

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Geschichte der inductiven Wissenschaften, der Astronomie, Physik, Mechanik, Chemie, Geologie

von der frühesten bis zu unserer Zeit

Whewell, William

Stuttgart, 1840

Zehntes Buch. Geschichte der Thermotik und Atmologie

Zehntes Buch.

Geschichte der Chermotik und Atmologie.

Et primum faciunt ignem se vortere in auras
Aëris; hinc imbrem gigni terramque creari
Ex imbri: retroque a terra cuncta revorti,
Humorem primum, post aëra deinde calorem;
Nec cessare haec inter se mutare, meare,
De coelo ad terram, de terra ad sidera mundi.

Lucret. I. 783.

Erst lassen sie im luftigen Hauch das Feuer sich wandeln,
Daraus sich Regen erzeugen, aus Regen aber die Erde:
Lassen dann wieder zurück von der Erde sich Jegliches wenden;
Wasser zuerst, dann Luft, zuletzt das Feuer entstehen,
Also im ewigen Wechsel, vom Himmel zur Erde, von dieser
Wieder empor zu den Gestirnen der Welt. — —

Nach Knebel's Uebersetzung.

Einleitung.

Von der Thermotik und Atmologie.

Unter der Benennung Thermotik werden hier alle die Wärme betreffenden Lehren begriffen, die bisher auf einzelnen wissenschaftlichen Unterlagen errichtet worden sind. Unsere Uebersicht dieses Zweiges der menschlichen Erkenntniß wird kürzer und nicht so umständlich sein, wie die der bisher behandelten Gegenstände, da unsere Kenntniß von jenen viel unbestimmter und selbst ungewisser sind, und da sie auch bisher nur geringe Fortschritte zu einer eigentlichen wissenschaftlichen Theorie gemacht haben. Demungeachtet ist die Darstellung dieses Gegenstandes zu wichtig und lehrreich, als daß sie hier ganz mit Stillschweigen übergangen werden könnte.

Auch die Thermotik läßt sich, wie alle anderen Naturwissenschaften, in eine formelle und in eine physische Thermotik eintheilen, von denen jene die bloßen Gesetze der Erscheinungen, diese aber die Ursachen dieser Gesetze enthält. Diese letzte aber können wir auf jene Weise, wie dies für die Astronomie und Optik geschehen ist, nicht darstellen, da bisher noch keine allgemeine Wärmelehre aufgetreten ist, welche uns Mittel und Wege an die Hand gibt, die Verhältnisse und Umstände der Erscheinungen der Konduktion, der Radiation, der Expansion, und die dadurch bewirkten Veränderungen der festen, flüssigen und luftförmigen Körper durch Rechnung zu bestimmen. Doch hat man, über jedes dieser Phänomene, bereits allgemeine Ansichten aufgestellt und auch angenommen, wodurch sie, einzelne wenigstens, erläutert oder erklärt werden, und in einigen besonderen Fällen hat man auch diese Ansichten in ein genaues, mathematisches Gewand zu kleiden und sie auf diese Weise zum Gegenstand eigentlicher Berechnungen zu machen gesucht.

Diese Phänomene nun werden, wenigstens jedes für sich, unsere besondere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, wenn gleich ihre Allgemeinheit noch beschränkt ist, indem die darüber aufgestellten Prinzipien zwar noch nicht alle Klassen der hieher gehörenden Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt darstellen, aber doch mehrere der bisher darüber beobachteten Gesetze zu einem untergeordneten Ganzen verbinden. Man kann sie füglich unter den Aufschriften der Lehre von der Konduktion oder Wärmeleitung; von der Radiation oder Wärmestrahlung, von der specifischen und endlich von der latenten Wärme der Körper zusammenfassen. Diese und einige andere ähnliche bilden die sogenannte eigentliche Thermotik.

Allein außer diesen Sammlungen von Prinzipien, welche die Wärme an sich selbst betreffen, haben die Relationen, welche die Wärme mit der Feuchtigkeit eingeht, noch zu einer anderen Sammlung von Naturgesetzen und Prinzipien Gelegenheit gegeben, die wir hier in Verbindung mit der Thermotik betrachten und unter der Benennung der Atmologie (von dem griechischen Worte *ατμος*, Dampf) begreifen wollen. Die Griechen haben nämlich die unsere Erde umgebende Luft *Atmosphäre* genannt, weil sie dieselbe als eine Sammlung von Wasserdünsten ansahen. Auch sind in der That die allgemeinsten und wichtigsten Erscheinungen in dieser die Erde umgebenden Luft diejenigen, bei denen das Wasser in seinen drei Gestalten, als fester, flüssiger und dampfförmiger Körper, die Hauptrolle spielt. Man hat Veränderungen, wie sie in unserer Atmosphäre vorgehen, in ihrer kollektiven Gestalt, bisher zuweilen auch mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet; allein die nähere Kenntniß dieser Veränderungen ist in der That aus vielen anderen zusammengesetzt, die verschiedenen Wissenschaften angehören; für unseren Zweck aber wird es angemessener sein, diejenigen Theile der Meteorologie, die im Zusammenhange mit dem Gesetze des Wasserdampfes stehen, abgesondert zu betrachten, und diese sind es daher, die wir unter der Benennung der Atmologie begreifen.

