

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 44**

**Das Ausdehnungsgesetz
der Gase**

Abhandlungen

**Louis Gay-Lussac
John Dalton
Pierre Dulong
u.a.**

Verlag Harri Deutsch

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 44**

Verzeichnis der Autoren

L. J. Gay - Lussac
1778 - 1850

J. Dalton
1766 - 1844

P. L. Dulong
1785 - 1838

A. T. Petit
1792 - 1820

F. Rudberg
1800 - 1839

H. G. Magnus
1802 - 1870

H. V. Regnault
1810 - 1878

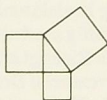
**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 44**

**Das Ausdehnungsgesetz
der Gase**

**Abhandlungen
(1802-1842)**

**Louis Gay-Lussac
John Dalton
Pierre Dulong
u.a.**

**Herausgegeben
von
Wilhelm Ostwald**



Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Das Ausdehnungsgesetz der Gase : Abhandlungen ; (1802 - 1842) /
Louis Gay-Lussac ; John Dalton ; Pierre Dulong u. a. Hrsg. von
Wilhelm Ostwald. - 2. Aufl. - Thun ; Frankfurt am Main : Deutsch,
1997

(Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften ; Bd. 44)
ISBN 3-8171-3044-9

ISBN 3-8171-3044-9

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren,
Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und
Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 1997

1. Auflage Engelmann Verlag, Leipzig

2. Auflage 1997

Druck: Rosch - Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz

Printed in Germany

I n h a l t.

	Seite
Gay-Lussac, Untersuchungen über die Ausdehnung der Gasarten und der Dämpfe durch die Wärme. (Mit 4 Figuren im Text.)	3
Dalton, John, Ueber die Ausdehnung der elastischen Flüssigkeiten durch Wärme	26
Dulong und Petit, Untersuchungen über die Ausdehnung der festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe, und über die genaue Messung der Temperaturen	31
Rudberg, F., Ueber die Ausdehnung der trocknen Luft zwischen 0° und 100° C. (Mit 3 Fig. im Text.)	41
— — — Zweite Reihe von Versuchen. (Mit 1 Figur im Text.)	62
Magnus, Gustav, Ueber die Ausdehnung der Gase durch die Wärme. (Mit 2 Figuren im Text.)	67
Regnault, V., Untersuchung über die Ausdehnung der Gase. Erster Theil. (Mit 13 Figuren im Text.)	86
— — — Zweite Abhandlung. (Mit 4 Figuren im Text.)	135
Regnault, V., Ueber den Vergleich des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer. (Mit 4 Figuren im Text.)	165
Magnus, Gustav, Ueber die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei höheren Temperaturen. (Mit 2 Figuren im Text.)	182
Anmerkungen	206

Untersuchungen
über die
Ausdehnung der Gasarten und der Dämpfe
durch die Wärme

von

Gay-Lussac,

Ingenieur-Schüler der École nationale des Ponts et Chaussées.

Erste Abhandlung.(Annales de Chimie, t. 43, an X.)

Erstes Capitel.

Gegenstand dieser Abhandlung.

Mehrere Physiker haben über die Ausdehnung der Gasarten durch Wärme Versuche angestellt; die Resultate ihrer Untersuchungen weichen aber so weit von einander ab, dass eine nochmalige genaue Untersuchung zu wünschen ist, wie dieses aus dem historischen Abrisse erhellt, den ich meinen eigenen Versuchen voranschiebe.

Die Ausdehnung der Dämpfe durch die Wärme hat die Physiker weniger als die der Gasarten beschäftigt, und *Ziegler* und *Bettancourt* [138] sind meines Wissens die Einzigen, welche versucht haben, die Ausdehnung der Wasserdämpfe durch Wärme zu messen. Ihre Versuche sind indess ebenfalls dazu nicht geeignet; denn da sich in ihren Apparaten Wasser befand, so wurde bei Erhöhung des Wärmegrades nicht bloss der schon vorhandene Dampf stärker ausgedehnt, sondern auch die Masse des Dampfes durch neue sich bildende Wasser-

dämpfe vermehrt, daher in ihren Apparaten das Manometer zu grosse Quecksilberhöhen zeigen musste*).

Das Thermometer giebt, wie es jetzt ist, [139] nicht die Verhältnisse der Wärme selbst an; denn noch weiss man nicht, wie die Thermometergrade mit den wahren Wärmegraden zusammenhängen. Zwar nimmt man gewöhnlich an, dass gleiche Theile der Thermometerscale gleiche Zunahme in der Tension des Wärmestoffs anzeigen; allein diese Meinung gründet sich auf keine recht bewährte Thatsache.

