 Meter lang und 7<sup>mm</sup>,6 im Durchmesser, heberförmig gekrümmt und in der Biegung etwas concentrirte Schwefelsäure enthaltend. Diesen Heber verbindet er auf der einen Seite mit zwei durch Hähne verschlossene Blasen, und auf der andern Seite mit einem horizontalen Glasrohr, welches zwei Thermometer enthält, ein trocknes und ein mit der Kugel in feuchte Leinwand eingehülltes; eine der Blasen enthält Gas, die andere Luft. Indem er diese Luft durch einen constanten Druck aus der Blase trieb, gelang es ihm das befeuchtete Thermometer so zu erkälten, dafs, als er nun unmittelbar darauf den Gasstrom folgen liefs, die Verdunstungskälte ihr Maximum erreichte und die Temperatur des feuchten Thermometers stationär ward. Ein Theil des in die pneumatische Quecksilberwanne eingeführten Gases diente zur Analyse. Sogleich nach dem ersten Versuch füllte Hr. Apjohn die beiden Blasen zugleich mit atmosphärischer Luft, und bestimmte auf dieselbe Weise das Maximum der durch sie erzeugten Kälte. Der Vergleich dieser beiden Resultate gab die specifische Wärme der Gase auf folgende Weise.

Nach seinen hygrometrischen Untersuchungen nimmt Hr. Apjohn die folgende Formel an, welche fast auf die von Gay-Lussac zurückkommt :

1) *London and Edinb. Phil. Mag. Nov. 1835, p. 385.* (Siehe *Annal. Bd. XXXIX S. 522.*)

$$c = \frac{e'l}{48(t-t')} \times \frac{30}{p} \dots \dots \dots (1)$$

es bezeichnet darin  $c$  die Wärmecapacität des Gases,  $l$  die latente Wärme des Wasserdampfs,  $t$  und  $t'$  die beiden beobachteten Temperaturen,  $e'$  das der Temperatur  $t'$  entsprechende Elasticitätsmaximum des Wasserdampfs und  $p$  den barometrischen Druck. Die erste Beobachtung giebt nach dieser Formel die specifische Wärme des angewandten Gases. Man berichtigt sie nach der auf dem Wege der Endosmose eingetretenen und durch die Analyse bestimmten Menge von atmosphärischer Luft. Durch die zweite Beobachtung erhält man dieselbe Größe für die atmosphärische Luft: das Verhältniß dieser beiden Wärmen giebt endlich den gesuchten Werth.

Es ist zu bemerken, daß Hr. Apjohn bei der ersten Formel vergessen hat, den Werth von  $c$  durch die Dichtigkeit des Gases zu dividiren. Berücksichtigt man diesen Fehler, so findet man, nach seinen Versuchen, folgende Werthe der specifischen Wärme:

	Bei gleichem Volum.	Bei gleichem Gew.
Atmosphärische Luft	1,0000	1,0000
Wasserstoff	1,8948	27,5407
Stickstoff	0,9887	1,0169
Kohlenoxyd	1,0808	1,1167
Stickstoffoxydul	1,1652	0,7631
Kohlensäure	1,0916	0,7161.

Beim Wasserstoff ist der Werth das Mittel aus 4, beim Stickstoff aus 2, beim Kohlenoxyd aus 3, beim Stickstoffoxydul aus 2, und bei der Kohlensäure aus 3 Versuchen.

Jetzt wollen wir unsere eigenen Versuche auseinandersetzen. Durch einen gasometrischen Apparat, ähnlich dem von Delaroche und Bérard <sup>2)</sup>, ward unter

1) Der einzige Unterschied besteht darin, daß Hr. Gay-Lussac  $p - e'$  statt  $p$  annimmt.

1) *Journ. de phys. T. LXXXV p. 72.*

einem constanten Druck ein Gasstrom hervorgebracht, und dasselbe Gas, nachdem es zu dem Versuch gedient hatte, mit einem anderen Gasometer unter constantem Druck aufgefangen. Da indess die Versuche so geleitet waren, dafs der Inhalt eines einzigen Gasometers, welcher 38 Liter betrug, zu jedem derselben hinreichte, so liefs man, nach diesem, das Gas aus dem zweiten Gasometer in den ersten zurückströmen, um den Versuch für eine gewisse Zahl von Malen zu wiederholen.

