

## II.

### *Ueber das Gesetz der Abnahme der Wärme mit der Höhe;*

von

Herrn J. J. PRECHTL,

Direktor d. K. K. polytechnischen Instituts zu Wien \*).

---

1. Das Gesetz der Abnahme der Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe ist noch nicht mit einiger Genauigkeit ausgemittelt worden. Es hängt von der Bestimmung der Größe der Temperaturveränderung ab, welche durch Ausdehnung oder Zusammendrückung der Luft hervorgebracht wird. Denn wenn wir

\*) Der vorliegende Aufsatz, obgleich schon seit geraumer Zeit dem 3ten Bande des trefflichen Jahrbuches des K. K. polytechnischen Instituts zu Wien einverleibt, ist dennoch nicht, so wie er es gewiss seinem Interesse nach verdient, dem größeren physikalischen Publikum bekannt geworden. Aus diesem Grunde wünschte der verewigte Gilbert mit demselben die Annalen zu bereichern, und der hochgeschätzte Herr Verfasser, welcher diesem Wunsche entgegen kam, hatte zugleich die Güte, Einiges weiter zu entwickeln und zu verbessern. In dieser verbesserten Gestalt übergebe ich also gegenwärtig den Aufsatz dem Publikum, und erfülle dadurch um so lieber einen der wenigen Wünsche, welche des Verstorbenen unerwartetes Hinscheiden in Bezug auf die Annalen errathen liefs, als der Hr. Direkt. Prechtel mich später selbst seiner Zustimmung zur Aufnahme seines schätzbaren Versuches einen so schwierigen Gegenstand aufzuheben, mehrmals versicherte. P.

uns für einen Augenblick vorstellen, die ganze Luftmasse, welche die Atmosphäre bildet, sey in gleicher Dichtigkeit, z. B. einer solchen, die einem Stande von einem Zoll Quecksilberhöhe entspräche, und in gleicher Temperatur, z. B. von  $-30^{\circ}$  R., um die Erde herum verbreitet; und nun setze sich diese Luftmasse nach den Gesetzen der Schwere ins Gleichgewicht, und bilde um die Erde eine Atmosphäre; so wird diese ganze Luftmasse in einen verhältnißmäßig kleineren Raum zusammengezogen, die unteren Schichten werden immer dichter und dichter, so daß diese Dichtigkeiten (wenn alle Schichten die nämliche Temperatur beßäßen (*P.*)) mit dem arithmetisch zunehmenden Wachsthum der Höhen in einer geometrischen Reihe abnehmen. In dem Verhältnisse nun, in welchem die Dichtigkeit der unteren Luftschichten in Folge dieser Zusammendrückung durch die oberen vermehrt wird, wird ihre Wärmecapacität vermindert, oder sie erwärmen sich in dem Verhältnisse dieser Zusammendrückung. Die Temperatur der Atmosphäre muß daher gegen die Erdoberfläche immer mehr, und zwar im Verhältnisse der den relativen Höhen entsprechenden Luftdichtigkeit zunehmen.

Es versteht sich übrigens von selbst, daß diese durch die erste Verdichtung erzeugte Temperaturerhöhung nur so lange Statt finden könne, bis der Wärmeüberschuß wieder in der kälteren Umgebung sich ausgeglichen hat, indem diese Wärmezunahme von einer bleibenden Wärmequelle (der Sonne) unabhängig ist. Eben dieser Fall ist auch bei den Veränderungen des Barometerstandes in der Atmosphäre vorhanden; denn wenn

das Barometer steigt, folglich die untern Luftschichten sich verdichten, so erhöhen diese im Verhältniß dieser Verdichtung ihre Temperatur, und umgekehrt bei dem Fallen des Barometers vermindern sie dieselbe der unten Statt findenden Luftverdünnung.

Betrachten wir auf der andern Seite die bleibende Erwärmung der Luftschichten als die Wirkung des Sonnenlichts; so wird auch hier die Temperatur der einzelnen Luftschichten im Verhältniß stehen müssen mit ihrer Dichtigkeit. Denn nehmen wir z. B. zwei Portionen Luft an, welche der Sonne unter gleichen Umständen ausgesetzt sind, und von denen die eine doppelt so dicht ist, als die andere: so wird die Sonne die gleichartigen Theile dieser beiden Luftportionen auf gleiche Weise erwärmen, d. i. jedes Lufttheilchen wird dieselbe Wärmemenge aufnehmen, sowohl in der dichteren als in der dünneren Portion, in dem angenommenen Falle daher die dichtere Portion genau die doppelte Wärmemenge der dünneren. Da aber die dichtere Luft eine geringere Wärmecapacität als die dünnere besitzt, so wird ein Theil dieser Wärmemenge nicht in der dichteren Portion gebunden bleiben können, sondern ihre Temperatur auf dieselbe Art erhöhen, als wenn die dünnere, auf den gleichen Grad durch die Sonne erwärmte Portion in einen doppelt so kleinen Raum zusammengedrückt worden wäre.