Es fehlt daher noch viel daran, dass wir die Ausdehnbarkeit der Gasarten und der Dämpfe und den Gang des Thermometers mit Zuverlässigkeit kennten. Und doch kommt es uns fast täglich vor, Gasvolumina von einer gegebenen Temperatur auf eine andere Temperatur zu reduciren; Wärme, welche bei Veränderung des Aggregatzustandes oder der Temperatur eines Körpers entbunden oder verschluckt wird, zu messen; den Effect der Dampfmaschinen und die Ausdehnung verschiedener Materien durch Wärme zu berechnen; die Menge des in der Luft aufgelösten Wassers, die sich nach der Temperatur und Dichtigkeit der Luft auf eine noch unbekannte Art richtet, zu schätzen, und zum Behufe der astronomischen Strahlenbrechung [140] oder der Höhenmessungen durch das Barometer die Temperatur der Luft und die Gesetze ihrer Dilatation auf das genaueste zu wissen.

Von so ausgebreitetem Nutzen Untersuchungen über diese Materie daher auch sind, so würde mich doch die grosse Schwierigkeit solcher Versuche abgehalten haben, mich an sie zu wagen, wäre ich nicht vom Bürger *Berthollet*, dessen Schüler zu sein ich mich rühmen darf, dazu auf das

*) Der Apparat von *Bettancourt* besteht aus einem kupfernen Kessel, geschlossen mit einem Deckel aus gleichem Metall, durch welchen drei Röhren gehen. Die erste dient zur Einführung des Wassers in den Kessel; durch die zweite geht der Stiel eines Thermometers, welches die Temperatur des Wassers angeben soll, und an der dritten ist eine umgebogene manometrische Röhre befestigt, welche die Elasticität des Dampfes zu messen bestimmt ist. Man stellt im Kessel ein Vacuum mittelst einer Luftpumpe her, die mit ihm durch eine Röhre mit Hahn in Verbindung gesetzt wird. Der Apparat von *Ziegler* ist von dem *Bettancourt's* wenig verschieden, doch hat *Ziegler* nicht wie *Bettancourt* seinen Kessel luftleer gepumpt, woraus ein sehr grosser Unterschied ihrer Versuche und Resultate folgt (*Architecture hydraulique de Prony*, T. II).

stärkste ermuntert worden. Ihm verdanke ich die Mittel, diese Arbeit auszuführen, und er sowohl als der Bürger *Laplace* haben mich im Laufe derselben häufig mit ihrem Rathe unterstützt. Diese grossen Autoritäten werden das Zutrauen vermehren, das meine Arbeit selbst einflössen möchte.

Die Untersuchungen, welche ich über die Ausdehnung der Gasarten und der Dämpfe durch die Wärme und über den Gang des Thermometers unternommen habe, sind noch nicht vollendet. Ich werde daher in diesem Aufsatze lediglich von der Ausdehnung der Gasarten und der Dämpfe bei einerlei gegebener Temperaturerhöhung handeln, und zu beweisen suchen, dass diese Ausdehnung für alle diese Flüssigkeiten ganz gleich ist.

Bevor ich jedoch von meinen Versuchen Rechenschaft gebe, glaube ich einen historischen Abriss dessen, was man bisher über diesen Gegenstand gearbeitet hat, mittheilen zu müssen; und da ich hierzu gleichzeitig einige Bemerkungen [141] über die angewendeten Mittel hinzufüge, schicke ich die Erörterung einer der wesentlichen Ursachen der Unsicherheit voraus, welche bei solchen Versuchen auftreten kann. Obwohl sie sehr wichtig ist und der Mehrzahl der Physiker, welche sich mit der Ausdehnung der Gase befasst haben, unbekannt geblieben zu sein scheint, genügt es doch, sie zu nennen, um ihren ganzen Einfluss deutlich zu machen. Was ich von der atmosphärischen Luft sagen werde, findet seine Anwendung auch auf die anderen Gase. Diese Ursache liegt in der Gegenwart von Wasser in den Apparaten. Befinden sich auch nur einige Wassertropfen in einem Ballon voll Luft, dessen Temperatur bis zum Siedepunkte des Wassers erhöht wird, so nehmen sie in dieser Temperatur, als Dampf, einen ungefähr 1800 mal grösseren Raum als zuvor ein, und treiben dadurch einen grossen Theil der Luft aus dem Ballon. Ziehen sie sich dann beim Condensiren wieder in einen 1800 mal kleinern Raum zurück, so scheint es, wenn man hierauf Rücksicht zu nehmen vergisst, als habe der Luftrückstand in der Temperatur des Siedepunktes den ganzen Ballon eingenommen, und bei Verminderung dieser Temperatur sich viel stärker zusammengezogen, als das wirklich der Fall ist. [142] Dasselbe findet verhältnissmässig statt, wenn man die Luft nur bis zu mindern Temperaturen erhitzt und dann wieder erkalten lässt. Die Luft löst eine desto grössere Menge Wasser auf, je mehr ihre Temperatur erhöht wird, und dehnt sich

dadurch in ihrem Umfange aus, so dass sie bei Verminderung ihrer Temperatur nicht bloss wegen Verlustes an Wärmestoff, sondern auch wegen Verlustes an Wasser, das sie aufgelöst enthielt, sich zusammenzieht. Auch in diesem Falle erhält man daher eine zu grosse Dilatation. Ueberhaupt erhält man jedesmal eine irrige Ausdehnung für eine Gasart durch Wärme, wenn sich im Apparate, worin sie gesperrt ist, Flüssigkeiten, oder selbst feste Körper befinden, die, gleich Salmiak, in ihr sich auflösen oder verdampfen können.