Die zuvor erwähnten Physiker hatten das Gas in Blasen eingeschlossen, die in mit den Gasometern communicirende Glasballons gebracht waren, um die Absorption des Gases durch Wasser und dessen Mischung mit Luft zu verhüten. Da dieses Mittel meinen Apparat zu verwickelt gemacht haben würde, so füllte ich die Reservoirs mit einer sehr concentrirten Lösung von Kochsalz, einem Salze, welches die Absorptionsfähigkeit des Wassers bedeutend verringert. Ich habe mich versichert, dafs Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Kohlenoxydgas und selbst Stickstoffoxydulgas bei mehrmaliger Durchleitung durch diese Lösung nur eine sehr schwache Portion Luft enthalten. Ueberdies nahm ich die Sorgfalt, ehe ich mit einem Gase wechselte, diese Salzlösung stark zu kochen, um alle darin enthaltenen Gas- oder Lufttheilchen auszutreiben.

Da es für diese Versuche wesentlich ist, dafs das Gas vollkommen trocken sey, so ging dieses, nach dem Austritt aus dem Gasometer, erstlich auf den Boden einer grossen Woulff'schen Flasche, die mit concentrirter Schwefelsäure, und, um die austrocknende Oberfläche zu vergröfsern, mit Glasstücken gefüllt war, und darauf durch einen 90 Decimeter langen und 73 Millim. weiten Cylinder, der Chlorcalcium enthielt. Sonach von allem Wasserdampf befreit, wurde es in eine gekrümmte Weifsblechröhre von 22 Centim. geleitet. Jeder senkrechte Schenkel dieser Röhre enthielt ein vortreffliches

Greiner'sches Thermometer, dessen Skale, an dem man noch  $\frac{1}{32}^{\circ}$  C. sehr scharf ablesen konnte, zum Apparat herausragte. Die Kugeln dieser Thermometer waren so gestellt, daß sie nicht auf einander einwirken konnten. Das erste Thermometer diente zur Bestimmung der Temperatur des Stroms bei seinem Austritt aus dem Trocken-Apparat; das andere, dessen Kugel mit Battist umhüllt war, konnte mittelst einer Schraube nach Belieben abgetrennt werden, was nöthig war, um die Kugel von Zeit zu Zeit zu befeuchten. Da der innere Druck verstärkt wurde, so daß, während des Oeffnens der Schraube, etwas Gas entweichen mußte, so war man sicher, daß beim nachherigen Verschließen keine Luft in den Apparat drang. Ein zwischen beiden Thermometern befindliches Manometer zeigte den Druck des Stromes an.

Um die stationäre Temperatur des benetzten Thermometers mit der größten Genauigkeit zu erhalten, befolgte man die gewöhnliche Methode der auf- und absteigenden Reihen; man erkaltete zunächst das feuchte Thermometer bis etwas unter die gesuchte Temperatur, und beobachtete dann, nach dessen Einführung in die Röhre, die Anwüchse der Temperatur zu festgesetzten Zeitpunkten. Wenn die Temperatur beinahe stationär geworden, unterbrach man für einen Augenblick den Strom durch Verschließen des Hahns. Alsdann begann, vermöge der Wärmestrahlung der Hülle, das Thermometer zu steigen; so wie es die feste Temperatur etwas überschritten hatte, öffnete man wieder den Hahn, so daß man, bei abermaligen Beobachtungen in denselben Zeitintervallen, eine absteigende Reihe erhielt. Der Mittelwerth aus beiden End-Temperaturen stellt sehr genau die gesuchte Gröfse dar. Indefs, da für gewöhnlich die Coïncidenz vollkommen war, so begnügte ich mich meistens mit einigen Beobachtungen aus aufsteigenden Reihen, und einigen anderen aus absteigenden Reihen, und suchte dann nach ihnen das Mittel.