Es läßt sich hiernach für alle Fälle, es mag in den Schichten der Atmosphäre Temperaturänderung durch barometrische Schwankungen, oder durch den Einfluß der Sonne hervorgebracht werden, der Satz annehmen, daß die Abnahme der Temperatur in der

Atmosphäre mit der Abnahme der Dichtigkeit der Luft im Verhältniß stehe, und daß daher die GröÙe dieser Temperaturänderung durch die Quantität der Wärme gemessen werde, welche bei der Verdichtung der Luft frei, oder bei ihrer Verdünnung gebunden wird, ein Satz, welcher durch die genaue Uebereinstimmung des auf diese Annahme gegründeten Gesetzes mit der Erfahrung seine Bestätigung erhält.

2. Die GröÙe der Abnahme der Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe läßt sich daher bestimmen, wenn man die GröÙe der Temperaturänderung kennt, welche durch die Ausdehnung oder Zusammendrückung der Luft hervorgebracht wird. Es sey die GröÙe der Ausdehnung oder Zusammenziehung eines Luftvolumens, durch welche 1° R. Erniedrigung oder Erhöhung der Temperatur desselben hervorgebracht wird =  $x$

der untere Barometerstand =  $h$

der obere - - - =  $h'$

die untere Temperatur =  $t$

die obere - - - =  $t'$

so ist, da die Luftdichtigkeiten den Barometerständen proportional sind \*)

\*) Der hochgeehrte Herr Verfasser wird nicht mißverstehen, wenn ich hier den Wunsch äußere, daß es ihm gefallen haben möchte, die Grundsätze näher zu entwickeln, welche ihn bei Aufstellung der obigen Formel leiteten. Denn wenn eine verticale Luftsäule, mittelst horizontaler, für die Wärme undurchdringbarer, sonst aber beweglicher Scheidewände, in eine beliebige Anzahl von Schichten getheilt, angenommen wird, und man nun die Bedingung macht, daß

$$\frac{h-h'}{h} = x(t-t') \text{ oder } t' = t - \frac{h-h'}{hx}$$

3. Da keine genauen Bestimmungen über die Gröſſe der Temperaturverminderung bei einer bestimmten Ausdehnung der Luft vorhanden ſind, ſo ſuchte ich dieſe Gröſſe, oder den Werth von  $x$ , durch eigene Verſuche aufzufinden, und wählte dazu folgende Vorrichtung:

An eine Thermometerröhre von etwa  $\frac{1}{2}$  Linie innerem Durchmeſſer iſt ein gläſerner Cylinder aus ganz

jede Schicht zu Anfange einer gleichen Temperatur und einem gleichen Druck unterworfen iſt, hierauf aber den Druck erleidet, welcher derſelben nach deren reſpectiven Lage, durch das Gewicht der auf ihr laſtenden Luftmaſſe zukommt, ſo kann offenbar die Volumensvergrößerung (oder Dichtigkeitsverminderung) jeder einzelnen Schicht nicht dem verminderten Drucke proportional ſeyn, indem das Mariottesche Geſetz eine gleichbleibende Temperatur vorausſetzt, hier aber mit der Ausdehnung zugleich Erkältung vereint iſt, und dieſe wiederum auf die Gröſſe der erſteren eine Rückwirkung ausübt.

Liegen der Formel des Hrn. Verfaſſers die ſo eben gemachten Bedingungen zum Grunde, ſo würde dieſelbe eine beträchtliche Abweichung von der zeigen, welche Hr. Poisson in ſeinem ſehr belehrenden Aufſatze über die Wärme der Gaſe und Dämpfe (den ich bei dieſer Gelegenheit den Annalen einverleiben zu müſſen glaubte) bekannt gemacht hat. Dem Herrn Verfaſſer zufolge ſtehen Druck und Temperatur der atmosphäriſchen Luft, wenn die Wärme ſich nicht von einer Schicht zur andern mittheilt, in denſelben Beziehungen wie die Coordinaten einer geraden Linie, hingegen Herrn Poisson's Formel dieſe Gröſſen als Coordinaten einer *höheren Parabel* angiebt. Ich habe nicht verſucht, in wie weit ſich durch letztere die Beobachtungen des Hrn. Gay-Luſſac darſtellen laſſen.