[143] Zweites Capitel.

Historischer Abriss der älteren Arbeiten über die Ausdehnung der Gase.

Dass die atmosphärische Luft beim Erwärmen ausgedehnt wird, war zwar lange vor *Amontons* bekannt; er scheint aber der Erste gewesen zu sein, der die Grösse dieser Ausdehnung für eine gegebene Temperaturerhöhung zu messen suchte. Zu dem Ende schloss er die Luft in einer Kugel, die an das eine Ende eines umgekehrten Hebers gelöthet war, mit Quecksilber ab und tauchte diesen Apparat in ein heisses Wasserbad^{*)}. Die durch die Hitze ausgedehnte Luft drückte auf das Quecksilber und erhob es im zweiten Schenkel des Hebers, so dass er aus der Höhe des Quecksilbers über seinen Stand in der Kugel die Spannung der Luft entnehmen konnte. Aus mehreren solchen Versuchen mit Lufträumen von verschiedener Grösse (*Mém. de l'Acad.* 1699. 1702) schliesst er, [144] 1. dass die Wärme des kochenden Wassers nie eine gewisse Grenze überschreite; 2. dass ungleiche Lufträume, bei gleichem Grade von Erwärmung, um gleich viel an Elasticität zunehmen, und umgekehrt; und 3. dass die Wärme des kochenden Wassers die Elasticität der Luft nur um so viel erhöhe, dass die Luft nur eine Quecksilbersäule von ungefähr 10 Zoll Höhe mehr als zuvor zu tragen vermag. Er zeigt darauf, dass die Hitze des kochenden Wassers die Elasticität

^{*)} Da die in der Kugel enthaltene Luft beim Eingiessen des Quecksilbers nicht entweichen kann, so ist sie darin etwas stärker zusammengedrückt, als im natürlichen Zustande; wünscht man aber keinen anderen Druck, als den der Atmosphäre, so kann man diesem kleinen Missstand leicht entgegen.

der Luft, diese sei noch so comprimirt, immer um etwa ein Drittel erhöhe, so dass z. B. Luft, die einschliesslich des Druckes der Atmosphäre durch 60 Zoll Quecksilber comprimirt ist, bei der Temperatur des kochenden Wassers eine Quecksilbersäule von ungefähr 80 Zoll Höhe zu tragen vermag. Und daraus schliesst er, »dass einerlei Wärmegrad, so klein er auch sei, die Kraft der Elasticität der Luft immer mehr zu vergrössern vermöge, je nachdem sie immer durch grössere Gewichte comprimirt ist«.

Wäre *Amontons* bei seinen Versuchen von einem genau bestimmten Wärmegrade, als dem, welchen er den temperirten nennt, ausgegangen (welches jedoch damals nicht wohl thunlich war), so liesse sich aus seinen Versuchen [145] die Ausdehnbarkeit der atmosphärischen Luft ziemlich nahe bestimmen. Da er sie indess mit Lufträumen von sehr verschiedener Dichtigkeit vergleichungsweise angestellt hat, so lässt sich aus ihnen wenigstens das schliessen, dass ein Luftvolumen durch gleiche Wärmegrade stets eine Zunahme an Elasticität erlange, welche bei allen Graden von Dichtigkeit derselben in gleichem Verhältnisse zu ihrer anfänglichen Elasticität steht.

Nuguet erhielt zwar ganz andere Resultate, als er *Amon-tons* Versuche wiederholte; in einem Versuche eine Ausdehnung bis zum 2fachen, in einem andern bis zum 16fachen Volumen der Luft, als er sie bis zur Hitze des kochenden Wassers erwärmte. Allein sein Apparat, der aus einer Flasche bestand, die er verkehrt in ein Wasserbad stürzte, dessen Temperatur dann allmählich bis zur Siedehitze erhöht wurde, war ausnehmend mangelhaft. Die Luft stand nicht nur über Wasser, sondern *Nuguet* hatte auch in der Flasche Wasser gelassen, daher es kein Wunder war, dass er so übertriebene Resultate erhielt, da, wie schon *Lahire* bemerkte, die sich bildenden Wasserdämpfe die Luft grösstentheils aus der Flasche treiben mussten. (Mém. de l'Acad., 1708. *Lahire*.)