Bei meinen ersten Versuchen zeigte sich mir ein ziemlich großer Unterschied zwischen der beobachteten und der nach Gay-Lussac's Theorie berechneten Verdunstungskälte. Die Erfahrung gab immer weit weniger als die Rechnung. Allein bald gewährte ich, daß beide um so besser stimmten, je rascher der Luftstrom war. Da nun die Menge des gebildeten Dampfes und die Geschwindigkeit des Stroms gleichzeitig wachsen, so kann diese an sich nicht auf die stationäre Temperatur einwirken, indem die von der einen Seite absorbirte Wärme dieselbe bleibt wie die von der andern gelieferte. Mithin entspringt der Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung aus einer anderen Quelle, und in Wahrheit findet sie ihre ganz natürliche Erklärung in der Strahlung der Hülle, welche die Thermometer umgiebt. Die Wärmemenge welche diese innerhalb gegebener Zeit zur Bildung von Wasserdampf hergiebt, hängt nur ab von dem Temperaturunterschied zwischen der Röhre und dem Thermometer. Die Wärmemenge dagegen, welche in derselben Zeit die Luft an den sich bildenden Dampf abgibt, wächst mit der Menge dieses Dampfes, und also auch mit der Geschwindigkeit des Stroms, und daraus folgt, daß der Effect der Strahlung abnimmt mit dieser Geschwindigkeit.

Wir haben lange nach einem Mittel gesucht, diese Einwirkung der Röhre zu berechnen. Den absoluten Effect kann man freilich erfahren, wenn man die Schnelligkeit der Erkaltung in der luftleeren Hülle bestimmt; allein da es unmöglich ist, die in gegebener Zeit sich bildende Dampfmenge auszumitteln, und man folglich die von ihr absorbirte absolute Wärmemenge nicht kennt, so war ich genöthigt bis jetzt auf diese Rechnung zu verzichten, wie interessant sie auch seyn mag für die Lösung des uns beschäftigenden Problems.

Um uns der Wahrheit möglichst zu nähern, haben wir die Geschwindigkeit des Stroms so viel vergrößert  
als

als es die Natur unserer Apparate erlaubte. Zu dem Ende haben wir das Reservoir in das Stockwerk über unserem Laboratorium gebracht, ähnlich wie es Delaroché und Bérard zur Bestimmung der specifischen Wärme der Luft für hohe Drucke thaten. Um indess diese Erhöhung des Drucks zu vermeiden, haben wir an dem Gasometer, welches das Gas nach dem Versuche aufnahm, gewissermaßen eine Saugkraft angebracht, indem wir den Schenkel des Hebers, durch welchen die Flüssigkeit abfloß, verlängerten. Dadurch haben wir erlangt, daß das zwischen beiden Thermometern befindliche Manometer während der Beobachtung nicht schwankte, so daß das sehr sorgfältig beobachtete Barometer genau den Druck des Stromes anzeigte. Ueberdies konnte man mittelst des zwischen dem Reservoir und dem Gasometer befindlichen Hahns die zufälligen Unterschiede des Drucks reguliren, so daß dieser während der Dauer der Beobachtung ganz constant blieb. Die Stromgeschwindigkeit, welche ich hiedurch erreichte, betrug 50 Liter in 10 Zeitminuten.

Es folge hier nun die Uebersicht der auf die beschriebene Weise angestellten Versuche. Die Gase dazu wurden mit aller Sorgfalt von Hrn. van Setten bereitet, einem sehr geschickten Chemiker, den ich mit Vergnügen hier namhaft mache. Um die Röhren und die Trokken-Apparate zu füllen, machte ich sie mehrmals luftleer. Endlich wurde die Wärmecapacität berechnet nach der Formel:

$$c = \frac{5e'(650 - t')}{8s(t - t')(p - e')},$$

in der die Buchstaben die oben angezeigten Werthe bedeuten <sup>1)</sup>: Ich habe geglaubt einen allgemein begangenen Fehler zu vermeiden, indem ich für die latente

1) Er ist nämlich  $s$  (wofür im französischen Original immer die Ziffer 5 steht) das specifische Gewicht des Gases, und  $\frac{5}{8}$  das des Wasserdampfs. (Vergl. Ann. Bd. XXXIX S. 523.) P.



Wärme des Dampfs, statt der constanten Zahl 550°, welche diese Wärme für 100° C. ausdrückt, die veränderliche Gröfse  $650 - t'$  nahm, weil nicht die latente Wärme des Wasserdampfs eine bei jeder Temperatur constante Gröfse ist, sondern die absolute Wärmemenge desselben, d. h. die Summe seiner latenten und seiner fühlbaren Wärme.