dünnem Glase, von etwa 3—4 Linien Weite, angeblasen. Dieser Cylinder wird bis zu einem Punkte, welcher etwa einen halben Zoll über der Stelle liegt, an welcher der Cylinder mit der Thermometerröhre vereinigt ist, mit Quecksilber gefüllt, und von diesem Punkte aus, welchen ich den Nullpunkt nennen will, die Länge der Röhre gemessen, welche durch diese Quecksilbermenge angefüllt wird. Diese Länge der Röhre theilt man sonach durch Kalibrieren in zehn gleiche Theile, und bricht die Röhre dann zwischen der dritten und vierten Abtheilung ab; weil nur diese untere Länge nöthig ist. Jede dieser Abtheilungen theilt man nun wieder in fünfzig oder hundert gleiche Theile, in welchem letzteren Falle die Grade dieses Luftthermometers Tausendtheile der Capacität des Cylinders ausdrücken. Zuletzt füllt man die ganze Röhre mit trockener Luft, und bringt endlich eine Quecksilberssäule von etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll Länge in dieselbe; so daß sie z. B. bei einer Temperatur von  $0^{\circ}$  R. oder von einigen Graden darüber bis an den oben bezeichneten Punkt zu stehen kommt. Die obere Mündung der Röhre wird mit einem kleinen Hahne versehen, welcher vollkommen luftdicht schließt. Bei dem Instrumente, mit welchem ich Versuche anstellte, hatte die graduirte Röhre eine Länge von 9 Zoll, auch war an demselben der Cylinder, etwa parallel mit der Röhre, aufwärts gebogen.

4. Ich beobachtete mit diesem Instrumente auf folgende Art. Indem man den Cylinder desselben einer niederen Temperatur aussetzt, z. B. in Eis stellt, bringt man die Quecksilberssäule bis auf den Nullpunkt herab (oder auch auf irgend einen höher liegenden),

und verschließt alsdann den Hahn an der oberen Oeffnung. Man bringt hierauf das Instrument in eine höhere Temperatur in erwärmte Luft, z. B. im Winter in die Nähe eines Zimmeroffens, mit einem Quecksilberthermometer, welches Zehntel eines Grades zeigt, und bemerkt genau die Temperatur. Hierauf öffnet man den Hahn, und bemerkt den Stand des unteren Randes der Quecksilberssäule, welche von der Luft plötzlich in die Höhe gehoben wird (den Stand der plötzlichen Ausdehnung). Man läßt hierauf das Instrument in derselben Temperatur, bei geöffnetem Hahne, und bemerkt gleichfalls den Stand der Luftsäule (den Stand der freien Ausdehnung). Der Unterschied dieser beiden Ausdehnungen giebt die GröÙe der Temperaturverminderung bei der vorhandenen Ausdehnung. Es sey die GröÙe der freien Ausdehnung in den Theilen der Skala  $= m$ ,

jene der plötzlichen Ausdehnung  $= m'$ ,

die Capacität des Cylinders  $= V$ ,

die Temperatur, welche der freien AusdehnungsgröÙe entspricht  $= t$  (R.<sup>o</sup>),

jene, welche der GröÙe der plötzlichen Ausdehnung zugehört  $= t'$ ;

so ist  $t = \frac{m}{0,00468 \cdot V}$  und  $t' = \frac{m'}{0,00468 \cdot V}$ , folglich

$t - t' = \frac{m - m'}{0,00468 \cdot V}$  die Temperaturverminderung für

die AusdehnungsgröÙe  $= \frac{m'}{V}$ .

Z. B. Bei dem Instrumente, mit welchem ich Versuche anstellte, war die Capacität des Cylinders oder  $V = 1500$ . Bei einem dieser Versuche betrug unter gleicher Temperatur die freie Ausdehnung  $=$

218 Theile der Skale, die plötzliche Ausdehnung = 178 Theile der Skale, folglich war für die Ausdehnungsgröße =  $\frac{218}{178}$ , die Temperaturverminderung =  $\frac{218 - 178}{7,02} = 5,69$ : oder auf  $1^\circ$  R. betrug die Ausdehnungsgröße  $x = 0,0208$ .

Bei einem andern Versuche betrug bei einer und derselben Temperatur die freie Ausdehnung = 285 Theile, die plötzliche Ausdehnung = 235 Theile, folglich war für die Ausdehnungsgröße =  $\frac{285}{235}$ , die Temperaturverminderung =  $\frac{285 - 235}{7,02} = 7,12$ : oder auf  $1^\circ$  R. betrug die Ausdehnungsgröße  $x = 0,219$ .

5. Der Fehler, welcher bei diesen Versuchen durch die Aufnahme der Wärme der sich ausdehnenden Luft aus dem erwärmten Glase entstehen würde, kann durch einige Uebung in der Behandlungsart des Instruments grösstentheils vermieden werden. Denn wenn man das Instrument bei geöffnetem Hahne (um die freie Ausdehnung zu messen) aus der höheren Temperatur in eine um 5 bis 6 Grad kältere Luft bringt (z. B. aus der Nähe eines Ofens in einen etwas entfernteren Theil des Zimmers), so vergehen einige Sekunden, bis das Queckfilber wieder zu fallen anfängt; so daß also das Glas in dieser Zeit seine Wärme an die umgebende Luft verloren hat. Die kurze Zeit also, welche vergeht, um das Instrument zur Bestimmung der plötzlichen Ausdehnung einen oder zwei Schritte weit aus seiner vorigen Stelle zu entfernen und so schnell wie möglich zu öffnen, reicht gerade hin, um dem Glase jene überflüssige Wärme zu nehmen, welche auf die Ausdehnungsgröße einen bedeu-



tenden Einfluß haben könnte, da bekanntermaßen bei geringen Temperaturunterschieden die Mittheilung der Wärme nur langsam erfolgt, und ein weit größerer Zeitraum erforderlich seyn würde, um bei einer Temperaturdifferenz von 5 bis 6° die Luft in dem Instrumente um 1° abzukühlen.