Diese grosse Verschiedenheit in den Resultaten *Amontons'* und *Nuguet's* [146] und der Umstand, dass beide die atmosphärische Luft nicht ganz in dem Zustande behandelt hatten, worin sie sich gewöhnlich befindet, bestimmten *Lahire*, diese Untersuchung wieder aufzunehmen. Er bediente sich dabei derselben Geräthschaft als *Amontons*, nur dass er die Kugel des Luftthermometers noch mit einer kleinen Röhre versah,

die sich öffnen und wieder luftdicht verschliessen liess. Er öffnete sie beim Eingiessen des Quecksilbers in die Heber-
röhre und bewirkte dadurch, dass das Quecksilber in der
Röhre und Kugel in einerlei Niveau kam und dass nach Ver-
schliessen der Röhre die eingeschlossene Luft nicht stärker
als die äussere comprimirt war. Mit diesem Apparate fand
Lahire in einem Versuche, dass die Elasticität der Luft bei
Erwärmung vom Temperirten bis zur Hitze des kochenden
Wassers nicht ganz um ein Drittel zunehme. In einem zwei-
ten Versuche, den er bei niedrigerem Thermometer- und
höherem Barometerstande anstellte, nahm die Höhe der Queck-
silbersäule, als die Kugel sich im kochenden Wasser befand,
nicht um ganz so viel zu, als im ersten Versuche. Diese
beiden Versuche widersprechen sich; *Lahire*, der dabei keinen
Irrthum ahnte, schloss hieraus, man müsse gestehen, dass
man die Natur der Luft noch nicht kenne. — Um den
grossen Unterschied [147] zwischen seinen Ergebnissen und
denen von *Nuguet* zu erklären (welcher viel zu gross war,
um nicht einer fremden Ursache zugeschrieben zu werden),
bemerkte *Lahire*, dass *Nuguet* etwas Wasser in seinem Ap-
parate gelassen hatte; und hieraus schloss er, dass es dies
Wasser sein könnte, welches sich in Dampf verwandelt und
einen grossen Theil der Luft aus der Flasche getrieben habe,
wodurch die grosse Ausdehnung entstanden ist. Seine Mei-
nung wurde völlig bestätigt durch das Ergebniss eines nach
Nuguet's Art angestellten Versuches, wobei etwas Wasser in
der Flasche gelassen wurde; denn er fand, dass das Volum
der von mittlerer Temperatur bis zum Grade des siedenden
Wassers ausgedehnten Luft sich zum ursprünglichen Volum
verhielt wie $35\frac{1}{2}$ zu 1. (Mém. de l'acad. 1708.)

Auch zeigte um dieselbe Zeit *Stancari* in Bologna, dass
das Wasser das Volumen der Luft in etwas höheren Tempe-
raturen beträchtlich vermehrt. Wir verdanken daher diesen
beiden Physikern die wichtige Kenntniss des Einflusses, den
das Wasser auf die Ausdehnung der atmosphärischen Luft
hat; obgleich sie aber den Einfluss des Wassers auf die
Dilatation der Luft durch ihre Versuche auf das evidenteste
dargethan hatten, so wurde dieser Einfluss doch seitdem fast
allgemein übersehen, und diesem Umstande [148] ist die grosse
Verschiedenheit in den Resultaten der Versuche der folgenden
Physiker über die Ausdehnbarkeit der Luft durch Wärme
zuzuschreiben.

Es ist bekannt, dass die Höhen, zu denen man sich in der Luft erhebt, durch die Logarithmen der entsprechenden Barometerstände gegeben sind. Blicke die Dichtigkeit der Luft stets die gleiche, so wäre es leicht, die Höhe eines Punktes über einem anderen durch Beobachtungen des Barometers zu bestimmen. Es war somit wichtig, die Ursachen genau zu erkennen, welche auf die Dichte der Luft Einfluss haben können, um die nöthigen Correctionen an den durch das Barometer gegebenen Höhen anbringen zu können.

Deluc, welcher so viel Klarheit in diesen Theil der Physik gebracht hat, erkannte die Wärme als eine dieser Ursachen. Um ihre Wirkungen gut zu unterscheiden, begann er damit, dass er die Temperatur suchte, bei welcher die Logarithmen die Höhen ohne Correction geben. Durch den Vergleich verschiedener Beobachtungen in genau gemessenen Höhen fand er, dass dies für die Temperatur $16\frac{3}{4}$ des 80theiligen Thermometers stattfindet, welche er die fixe Temperatur nannte. Um infolge dessen die Wirkungen der Wärme über und [149] unter diesem fixen Punkte in Rechnung zu bringen, verglich er die aus den Logarithmen abgeleiteten Höhen mit den gemessenen, und indem er die Unterschiede gegen die letzteren der Wärme zuschrieb, schloss er, »dass in der Nähe der fixen Temperatur die Correction an der Höhe des Ortes für einen Thermometergrad $\frac{1}{215}$ beträgt.« (Rech. sur les modif. de l'atm. IV part. ch. III.)