Atmosphärische Luft  $s=1,0000$ .

1	778,166	23,875	8,781	15,094	8,790	0,3033
2	762,519	21,719	7,531	14,188	8,135	0,3052
3	758,227	21,219	7,156	14,063	7,947	0,3053
4	762,621	21,000	7,156	13,844	7,947	0,3056
5	762,621	21,000	7,156	13,844	7,947	0,3056
6	761,503	22,187	7,687	14,500	8,215	0,3019
7	752,867	20,687	6,875	13,812	7,810	0,3050
8	759,649	19,531	6,250	13,281	7,511	0,3025
9	752,131	17,906	5,350	12,656	7,056	0,3015
10	752,131	18,094	5,281	12,813	7,069	0,2984
11	762,621	21,250	7,250	14,000	7,994	0,3040
12	762,621	21,000	7,062	14,000	7,910	0,3008

Sauerstoff  $s=1,1026$ .

1	774,965	18,500	5,875	12,625	7,337	0,2764
2	755,585	18,500	5,750	12,750	7,280	0,2786
3	754,849	18,625	5,719	12,706	7,267	0,2751
4	754,849	18,875	5,906	13,969	7,352	0,2769
5	755,585	19,000	5,844	13,156	7,323	0,2716
6	755,585	18,865	5,875	13,000	7,337	0,2764
7	755,585	10,094	5,969	13,125	7,381	0,2744
8	753,960	19,156	5,969	13,187	7,381	0,2724
9	753,960	19,000	5,969	13,031	7,381	0,2737

Wasserstoff  $s=0,0688$ .

1	749,362	17,875	7,500	10,375	8,119	6,1719
2	759,802	17,312	7,250	10,062	7,994	6,1698
3	759,548	17,437	7,281	10,156	8,009	6,1263
4	758,252	17,500	7,344	10,156	8,041	6,1613
5	757,770	17,500	7,344	10,156	8,041	6,1651
6	762,418	17,500	7,500	10,000	8,119	6,2823
7	761,630	17,875	7,719	10,156	8,231	6,2764
8	757,236	18,031	7,750	10,281	8,244	6,2467
9	752,334	18,250	7,844	10,406	8,294	6,2490

Kohlenoxyd  $s=0,9678$ .

1	769,83	22,500	7,781	14,719	8,262	0,3057
2	771,689	22,875	8,094	14,781	8,424	0,3095
3	758,938	22,750	8,031	14,719	8,391	0,3149
4	786,827	21,250	7,531	13,719	8,134	0,3168
5	776,718	21,125	7,312	13,812	8,025	0,3137
6	771,783	23,115	8,157	14,968	8,457	0,3148

Stickstoffoxydul  $s=1,5269$ .

1	762,443	21,250	7,844	13,406	8,294	0,2156
2	755,941	20,875	7,875	13,000	8,311	0,2248
3	769,403	20,625	7,750	12,875	8,246	0,2312
4	758,887	20,781	7,875	12,906	8,311	0,2255
5	754,645	20,875	8,000	12,875	8,375	0,2290
6	753,909	20,625	7,812	12,812	8,278	0,2278

Kohlensäure  $s=1,5245$ .

1	759,344	20,000	7,406	12,594	8,072	0,2247
2	753,629	20,562	7,250	13,312	7,994	0,2112
3	757,973	20,250	7,219	13,031	7,979	0,2151
4	757,719	19,312	6,969	12,343	7,355	0,2237
5	759,294	19,500	6,875	12,625	7,810	0,2170
6	766,329	19,250	6,875	12,375	8,810	0,2194
7	768,234	20,375	7,000	13,375	7,871	0,2040
8	759,929	20,000	7,094	12,906	7,947	0,2150

Da die Versuche sehr übereinstimmen, so erlaube ich mir, daraus, nach den nöthigen Berichtigungen, die Mittelwerthe abzuleiten, und sie mit den Resultaten von Delaroche und Bérard und denen von Apjohn zu vergleichen. Indefs ist es gut zu bemerken, dafs ich, wegen des unvermeidlichen Fehlers, mit denen sie alle behaftet sind, nur in sofern grofsen Werth auf die gefundenen Zahlen lege, als sie dazu dienen, hinsichtlich der eingeschlagenen und der uns beschäftigenden Fragen einige allgemeine Resultate abzuleiten.