6. Auf diese Art habe ich, zum Theil unter abgeänderten Umständen, eine bedeutende Menge von Versuchen angestellt, die unter sich gut harmonirten und zeigten, daß das Resultat aus denselben Zutrauen verdiene. Die meisten dieser Versuche geben, auf die §. 4. erwähnte Art berechnet, für 1° R. Temperatur eine Ausdehnungsgröße zwischen 0,021 und 0,022 des Luftvolumens. Ich glaube daher für diese Größe oder das oben erwähnte  $x = 0,0215$  als Mittelzahl setzen zu dürfen. Da nun diese Zahl, wie man sehen wird, in der Berechnung der Temperaturen in verschiedenen Höhen, sehr genau mit den Beobachtungen übereinstimmt, so glaube ich, daß sie so genau ist, als es für die Anwendung immer erforderlich seyn dürfte.

7. Die einzigen Angaben über diesen Gegenstand, die meines Wissens vorhanden sind, sind von Dalton und Gay-Lussac \*). Ersterer suchte durch Versuche

\*) Indess haben die HH. Clement und Desormes bei Gelegenheit ihrer Untersuchungen zur Bestimmung des absoluten Nullpunktes und der specifischen Wärme der Gasarten (welche in Blainvilles Journal de Physique 1819 aufgenommen wurden) einen hieher gehörigen Versuch unternommen, von welchen Hr. Poisson neuerdings in seinem Aufsatze über die Geschwindigkeit des Schalles (Connaissance de temps pour l'an 1826. p. 257) Gebrauch machte. Wenn das Resultat des Ver-

mit der Luftpumpe die Temperaturverminderung durch die Ausdehnung der Luft zu bestimmen, und glaubte als Resultat annehmen zu können, daß bei der Ausdehnung einer (doppelt comprimierten) Luft eine Temperaturverminderung von etwa  $50^{\circ}$  F. Statt finde. Diese Annahme ist jedoch viel zu klein (Gilberts Annalen XIV. 101). Herr Gay-Lussac giebt an (*Annales de Chimie et de Physique*, T. IX. p. 308),

suchs auch vielleicht nicht völlig genau ist, so verdient die von den Experimentatoren angewandte höchst sinnreiche Methode, hier gewiß eine Erwähnung. Die Temperaturveränderungen, welche in einem Gase den Aenderungen seiner Dichtigkeit entsprechen, werden, nebst den letzteren, nach dieser Methode einzig aus der durch die Barometerhöhe gemessene Elasticität des Gases abgeleitet.

1) Man hatte nämlich einen Ballon, in welchem das untere Niveau eines Barometers eingelassen war und der durch einen Hahn luftdicht verschlossen werden konnte, mit Luft gefüllt, welche Druck, Dichtigkeit und Temperatur mit der äußern atmosphärischen Luft gemein hatte. Diese 3 Größen seyen mit  $P$ ,  $D$  und  $\vartheta$  bezeichnet.

2) Nun ward ein Theil der Luft aus dem Ballon entfernt, und dieser bei geschlossenem Hahne so lange sich selbst überlassen, bis die Temperatur im Innern desselben, wiederum der äußern gleich war.

Da also von den eben genannten 3 Größen nur der Druck und die Dichte abgeändert worden, die Temperatur aber dieselbe blieb, so lassen sich jene durch  $P'$ ,  $D'$ ,  $\vartheta$  bezeichnen.

3) Oeffnet man nun auf einen Augenblick den Hahn, damit sich der innere Druck mit dem äußern ins Gleichgewicht setzt, und verschließt den Ballon darauf schnell, so ist klar, daß der Druck des Gases gleich ist dem der äußern Luft, die Dichte und Temperatur desselben hingegen eine Aenderung erleiden, die von der rasch erfolgenden Compression des Gases abhängig ist. Bezeichnet man die Temperaturerhöhung mit  $\omega$ ,

daß in dem pneumatischen Feuerzeug der Schwamm sich entzündet, wenn die Luft auf den fünften Theil ihres Volumens zusammengepreßt wird. Nun entzündet sich der Schwamm wohl auf dem schmelzenden Blei (323° C.), aber nicht auf dem Wismuth (283 C.), also beiläufig bei 300° C., welche Temperatur also wenigstens durch jene Zusammendrückung erzeugt werde.

so ist der Ausdruck für obige Größen bei dieser Epoche:  $P, D'', \vartheta + \omega$ .