Der Oberst *Roy* fand dagegen eine viel stärkere Ausdehnung der Luft. Nach ihm dilatirt sich die Luft bei einer Wärme von ungefähr 15° des 80-theiligen Thermometers für jeden Grad um etwa $\frac{1}{172}$ ihres Volums. Auch fand er, dass feuchte Luft sich viel stärker als trockene ausdehnt, indessen bemerkt *Saussure*, dass der Oberst *Roy* bei seinen Versuchen Wasser oder Wasserdämpfe in sein Manometer gebracht und dadurch zwei Wirkungen vermischt hat, welche getrennt werden mussten, nämlich die Umwandlung von Wasser in Dampf und die Ausdehnung der mit diesem Dampf vereinigten Luft. (Philos. Transact. 1777, p. 704.)

Saussure bestimmt die Ausdehnung der Luft von 6° R. Temperatur auf $\frac{1}{235}$ ihres Volums für jeden Grad der Réaumur'schen Scale. Er stellte seine Versuche in einem grossen Ballon an, in welchem sich ein Thermometer und ein Barometer befanden, um [150] die correspondirenden Veränderungen der Temperatur und der Elasticität der Luft zu messen. Um

den Einfluss des Wassers auf die Ausdehnung der Luft zu ergründen, brachte er Luft von verschiedenen Graden der Feuchtigkeit in den Ballon und suchte die Erzeugung neuer Dämpfe möglichst zu vermeiden. So fand er nicht nur, dass die feuchte Luft keineswegs stärker ausdehnbar als die trockene ist, sondern er glaubte selbst aus diesen Versuchen schliessen zu müssen, sehr trockene Luft sei ein klein wenig ausdehnbarer als sehr feuchte Luft, die ihr Wasser immerfort vollkommen aufgelöst hält. (*Essai sur l'Hygrométrie*, p. 108.)

Bis hierher hatten sich die Physiker bloss mit der Ausdehnung der atmosphärischen Luft beschäftigt. *Priestley* war der Erste, der auch die Ausdehnbarkeit der anderen Gasarten zu bestimmen suchte.

Zu dem Ende sperrte er die zu untersuchende Gasart in eine Flasche über Quecksilber, befestigte im Halse der Flasche eine heberförmig gekrümmte Röhre, deren einer Schenkel nur einen kleinen Winkel mit dem Horizonte machte, und liess so viel Quecksilber im Halse der Flasche, dass das sich expandirende Gas es in diesen Schenkel der Röhre hinauf-treiben musste. An diesem Apparate brachte er ein Thermometer an, setzte ihn dann in eine hölzerne Kapsel und brachte ihn durch Heizung des Zimmers zu verschiedenen Temperaturen. Je nachdem sich die Luft stärker ausdehnte, trieb sie das Quecksilber [151] in der Röhre weiter an, und durch diesen nach Zollen gemessenen Raum schätzte *Priestley* die Dilatation der verschiedenen Gasarten. Da er alle Versuche in derselben Flasche und mit derselben Röhre anstellte, der wahrscheinlich in allen einerlei Neigung gegeben wurde, so geben seine Versuche zwar das Verhältniss der Dilatation der verschiedenen Gasarten, nicht aber die absoluten Ausdehnungen derselben. Um diese zu finden, müssten das Verhältniss der Capacität der Röhre zu der der Flasche und die Neigung der Röhre genau bekannt sein; beide giebt aber *Priestley* nicht an. Er selbst setzte in diese Versuche kein grosses Zutrauen und wünschte sie auf eine bessere und sichere Art wiederholt zu sehen. Gleiche Gasvolumina vorausgesetzt, gab ihm eine Temperaturerhöhung von $4,44^{\circ}$ R. folgende Dilatationen, nach Zollen der Röhre gemessen:

die atmosphärische Luft	1,32''	[152]	das Sauerstoffgas	2,21
das Wasserstoffgas	2,05		» Stickgas	1,65
» Salpetergas	2,02		» schwefligsaure Gas	2,37
» kohlensaure Gas	2,20		» flusssaure Gas	2,83
» salzsaure Gas	1,33		» Ammoniakgas	4,75

(Experim. and Observations, Book 7, Sect. 6.)

In den Untersuchungen, welche die Bürger *Monge*, *Berthollet* und *Vandermonde* gemeinschaftlich mit einander anstellten, kamen sie auf einen Versuch, aus dem sie schlossen, dass sich die atmosphärische Luft für jeden Grad der Réaumur'schen Scale um $\frac{1}{184,83}$ und das Wasserstoffgas um $\frac{1}{181,02}$ ausdehnt. (Mém. de l'Acad. 1786.)

Die geringe Uebereinstimmung in den Versuchen über die Dilatation der atmosphärischen Luft und der Mangel directer Versuche über die Ausdehnung der anderen Gasarten in etwas höheren Temperaturen bei kleinen Temperaturunterschieden bestimmten den Bürger *Guyton*, in Gemeinschaft mit dem Bürger *Duvernois*, eine zusammenhängende Reihe von Versuchen hierüber zu unternehmen. Ihre Arbeit ist die neueste und verdient, dass ich mich etwas bei ihr verweile, um die Ursachen aufzusuchen, die ihre Resultate irrig gemacht haben.