	Specifiche Wärme, verglichen mit der					
	des Wassers nach den Versuchen von			der Luft bei gleichen Volumen, nach den Versuchen von		
	Delaroché und Bérard.	uns.	Apjohn.	Delaroché und Bérard.	Apjohn.	uns.
Luft . . . . .	0,2669	0,3046	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Sauerstoff . . . . .	0,2361	0,2750	0,9765	0,9954	0,8848	0,9028
Wasserstoff . . . . .	0,2936	6,1892	0,9033	1,5979	12,3401	20,3191
Stickstoff . . . . .	0,2754	0,3135	1,0000	1,0005	1,0318	1,0293
Kohlenoxyd . . . . .	0,2884	0,3123	1,0340	0,9923	1,0805	1,0253
Stickstoffoxydul	0,2369	0,2240	1,3503	1,1229	1,8878	0,7354
Kohlensäure . . . . .	0,2210	0,2124	1,2585	1,0146	0,8280	0,6975

Vergleichen wir die beiden ersten Spalten dieser Tafel unter sich, so sehen wir, dafs, mit Ausnahme zweier Werthe, alle von uns gefundenen zu grofs sind. Diefs rührt ohne Zweifel von der Strahlung der Hülle her, in welche die Thermometer eingeschlossen waren; denn diese strebt die Verdunstungskälte zu vermindern, d. h. da diese Kälte sich gemäfs der Formel umgekehrt wie die specifische Wärme verhält, so strebt die Strahlung dahin, die specifische Wärme zu grofs zu machen.

Dieser Fehler mufs nothwendig auf alle Gase einwirken, doch wirkt sie nicht auf alle gleichmäfsig. Kann man diese Ungleichheit durch eine von der Natur der Theilchen abhängige verschiedene Beweglichkeit der Gase ableiten? einer vorzüglich von *Dulong* bezeichneten Fehlerquelle, welche die meisten Versuche über die specifische Wärme der Gase erschwert. In der That ertheilt diese Eigenschaft den Gasen ein verschiedenes Erkaltungsvermögen; so dafs die Verdunstung z. B. in Wasserstoffgas schneller geschieht, als in Kohlensäure, die Verdunstungskälte der letzteren verhältniſsmäfsig kleiner seyn mufs, als die des ersteren. Da die berechnete specifische Wärme im umgekehrten Verhältniſs der beobachteten Kälte steht, so wird man also nach der ungleichen Beweglichkeit der Gase erwarten dürfen, die specifische Wärme des Wasserstoffgases zu klein, die des Stickstoffoxyduls zu grofs zu finden. Allein die Erfahrung giebt ein entgegengesetztes Resultat, und daraus folgt, dafs diese Eigenschaft bei der Erklärung der gefundenen Resultate wenig in Betracht kommt.

Wie mir scheint, giebt die Strahlung der Hülle auch hier noch ganz einfach die Erklärung der erhaltenen Unterschiede. In Wirklichkeit war die Geschwindigkeit des Stroms für alle Gase gleich; allein wegen des Unterschiedes in ihrer Dichtigkeit war die Gasmenge, welche in einer gegebenen Zeit durchströmte, nicht gleich; sie betrug z. B. in 7,5 Minuten bei der atmosphärischen

Luft 49,38 Grm., beim Wasserstoffgase 3,40 Grm., und bei der Kohlensäure 75,28 Grm. Mithin müßte die Dampfmenge, welche sich durch Erkaltung des Wasserstoffgases bilden konnte, weit kleiner seyn, als die, welche durch ein gleiches Volum Kohlensäure gebildet würde, und folglich müßte der Effect der Strahlung im ersten Falle größer seyn als im letzteren. Daraus folgt, daß beim Wasserstoffgase die berechnete spezifische Wärme mehr von der Wahrheit abweichen muß, als bei den Gasen von größerer Dichtigkeit.