4) Endlich überläßt man den Ballon, bei fortwährend verschlossenem Hahne, so lange sich selbst, bis die Temperaturerhöhung  $\omega$  wieder entwichen ist. Die Dichte (als Luftmenge in einem gegebenen Raume) wird dadurch nicht geändert, bleibt also  $= D''$ ; der Druck nimmt eine neue durch das innere Barometer zu messende Größe  $= P''$  an, und die Temperatur ist wie beim Anfange des Versuches  $= \vartheta$ .

Wie nun aus den beobachteten Barometerständen  $P, P', P''$ , die der unbekannten Temperaturerhöhung  $\omega$  zugehörige ebenfalls nicht direct gegebene Verdichtung  $= \gamma$  gefunden werden könne, zeigt Hr. Poisson folgendermaßen:

In der ersten und vierten Epoche waren die Temperaturen gleich, und mithin findet das bekannte Mariottesche Gesetz über die Proportionalität der Luftdichten mit dem Luftdrucke hier seine Anwendung. Es ist also:

$$\frac{D'}{D''} = \frac{P'}{P''}$$

Die in der dritten Epoche erfolgende Condensation  $\gamma$  hat aber offenbar zum Ausdruck:

$$\frac{D'' - D'}{D'}, \text{ also ist auch: } \gamma = \frac{P'' - P'}{P'} \quad . . . (a)$$

und dadurch folglich gegeben.

Ferner hat die Luft in der 3ten und 4ten Epoche gleiche Dichtigkeit, und mithin der Satz, daß der Anwuchs der Ela-

Diese Angabe stimmt mit dem oben gefundenen Ausdehnungscoefficienten näher zusammen, als man nach jener thermometrischen Bestimmungsart erwarten sollte. Denn eine fünffache Zusammendrückung der Luft giebt nach dem angegebenen Resultate meiner Versuche eine Temperaturerhöhung von  $\frac{5}{0,0215} = 232^{\circ} \text{ R.} = 290^{\circ} \text{ C.}$ ; was sich von der von Herrn Gay-

sticität eines Gases (oder umgekehrt bei gleichem Druck der feines Volumen) den Temperaturen proportional ist, seine Anwendbarkeit. Die Temperaturen waren  $\vartheta$  und  $\vartheta + \omega$ , also ist:

$$\frac{1 + \alpha (\vartheta + \omega)}{1 + \alpha \vartheta} = \frac{P'}{P''} \dots \dots \dots (b)$$

worin  $\alpha$  den allen Gasarten gemeinschaftlichen Dilatationscoefficienten bezeichnet (der bekanntlich für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers, wenn die Dilatation vom Gefrierpunkt des Wassers an gerechnet wird  $= 0,00375$  beträgt).

Aus den beiden Gleichungen (a) und (b) hat man alsdann:

$$\frac{\alpha \omega}{(1 + \alpha \vartheta) \gamma} = \frac{(P - P'') P'}{(P'' - P') P''} \dots \dots \dots (c)$$

und sind also jene 3 Barometerstände  $P, P', P''$  nebst der anfänglichen Temperatur  $\vartheta$  bekannt, so findet man daraus, welche Temperaturveränderung  $\omega$  der Dichtigkeitsänderung  $\gamma$  entspricht. Alles dies setzt indess voraus, daß durch die Wände des Ballons keine Wärme verloren geht, ein Umstand, der zwar durch Beschleunigung der Condensation und schlechte Wärmeleitung der Materialien verringert, niemals aber ganz gehoben werden kann, und dadurch diese Versuche immer mehr oder weniger unsicher macht.

Bei einem der Versuche der HH. Clement und Desormes waren:

$$P = 0,7665^{\text{m}}; P' = 0,75269^{\text{m}}; P'' = 0,76289^{\text{m}}$$

Lussac angenommenen Mittelzahl nur wenig unterscheidet. Es ist hier übrigens im Vorbeigehen zu bemerken, daß sich im pneumatischen Feuerzeug der Schwamm wahrscheinlich bei etwas niedriger Temperatur entzündet, als auf einem heißen Körper, weil im ersteren Falle die heiße Luft ihn nach allen Theilen plötzlich durchdringt, sonach keine Ableitung der Wärme Statt findet.

8. Die Temperatur der Luft in einer bestimmten Höhe der Atmosphäre läßt sich daher nun berechnen, wenn man den gefundenen Werth von  $x = 0,0215$  in die oben (2) angegebene Formel setzt.