Ihr Apparat bestand aus einem Ballon, der mit einer gebogenen Röhre versehen war; diese [153] leitete die Luft, welche aus dem Ballon beim Erwärmen entwich, in Recipienten, die mit Quecksilber gefüllt waren und über der pneumatischen Quecksilberwanne standen. Der Ballon wurde in ein Wasserbad von 0° Temperatur gesetzt und darin durch eine Vorrichtung von Eisen erhalten. Man erwärmte das Wasserbad allmählich, erst bis 20°, dann bis 40°, darauf bis 60° und zuletzt bis 80° R. und fing jedesmal die Luft, die bei diesen verschiedenen Stufen der Erwärmung aus dem Ballon entwich, in abgesonderten, mit Quecksilber gefüllten Recipienten auf. In diesen wurden sie zur Temperatur des schmelzenden Schnees herabgebracht und gemessen, und daraus schloss man denn auf das Volumen des noch im Ballon enthaltenen Gas bei derselben Temperatur¹⁾.

Nicht zu gedenken, dass diese Einrichtung des Apparats die Bestimmung von vielerlei Constanten nöthig machte, welches der Genauigkeit der Resultate Eintrag thun musste, so

1) Annales de Chimie, Vol. I.

war es auch nicht zu vermeiden, dass, wenn man die gekrümmte Röhre des Ballons unter das Quecksilber der Wanne brachte, etwas Quecksilber in der Röhre herabsank. Dieses wurde nicht durch neue hinzugelassene Luft herausgetrieben, daher das Gas im Ballon erst bis auf einige Grade erwärmt werden musste, ehe [154] Gasblasen in die Recipienten übersteigen konnten. Hätten sie daher minder grosse Temperaturunterschiede genommen und so z. B. ihre Versuche für eine Erwärmung von 5 zu 5 Graden angestellt, so würden sie geschlossen haben, dass die ersten Grade von Wärme von 0° an in den verschiedenen Gasarten keine Ausdehnung bewirken. Auch haben sie für die ersten 20° bei den meisten Gasarten eine viel zu geringe Ausdehnung erhalten.

Dieser bedenkliche Umstand würde indess die Resultate der Versuche der Bürger *Guyton* und *Duvernois* nicht so gar weit von der Wahrheit abgeführt haben, wie das wirklich der Fall ist, wenn nicht noch ein anderer, weit bedenklicherer vorhanden gewesen wäre. Ich vermuthete daher, dass sie ihren Ballon nicht gehörig getrocknet haben, und dass zugleich mit dem Gas etwas Feuchtigkeit hineingekommen sei. Ein Zehntel-Gramm Wasser, das sich im Ballon befunden hätte, würde schon einen beträchtlichen Einfluss auf die Resultate gehabt haben, besonders in den höheren Temperaturen, in denen die Feuchtigkeit sich in Dampf verwandeln und dadurch viel Gas aus dem Ballon treiben musste.

Daraus lässt es sich erklären, wie sie bei gleicher Zunahme der Wärme eine immer steigende Ausdehnung aller Gasarten erhalten konnten, statt dass sie eine fallende Fortschreitung hätten finden müssen, da sie das beim Ausdehnen entweichende Gas auf 0° Wärme reducirten. Ich bemerke hierzu, dass [155] der Bürger *Guyton* bei Gelegenheit der Dilatation des Wasserstoffgas sich folgendermaassen äussert (*Annales de Chimie*, t. 1, p. 284): »Die vier Producte der Dilatation wurden dieses mal in Recipienten aufgefangen, die man mit Gefässen voll Eis umgeben hatte. Dennoch stieg ein in das Quecksilber der Wanne getauchtes Thermometer auf 2, 3, 4, 6 Grad über Null, während in demselben Zeitpunkte das Wasser des Wasserbades 20, 40, 60, 80 Grad Wärme zeigte, welches die Messung dieser Producte minder genau, doch höchstens nur um eine Kleinigkeit fehlerhaft gemacht haben kann, da die Ausdehnung während der ersten Grade nur höchst gering ist.«

Man könnte hiernach glauben, dass beide Physiker auch die anderen Gasarten nicht mit aller Sorgfalt auf eine Temperatur von 0° gebracht hätten, und das würde eine dritte Quelle von Unzuverlässigkeit in ihren Versuchen sein.