Lassen sich unsere Versuche erklären, wenn man annimmt, wie es von Hrn. Haycraft <sup>1)</sup> und später von den HH. De la Rive und Marcet <sup>2)</sup> geschehen, daß alle Gase bei gleichem Volum eine gleiche spezifische Wärme haben? In diesem Fall würde die Verdunstungskälte nothwendig dieselbe seyn in allen Gasen, was aber den Versuchen geradezu widerspricht. Allein ließen sich die beobachteten Unterschiede noch erklären durch die ungleiche Gasmenge, die bei gleicher Geschwindigkeit des Stroms in einer gegebenen Zeit durchstreichen? Beim Wasserstoffgase ist dieses, obwohl der Unterschied etwas groß, doch möglich, weil dieses Gas nur eine geringe Dichtigkeit besitzt, und in diesem Fall würden die Versuche das Dulong'sche Gesetz <sup>3)</sup> bestätigen, daß die einfachen Gase bei gleichem Volum eine gleiche spezifische Wärme besitzen. Beim Kohlenoxyd ist der Unterschied sehr klein; allein bei den beiden andern zusammengesetzten Gasen steigt er dermaßen, daß wir in Betracht ihrer größeren Dichtigkeit glauben, unsere Versuche erlauben nicht die Annahme des oben erwähnten Gesetzes.

Wir haben noch eine andere Art von Versuch ge-

1) Gilb. Annalen, Bd. LXXVI S. 289.

P.

2) Dies. Annalen, Bd. XVI S. 340.

P.

3) Dies. Annalen, Bd. XVI S. 476.

P.

macht, welche dazu dienen kann, nach demselben Princip die specifische Wärme der atmosphärischen Luft bei verschiedenen Drucken, kleiner als der gewöhnliche der Atmosphäre, zu bestimmen. Der dazu angewandte Apparat besteht aus vier doppelhalsigen Woulf'schen Flaschen, vereinigt auf gewöhnliche Weise durch Glasröhren, und zum Theil gefüllt mit concentrirter Schwefelsäure und Glasstücken, um zu starke Stöße der Flüssigkeit beim Durchgang des Luftstroms zu verhüten und die trocknende Wirkung zu erhöhen. Die Röhre, welche die Luft auf den Boden der ersten Flasche leitet, ist versehen mit einem Hahn, welchen man zur Regulirung der in gegebener Zeit durchstreichenden Luft mehr oder weniger öffnet. Die Röhre, welche aus der ersten Flasche führt, leitet die wohl getrocknete Luft in einen gekrümmten Cylinder von Weisblech von gleicher Form und denselben Dimensionen, wie der bei den ersten Versuchen. Der Cylinder enthält eben so zwei Thermometer, ein festes zur Ermittlung der Temperatur des Stroms, und ein anderes abzuschraubendes mit benähter Kugel, so wie ein Manometer, zur Kenntnissnahme des Drucks. Eine Luftpumpe wirkt am andern Ende des Cylinders und erregt einen Luftstrom, welcher durch den Hahn eintritt, beim Durchgang durch die Flasche mit Schwefelsäure austrocknet, und so in den Cylinder gelangt. Da die Luftpumpe in dem Cylinder, wo die Beobachtung geschieht, ein momentanes Vacuum zu machen sucht, so ist es zweckmäfsig, diesen zwischen den beiden Reservoirs anzubringen, durch welche der Strom geht. Um diesen ganz constant zu machen; vergrößerte ich den Körper der Pumpe noch durch eine Glocke und eine dritte Flasche, welche ich von den übrigen durch eine Schicht Quecksilber trennte, durch die die aus dem Cylinder gezogene Luft zu gehen genöthigt war.

So erhielt ich einen trocknen Luftstrom unter einem Druck geringer als der der Atmosphäre. Wenn

man dann die Luftpumpe mit constanter Geschwindigkeit wirken läßt, was mittelst eines Metronoms leicht geschieht, so hat dieser Luftstrom einen constanten Druck, wie die gleichzeitige Beobachtung des Barometers und Manometers erweist. Läßt man die Pumpe fortwährend mit derselben Geschwindigkeit wirken, schließt aber den Hahn mehr und mehr, so erhält man Ströme von stufenweise geringeren, aber für jede Stellung des Hahns constanten Druck. Auf diese Weise sind die folgenden Versuche von 691,10 Millimet. bis 319,63 Millimet. Druck gemacht. Die Stromgeschwindigkeit war weit größer als bei den früheren Versuchen, nämlich 20 Liter in jeder Minute. Daraus folgt, daß sie der Wahrheit näher kommen, und daß es jedenfalls nicht erlaubt ist, die beiden Reihen mit einander zu verknüpfen.