Es ist hier vorläufig zu bemerken, daß vorzüg-

und hiemit giebt die Formel (c)

$$\omega = 1,0321 ; \gamma = 0,01355$$

erstere GröÙe in Graden des 100theil. Thermometers ausgedrückt, und letztere auf die als Einheit angenommene Luftdichte  $D'$  bezogen. Nimmt man die Verdichtung  $\gamma$  als proportional den Temperaturerhöhungen an, welche innerhalb einer gewissen Gränze erlaubt ist, so hat man als deren Werth 0,01282 für  $1^{\circ} R = 1,025^{\circ} C$ . Das von Hrn. Reg. R. Prechtl gefundene Resultat ist freilich um 0,00863 größer, allein theils waren hier die Umstände nicht ganz dieselben (wie man aus S. 273 ersehen wird), theils auch, läßt sich bei diesen Versuchen wohl nie eine völlige Uebereinstimmung erwarten. Die Leser werden gewiß mit Vergnügen ersehen, worin sich die Methode unsers Hrn. Verfassers von denen der französischen Physiker unterscheidet. Eine abermalige Untersuchung dieses für die Theorie der Geschwindigkeit des Schalles wichtigen Gegenstandes ist durch Hrn. Gay-Lussac vorgenommen, wie man aus dem folgenden Aufsatz des Hrn. Poisson ersieht. P.

lich dreierlei Einflüsse die gesetzmässige Abnahme der Temperatur stören, und daher berücksichtigt werden müssen. Nämlich: 1) die Erwärmung der unteren Luftschichten durch die Sonne vermittelt der Erdoberfläche, wenn diese Erwärmung nicht anhaltend genug ist, daß sie bis zu großen Höhen ihre Wirkung erstreckt. Im letzteren Falle vertheilt sich durch die Strömungen aufwärts die Wärme in die oberen Schichten bis zu einer wahrscheinlich hoch liegenden Gränze, da bei Gay-Lussac's Luftfahrt das Thermometer in den größten Höhen noch Feuchtigkeit zeigte. So dehnt sich z. B. durch  $20^{\circ}$  R. die untere Luft um 0,095 aus, folglich etwas über viermal mehr, als diese Luft sich ausdehnen müßte, um sich um  $1^{\circ}$  R. zu erkälten. Folglich kann diese durch  $20^{\circ}$  R. unten ausgedehnte Luft in eine Höhe gebracht werden, wo das Thermometer etwas über  $4^{\circ}$  R. tiefer steht als unten, und sich um diese  $4^{\circ}$  R. erkälten, ohne ihr Volumen zu ändern. So hoch würde also in diesem Falle die Strömung Statt finden, wenn keine Wärme während des Aufsteigens abgesetzt würde. Da aber durch diese Wärmeabgabe die höheren Luftschichten wieder erwärmt sind, so geht die Verbreitung dieser Wärme immerfort aufwärts abnehmend im Verhältniß der Luftdichtigkeiten. Eine anhaltende untere Erwärmung der Luft ändert also das Gesetz der Wärmeabnahme bis zu bedeutenden Höhen nicht. Dies wird aber allerdings dann der Fall seyn, wenn die Temperatur, welche unten herrscht, ihre Wirkung nicht hoch genug erstrecken konnte, welches bei sehr großen Höhen immer der Fall seyn wird: daher in solchen Höhen die Temperatur in der

That niedriger seyn zu müssen scheint, als sie durch das in minderen Höhen Statt findende Wärmegesetz angegeben wird; weil die Temperatur des unteren Standpunktes, mit jener des höheren, auf welchen sich die äussere Erwärmung nicht mehr, oder nicht verhältnissmässig mehr erstreckt, nicht in der regelmässigen Beziehung steht.

Diese Ursache begründet wahrscheinlich hauptsächlich die Variationen in der Schneegränze unter derselben geograph. Breite. Denn setzen wir z. B. eine grosse, ebene oder nur mit niedrigen Gebirgen durchschnittenene Landfläche, welche durch hohe Gebirge gegen Nord und Nordost vor den kalten Winden geschützt ist: so wird dieses Land einen regelmässigen Sommer mit geringen Temperaturdifferenzen haben; die untere Erwärmung wird sich Monate lang ununterbrochen in die Höhe verbreiten, und die Schneegränze daher bedeutend über jene Höhe hinausrücken können, welche ihr nach Maassgabe anderer Länder in dieser Breite zukommt.

9. Eine zweite Ursache, die das Gesetz der Temperaturabnahme stört, sind die Windstriche, welche in verschiedenen Höhen die Luft wärmer oder kälter machen, als sie ausserdem seyn würde. Ein Beispiel dieser Art findet sich in der bereits angeführten Luftreihe des Hrn. Gay-Lussac. Bis zu einer Höhe von 1895 Klafter fand die regelmässige Temperaturabnahme Statt, und das Thermometer zeigte in dieser Höhe  $8\frac{1}{2}^{\circ}$  C., von hier aus stieg das Thermometer mit der Höhe, zeigte bei 1953 Klafter  $10\frac{1}{2}^{\circ}$  C. und kam erst bei 2428 Klafter wieder auf  $6\frac{1}{2}^{\circ}$  C., und erst bei 2832 Klaftern trat der Thermometerstand in

die regelmäßige Abnahme zurück. Es zeigte sich hier also ein warmer Luftstrich, dem eine senkrechte Höhe von etwa 873 Klaftern zukam, und welcher die Temperatur der Luftschichten, die er einnahm, im Mittel um 3° R. erhöhte, wie aus der folgenden Tabelle erhellet, in welcher die berechneten Thermometerstände aus der im vorigen (§. 2.) angegebenen Formel hergeleitet worden sind.