Als sie das Volumen des Gasrückstandes im Ballon und das Gas in den Recipienten mit dem anfänglichen Gasvolumen verglichen, fand sich beim Sauerstoffgas, beim Wasserstoffgas, beim kohlen-sauren Gas und bei der atmosphärischen Luft eine Verminderung. Sie erklären sich dieses durch chemische Verbindungen, in welche diese Gasarten während [156] der Versuche mit dem Quecksilber getreten sein sollen. Wenn ich mich indess eines ganz reinen und oxydfreien Quecksilbers bediente, habe ich in Temperaturen vom Frost- bis zum Siedepunkte nie die mindeste Wirkung dieser Gasarten auf das Quecksilber, oder umgekehrt, wahrnehmen können.

Folgendes sind die Resultate der Versuche der Bürger *Guyton* und *Duvernois*. In die, welche eingeklammert sind, setzen sie selbst nur wenig Zutrauen.

Ausdehnung	bei einer Erwärmung				
	von 0° bis 20°	v. 20° bis 40°	von 40° bis 60°	von 60° bis 80°	von 0° bis 80°
der atmosph. Luft	$\frac{1}{12,67}$	$\frac{1}{5,61}$	$\frac{1}{2,49}$	$\left(\frac{1}{3,57}\right)$	$\frac{1}{1,067}$
des Sauerstoffgas	$\frac{1}{22,12}$	$\frac{1}{4,92}$	$\frac{1}{1,53}$	$\left(3 + \frac{1}{1,73}\right)$	$4 + \frac{1}{2,09}$
des Stickgas	$\frac{1}{29,41}$	$\frac{1}{5,41}$	$\frac{1}{1,28}$	$5 + \frac{1}{57,2}$	$5 + \frac{1}{1,06}$
des Wasserstoffgas	$\frac{1}{11,91}$	$\frac{1}{6,92}$	$\left(\frac{1}{6,85}\right)$	$\left(\frac{1}{58,82}\right)$	$\frac{1}{2,55}$
des Salpetergas	$\frac{1}{15,33}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{3,74}$	$\left(\frac{1}{6,88}\right)$	$\frac{1}{1,65}$
des kohlen. Gas	$\frac{1}{9,05}$	$\frac{1}{5,1}$	$\frac{1}{2,31}$	$\left(\frac{1}{3,69}\right)$	$1 + \frac{1}{106,3}$
des Ammoniakgas	$\frac{1}{3,58}$	$\frac{1}{1,75}$	$1 + \frac{1}{1,35}$	$\left(3 + \frac{1}{4,69}\right)$	$5 + \frac{1}{1,25}$

Ehe ich weiter gehe, muss ich bemerken, [157] dass das, was ich durch sehr viele Versuche gefunden habe, dass nämlich das Sauerstoffgas, Stickgas, Wasserstoffgas, kohlen-saure Gas und die atmosphärische Luft sich von 0° bis 80° verhältnissmässig um gleich viel ausdehnen, schon der Bürger *Charles* vor 15 Jahren wahrgenommen hatte. Da er aber die

Resultate seiner Versuche nicht bekannt gemacht hat, so war es ein blosser Zufall, dass ich sie kennen lernte. Auch hat er die Ausdehnung der im Wasser auflöslichen Gasarten untersucht, und für jede eine besondere Ausdehnung gefunden; hierin weichen meine Versuche sehr weit von den seinigen ab.

Der Apparat, dessen sich der Bürger *Charles* bedient hatte, bestand aus einem Barometer mit einem sehr langen luftleeren Raume. Das zu untersuchende Gas wurde bei 0° Wärme und einem Drucke von 28" Quecksilberhöhe in das Gefäss des Barometers verschlossen und dieses in kochendes Wasser gebracht. Dabei stieg das Quecksilber in der Röhre und der Ueberschuss der Quecksilberhöhe über 28" mass die Zunahme der Elasticität der eingeschlossenen Luft. Als ich diesen Apparat bei *Charles* selbst besah, fand ich indess, dass die Röhre im Verhältnisse des Gefässes sehr weit ist, [158] daher sich das Luftvolumen beim Ansteigen des Quecksilbers in der Röhre beträchtlich verändern musste. Dann aber misst die Quecksilberhöhe über 28" nicht mehr die ganze Zunahme an Elasticität des Gases. Daher scheint es mir, als lasse sich die wahre Ausdehnung der Gasarten aus diesen Versuchen nicht mit Sicherheit ableiten.

Drittes Capitel.

Beschreibung der Apparate.