No.	Druck der Ströme.	Temperatur		Verdunstungs- kälte.	Elasticität des gebilde- ten Wasserdampf.	Specifische Wärme		Unterschied.
		der Ströme.	der verdunstenden Fläche.			nach Beobachtung.	nach Berechnung.	
1	691,10	21°,250	6°,031	15°,219	7,409	0,2866	0,2866	+0,0002
2	690,49	21,312	6,062	15,250	7,423	0,2869	0,2868	-0,0001
3	683,20	20,750	5,750	15,000	7,280	0,2891	0,2872	-0,0019
4	639,21	21,438	5,594	15,814	7,210	0,2900	0,2895	-0,0005
5	620,24	21,594	5,469	16,125	7,153	0,2915	0,2905	-0,0010
6	568,34	21,656	4,812	16,844	6,885	0,2927	0,2936	+0,0009
7	560,75	21,687	4,686	17,000	6,811	0,2917	0,2941	+0,0024
8	556,60	20,875	4,250	16,625	6,626	0,2925	0,2943	+0,0018
9	514,55	21,562	4,187	17,375	6,604	0,3018	0,2970	-0,0048
10	508,86	21,750	4,031	17,719	6,535	0,2964	0,2974	+0,0010
11	467,07	20,750	2,937	17,813	6,099	0,3004	0,3004	0,0000
12	434,18	21,625	2,750	18,876	6,028	0,3017	0,3029	+0,0012
13	424,68	21,750	2,594	19,156	5,969	0,3011	0,3037	+0,0026
14	381,02	20,938	1,469	19,469	5,557	0,3081	0,3075	-0,0006
15	375,96	20,750	1,250	19,500	5,479	0,3075	0,3079	+0,0004
16	339,87	21,500	0,750	20,750	5,308	0,3103	0,3114	+0,0011
17	320,90	21,594	0,406	21,188	5,192	0,3151	0,3134	-0,0017
18	319,63	20,750	0,000	20,750	5,859	0,3149	0,3136	-0,0013



Hieraus folgt, daß die specifische Wärme der Luft zunimmt mit der Abnahme des Drucks. Indefs ist diese Zunahme nicht sehr stark, da sie bei einer Verringerung des Drucks von wenigstens auf die Hälfte nur ein Zehntel der gesammten Gröfse ausmacht. Jedoch muß man auf die vorhin erwähnten Fehlerquellen Rücksicht nehmen. Beim achtzehnten Versuch ist die Gewichtsmenge Luft, welche in gegebener Zeit durchstreicht, noch nicht die Hälfte von der Masse beim ersten Versuche. Mit hin sind die Werthe der specifischen Wärme bei geringeren Drucken noch zu groß gegen die übrigen. Allein diesem Effect wirkt eine andere Ursache entgegen, welche ohne Zweifel die erstere überwiegt, das ist die Zunahme der Verdunstungsgeschwindigkeit bei geringerem Druck, welche ihr Maximum im Vacuo erreicht. So finden wir denn hier wiederum einen analogen Effect, wie den, welcher von der verschiedenen Natur der Gase abhängt, nämlich daß die Beweglichkeit der Luft mit der Abnahme des Druckes zunimmt. Diese Ursache macht, daß die Werthe der specifischen Wärme der Luft bei geringeren Drucken zu klein sind gegen die übrigen.