| Barometer-<br>stand<br>in Centim. | Höhe<br>in Toisen. | Beobachtete<br>Temperatur<br>R. | Berechnete<br>Temperatur. | Differenz. |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|------------|
| 49,68                             | 1893,9             | 6°,75                           | 5°,89                     | + 0,86     |
| 49,05                             | 1958,2             | 8,5                             | 5,5                       | + 3,0      |
| 45,28                             | 2314,8             | 7,0                             | 3,21                      | + 3,79     |
| 44,04                             | 2428,8             | 6,5                             | 2,45                      | + 4,05     |
| 43,53                             | 2467,2             | 5,75                            | 2,24                      | + 3,01     |
| 42,49                             | 2566,3             | 4,75                            | 1,68                      | + 2,57     |
| 41,14                             | 2702,7             | 3,5                             | 0,68                      | + 2,82     |
| 39,85                             | 2831,7             | 2,0                             | — 0,11                    | + 2,11     |
| 39,18                             | 2889,4             | 0                               | — 0,51                    | + 0,51     |

Man sieht hieraus, daß dieser Windstrich etwa in der Mitte seiner Höhe, bei 2428 Toisen, seine höchste Temperatur hatte, und diese Temperatur sich aufwärts schneller, abwärts langsamer verminderte, gerade wie es unter ähnlichen Umständen erfolgen mußte.

10. Die dritte Ursache, welche die Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme in der Atmosphäre stört, ist die auf den Berggipfeln und Bergrücken durch gemeinschaftliche Wirkung der Sonne und der stets wechselnden trockenen und dünneren Luft Statt fin-



dende Verdünstungskälte, welche nicht nur die benachbarten Luftschichten erkaltet, sondern auch kältere Luftströme nach der Umgebung verursacht. Daher sind in der Regel die Berggipfel kälter als die Luft im Freien bei gleicher Höhe. Daher umziehen sich diese Höhen mit Nebel, während die entferntere Luft in gleicher Höhe heiter bleibt: indem die Luft aus gleichen und wärmeren Höhen durch die Windstriche an dieselben getrieben wird, setzt sie ihr Wasser als Nebel, Regen, Reif, Schnee oder Eis ab. Auf der genannten Luftreise fand Gay-Lussac die Temperatur o erst in einer Höhe von 5631 Metres (2889 Toisen) über *Paris*, oder in 2909 Toisen über dem Meere, obgleich diese Höhe die Schneegränze der *Pariser* Breite weit, und die Spitze des Mont-blanc um 2810 Fuß übertrifft.

11. Die Thermometerbeobachtungen des Herrn Gay-Lussac auf seiner zweiten aërostatischen Reise (am 16. September 1804) sind ganz geeignet, die Richtigkeit des oben angeführten Gesetzes sowohl, daß nämlich die Temperaturabnahme im Verhältnisse der Luftdichtigkeiten erfolge, als auch die Genauigkeit des für  $x$  gefundenen Werthes zu bestätigen, weil diese Beobachtungen, zumal in den größeren Höhen, von den angeführten Störungen frei sind.

Nachstehende Tabelle zeigt die Berechnung der Gay-Lussac'schen Beobachtungen, mit Weglassung derjenigen, welche bereits im Vorigen aufgeführt worden sind.

| Barometer-<br>stand<br>in Centim. | Höhe<br>in Toisen<br>über Paris. | Beobachtete<br>Temperatur<br>o R. | Berechnete<br>Temperatur. | Differenz. |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------|
| 76,52                             | 0                                | 22°,25                            | —                         | —          |
| 55,81                             | 1555,6                           | 10,0                              | 8,41                      | + 1,59     |
| 51,43                             | 1750,6                           | 8,75                              | 6,89                      | + 1,86     |
| 49,48                             | 1893,9                           | 6,75                              | 5,89                      | + 0,86     |
| 41,41                             | 2654,6                           | 0,75                              | 0,85                      | — 0,10     |
| 39,18                             | 2889,4                           | 0                                 | — 0,51                    | + 0,51     |
| 39,01                             | 2911,6                           | 0,5                               | — 1,07                    | + 1,57     |
| 37,17                             | 3099,3                           | — 2,5                             | — 1,74                    | — 0,76     |
| 36,96                             | 3133,4                           | — 1,25                            | — 1,87                    | + 0,62     |
| 36,70                             | 3151,9                           | — 2,75                            | — 2,64                    | — 0,11     |
| 33,39                             | 3532,0                           | — 5,5                             | — 4,04                    | — 1,46     |
| 32,88                             | 3579,9                           | — 7,5                             | — 4,35                    | — 3,15     |