Der gläserne Ballon *B* (Fig. 1) ist mit einem eisernen Hahne versehen, mit welchem sich eine gebogene Röhre *ID* (Fig. 2) verbinden lässt. Am Schlüssel des Hahnes befindet sich ein Hebel *LL*, der an beiden Enden mit Löchern versehen ist, in denen man die beiden Schnüre befestigt, mittelst deren der Hahn, wenn der Ballon unter Wasser steht, geöffnet oder geschlossen werden kann. Um die Gasart, mit der der Versuch angestellt werden soll, in den Ballon zu bringen, bediene ich mich einer Glasglocke *M* (Fig. 1), die oben mit einem Hahne *C* und mit einer gebogenen Röhre *T* versehen ist und die in einem Gefässe *QS* steht. Giesst man in dieses Gefäss Wasser und öffnet den Hahn *C*, so entweicht das Gas, das dadurch in der Glocke comprimirt wird, und steigt durch die gebogene Röhre in den Ballon *B*, der zu dem Ende über der pneumatischen Quecksilberwanne *OP*

steht. Ist der Ballon voll Gas, so schliesse ich den Hahn *R*, befestige die Röhre [159] *ID* (Fig. 2) und stelle den Ballon

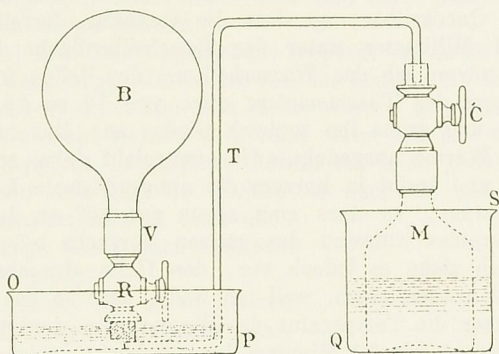


Fig. 1.

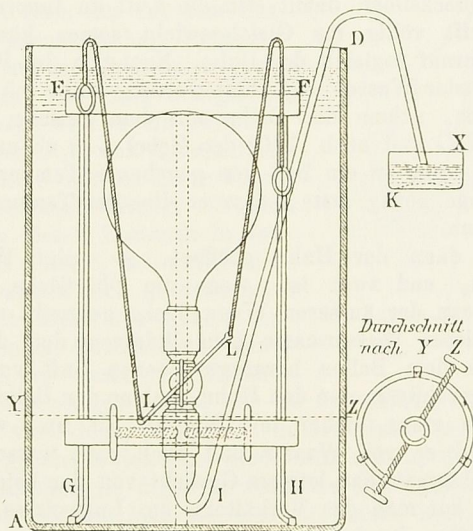


Fig. 2.

in ein Gestell aus Eisen *EFGH*, welches ich dann in ein kupfernes Gefäß *AD*, das voll Wasser ist, setze.

Um alle Gemeinschaft zwischen dem Gas im Ballon und der äusseren Luft beim Oeffnen des Hahnes zu vermeiden, bringe ich das Ende der Röhre *ID* in ein kleines Gefäss *KX* mit Quecksilber, so dass die Oeffnung derselben sich 1 oder 2 Millimeter unter der Quecksilberfläche befindet. Darauf erwärme ich das Wasserbad um den Ballon und öffne beim Steigen des Thermometers etwa von 10 zu 10 Graden den Hahn und drehe ihn sogleich wieder zu. Das im Ballon durch die Wärme ausgedehnte Gas entweicht dabei schnell in die Röhre und treibt in kurzem die atmosphärische Luft ganz aus ihr heraus, so dass man schon von 40° an den Hahn ohne Besorgniss während des ganzen Versuchs offen lassen könnte. Ich ziehe es jedoch vor, den Hahn abwechselnd zu öffnen und zu schliessen, weil ich finde, dass so das Gas im Ballon besser die Temperatur des Wasserbades annimmt. Hat das Wasser 15 bis 20 Minuten lang gekocht (welches völlig hinreicht, die ganze Gasmasse zur Temperatur des kochenden Wassers zu bringen), so ziehe ich das Ende der Röhre *ID* aus dem Quecksilber, damit sich die Luft im Innern mit der äussern Luft völlig ins Gleichgewicht setzen könne, und schliesse darauf sogleich den Hahn. Nachdem das Wasserbad durch Eis oder Wasser abgekühlt worden, ziehe ich den Apparat heraus, nehme den Ballon aus dem Gestelle, schraube die Röhre *ID* und auch [160] den Hebel *LL* ab und tauche den Ballon ganz in ein Bad von gegebener Temperatur, wo ich ihn lange genug lasse, dass er dieselbe Temperatur annehmen kann.

Wird dann der Hahn geöffnet, so steigt Wasser in den Ballon, und zwar ist, wenn die Oberfläche desselben in das Niveau der äusseren Wasserfläche gebracht wird, das Volumen dieser Wassermasse dem Volumen der durch die Wärme aus dem Ballon herausgetriebenen Luft vollkommen gleich. Ich schliesse nun den Hahn, nehme den Ballon heraus, trockne ihn rings umher mit Sorgfalt ab und wäge ihn. Darauf wird er voll Wasser und auch ganz wasserleer gewogen. Zieht man das letztere Gewicht von den beiden ersten ab, so hat man das Verhältniss des Luftvolums, welches aus dem Ballon durch Erwärmung entwichen ist, zu dem anfänglichen Luftvolumen, das den ganzen Ballon erfüllte, da diese Gewichte in demselben Verhältnisse wie die Capacitäten stehen.

Diese Methode hat den Vorzug, eine grosse Genauigkeit