Wir bedauern, daß es keine anderweitigen Resultate giebt, mit denen wir unsere Resultate vergleichen könnten. Sehen wir indefs, wie diese mit der von Hrn. Poisson <sup>1)</sup> gegebenen analytischen Formel übereinstimmen. Nennt man  $\gamma$  die specifische Wärme bei constantem Druck, die  $p$  entspricht,  $c$  die, welche  $P$  entspricht, und  $k$  das Verhältniß der specifischen Wärme bei constantem Druck zu der bei constantem Volum, so hat man nach diesem berühmten Mathematiker:

$$\gamma = c \left( \frac{P}{p} \right)^{1 - \frac{1}{k}}.$$

Mit Anwendung der allgemein angenommenen Werthe findet man hienach:

1) Gilb. Annalen, Bd. LXXVI S. 269.

$$\gamma = 0,2669 \sqrt[3.4]{\frac{760}{p}},$$

woraus sich ergibt:

$p = 760$ Millim.	$\gamma = 0,2669$	$p = 500$ Millim.	$\gamma = 0,3018$
700 -	0,2734	450 -	0,3111
650 -	0,2794	400 -	0,3222
600 -	0,2860	350 -	0,3350
550 -	0,2935	300 -	0,3505

Vergleicht man diese Werthe mit denen, welche wir gefunden haben, so sieht man, dafs sie in einem weit stärkeren Verhältnifs wachsen, so dafs, mit einem Druck von 550 Millimeter angefangen, die berechneten specifischen Wärmen die von uns beobachteten übertreffen. Nun ist gewifs, dafs, was für Fehler unsere Methode auch mit sich führen mag, sie doch, wegen der Strahlung der Hülle, immer die specifische Wärme zu grofs giebt. Mitbin sind, nach unseren Versuchen, die von der Analyse gegebenen Werthe unmögliche Gröfsen.

Weniger um das Gesetz der Veränderungen der specifischen Wärme bei Verschiedenheit des Drucks zu bestimmen, ein Gesetz, welches unsere Methode bisher nicht kennēn zu lehren vermochte, als vielmehr um die Richtigkeit unserer Versuche zu prüfen, haben wir eine von Hrn. Clapeyron <sup>1)</sup> nach sehr sinnreichen Grundsätzen aufgestellte Formel angewandt. Diese Formel ist folgende:

$$\gamma = A - B \log . p,$$

wo  $a$  und  $b$  unbekannte Functionen blofs von der Temperatur, und demgemäfs bei unseren Versuchen fast constant sind. Wenn man nun diese nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so findet man:

$$\gamma = 0,5139 - 0,7998 \log p,$$

woraus für  $p = 760$  folgt  $\gamma = 0,2835$ , ein Werth, der

1) *Journ. de l'Ecole polytechn. cah. 23, T. XIV, 1834, p. 170.*

sich weit mehr als der aus unseren ersteren Versuchen der Wahrheit nähert. Vergleicht man nun die nach dieser Formel berechneten Werthe mit den unmittelbar aus dem Versuch abgeleiteten, so sieht man, daß sie sich denselben auffallend nähern. Der wahrscheinliche Fehler, d. h. die Zahl, unterhalb welcher der Fehler in der Bestimmung mit gleicher Leichtigkeit fallen kann, berechnet nach der Methode der kleinsten Quadrate, beträgt 0,0013 für jede Beobachtung, 0,0070 für den Coëfficient *A* und 0,0026 für den Coëfficient *B*.

Mit Hülfe einer doppelten Compressionspumpe, welche die Luft durch die Woulf'schen Flaschen treibt, könnte man, wenn man den Hahn an der anderen Seite des Cylinders anbrächte, die nämlichen Versuche für Drucke größer als der der Atmosphäre wiederholen. Es würde leicht seyn, den Hahn so einzurichten oder ihn durch eine Schraube zu ersetzen, daß man den Druck des Stroms sehr langsam ändern könnte. Bei Fortnahme des Hahns könnte man die Versuche über die Verdunstungskälte, unter dem atmosphärischen Druck, bei verschiedenen Temperaturen wiederholen; allein aus Mangel an den dazu erforderlichen Apparaten mußte ich auf diese Arbeit verzichten.

---

### III. *Beobachtungen über das Gefrieren;* *von Despretz.*

(*Compt. rend.* 1837, II, p. 19.)

---

#### 1) Schwankung des Gefrierpunktes.

Ich habe früher gezeigt, daß der Gefrierpunkt einer jeden Lösung ein unveränderlicher Punkt ist, und daß dasselbe auch von mehreren festen Körpern gilt, mit denen ich experimentirt habe.