Nimmt man, um die Folgen der verhältnißmäßsig ungleichen Erwärmung von unten nach oben (8.) zu beseitigen, von diesen Beobachtungen nur jene für die größten Höhen, und legt der Berechnung der ihnen zugehörigen Temperaturen, die bei dem Barometerstande von 39, 8 Centim. beobachtete Temperatur von o R. zu Grunde, statt wie in der vorstehenden Tabelle die Temperatur an der Oberfläche der Erde; so erhält man folgende Werthe:

| Barometer-<br>stand | Höhen<br>in Toisen. | Beobachtete<br>Temperatur. | Berechnete<br>Temperatur. | Differenz. |
|---------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| 39,18               | 2889,4              | 0°                         | 0°                        | 0°         |
| 39,01               | 2911,6              | 0,5                        | — 0,2                     | + 0,7      |
| 37,17               | 3099,3              | — 2,5                      | — 2,5                     | 0          |
| 36,70               | 3151,9              | — 2,75                     | — 2,9                     | — 0,15     |
| 33,39               | 3532,0              | — 5,5                      | — 6,3                     | — 0,3      |
| 32,88               | 3579,9              | — 7,5                      | — 7,5                     | 0          |

Diese Vergleichen zeigen, daß die Differenzen zwischen der Beobachtung und Berechnung nicht größer sind, als die unvermeidlichen Fehler in der Beobachtung mit sich bringen, welche vorzüglich in dem Zurückbleiben des Thermometers beim Auf- oder Niedersteigen des Ballons ihren Grund haben. Man kann sonach das erwähnte Gesetz, welches dieser Rechnung zu Grunde liegt, als hinreichend bewiesen ansehen.

12. Ausser derjenigen Erwärmung, welche die Erdrinde als ein fester Körper durch die Sonne erhält, hängt also die mittlere Temperatur der Erdoberfläche vorzüglich von dem mittlern Drucke der Atmosphäre ab, weil die Erwärmungskraft der Sonne in der Luft von der Luftdichtigkeit bedingt wird. Gesetzt es befände sich an einem Theile dieser Oberfläche, dessen mittlere Temperatur  $10^{\circ}$  R. bei 28" B. betrüge, ein Thal, dessen senkrechte Tiefe 4975 Klafter betrüge, oder in welchem das Barometer einen Stand von 88" hätte, so würde am Grunde dieses Thaies die mittlere Temperatur  $80^{\circ}$  betragen, indem kein Grund vorhanden ist, warum das durch die Erfahrung bewiesene Wärmegesetz nicht eben so abwärts als aufwärts gelten sollte. Die in dieser Luft befindlichen Wasserdämpfe hätten die Dichtigkeit der Dämpfe von 28" B.; das Wasser würde aber erst bei etwa  $109^{\circ}$  R. zum Sieden kommen. Der Himmel würde in dieser Tiefe durch die von den dichteren Dämpfen und der dichteren Luft vermehrte Lichtzerstreuung kaum noch eine blaue Farbe haben, u. s. w. In einer Tiefe von 11290 Klaftern oder von etwa drei deutschen Meilen (bei einem Barometerstande von 377" W.) würde die Luft die

Glühhitze ( $430^{\circ}$  R.) erreichen; bei einer Temperatur von  $10^{\circ}$  R. an der Oberfläche der Erde. Aus diesem Grunde haben die Veränderungen des Barometerstandes an der Oberfläche der Erde auch Einfluß auf die Veränderungen der Temperatur: setzen wir z. B. das Barometer steige von  $27''$  auf  $28''$ , so wird die untere Luft um  $\frac{1}{28}$  dichter, folglich um  $\frac{1}{28} \cdot 0,0215 = 1^{\circ}\frac{1}{8}$  R. erwärmt, und im Gegenfalle erkältet (wenn diese Temperaturänderung nicht durch andere Einflüsse wieder aufgehoben wird).

Durch das angegebene Gesetz der Temperaturabnahme in den verschiedenen Schichten einer Luftsäule läßt sich zugleich die Erwärmungsgröße bestimmen, welche durch die Luft erzeugt wird, wenn diese z. B. in einen tiefen Schacht von der Oberfläche der Erde einströmt, und die durch die untere Verdichtung frei werdende Wärme an die Umgebung absetzt. Betrachten wir ferner den gleichfalls nach dem Mariotte'schen Gesetze constituirten *physischen Zustand einer Wasserdampf-Säule von großer Höhe*, so finden wir, daß in derselben die Natur ein Mittel habe, in die Tiefen einer Spalte oder eines Schachtes von der Oberfläche der Erde aus die Wärme hinabzuführen, und wie in einem Herde bis zu den höchsten Hitzegraden zu concentriren. Auf der Betrachtung dieses Zustandes beruht die Erklärung der Vulkanität, wie ich sie im 3ten Bande der Jahrbücher des polytech. Instituts als Fortsetzung des vorstehenden Aufsatzes gegeben habe,

---