Die Instrumente, die man zur Messung der Feuchtigkeit der Luft, d. h. zur Messung des in der Luft enthaltenen Dampfes vorgeschlagen hat, werden bekanntlich Hygrometer genannt, so

wie man die verschiedenen Lehren, von welchen diese Instrumente abhängen oder zu welchen sie geführt haben, Hygrometrie zu heißen pflegt. Allein dieser Ausdruck wurde nicht ganz in dem ausgedehnten Sinne gebraucht, den wir hier mit dem Worte Atmologie verbinden.

Indem wir uns nun zu der Geschichte der Thermotik wenden, wollen wir zuerst den Fortgang der früheren Ansichten und Meinungen über Konduktion, Radiation und ähnliche Erscheinungen vortragen, und dann erst von den neueren Verbesserungen und Erweiterungen sprechen, durch welche diese Ansichten ihrer gewünschten theoretischen Allgemeinheit allmählig näher gebracht worden sind.

Thermotik.

Erstes Kapitel.

Die Lehren von der Konduktion und der Radiation der Wärme.

Erster Abschnitt.

Konduktion der Wärme.

Unter Konduktion (Leitung) der Wärme wird die Fortpflanzung derselben in dem Inneren eines Körpers, oder auch die Fortpflanzung der Wärme von einem Körper zu einem andern, mit jenem in Berührung stehenden, verstanden, wenn z. B. das eine Ende einer Eisenstange im Feuer auch das andere Ende erhitzt, oder wenn dieses andere Ende die Hand erwärmt, von der es gehalten wird. Radiation (Strahlung) der Wärme aber heißt der Uebergang der Wärme von der Oberfläche eines Körpers zu andern, mit jenem nicht in Berührung stehenden Körpern. In beiden Fällen wird offenbar die Wirkung der Erwärmung des kühleren Körpers desto größer sein, je wärmer der andere gegen diesen ist, d. h. es wird in diesem Falle eine größere Mittheilung der Wärme stattfinden. Die einfachste Vorschrift, die man für diese Mittheilung aufstellen kann, ist die, daß die so in einer gegebenen Zeit mitgetheilte Wärme sich wie der Ueberschuß der Wärme der beiden Körper oder der beiden Theile eines Körpers verhält. Wir können keine Beobachtung, die mit dieser Annahme in Widerspruch wäre. Auch hat sie schon Newton als das wahre Gesetz für die Radiation aufgestellt, und andere haben sie auch auf die Konduktion ausgedehnt. Diese Annahme wurde bald nach Newton näherungsweise, später

aber genau bestätigt, so weit sie nämlich die Radiation betrifft. In ihrer Anwendung auf die Konduktion aber wird sie noch heut zu Tage, zur Grundlage der darüber angestellten Berechnungen gemacht. Bemerken wir dabei, daß dies bereits den Besitz eines Wärmemaasses voraussetzt, das mit jenem Gesetze übereinstimmt. In der That wurde auch, wie wir später sehen werden, die thermometrische Skale der Wärme, als dieses Wärmemaass, in Beziehung auf Newton's Radiationsgesetz konstruirt, so daß also auch dieses Gesetz mit jener Skale in unmittelbarem Zusammenhange stehen muß.

In allen den Fällen, wo die Theile eines Körpers ungleich warm sind, wird auch die Temperatur desselben von einem Theile desselben zu den andern sich kontinuierlich ändern. So wird z. B. eine lange Eisenstange, deren ein Ende immer rothglühend erhalten wird, eine stufenweise Abnahme der Temperatur gegen das andere Ende hin zeigen, und das Gesetz dieser Abnahme wird sich durch die Ordination einer Curve, die der Stange entlang-hinzieht, darstellen lassen. Die weiteren Folgerungen des aufgestellten Gesetzes können dann mit Hülfe der Differentialrechnung mathematisch ausgedrückt werden, so wie endlich die Untersuchung, ob das Gesetz selbst richtig oder unrichtig ist, nach den bekannten Vorschriften aller induktiven Wissenschaften, durch die Vergleichung dieser theoretischen Ausdrücke mit den unmittelbaren Beobachtungen erhalten wird.

Diese Vergleichung hätte, wie man sieht, sogleich angestellt werden sollen. Allein dies geschah nicht, vielleicht weil die theoretische Entwicklung der hieher gehörenden Ausdrücke einige Schwierigkeiten verursachte. Selbst in dem so eben erwähnten sehr einfachen Falle, einer dünnen Stange mit konstanter Temperatur eines ihrer Endpunkte, mußten schon die sogenannten partiellen Differentialien zu Hülfe gerufen werden, da man es hier bereits mit drei veränderlichen Größen zu thun hatte, mit der Temperatur, mit den einzelnen Theilen der Stange, und mit der Zeit oder dem Augenblicke, für welchen man die Temperatur dieser Theile bestimmen wollte. Auch fand Biot, als er sich zuerst i. J. 1804 mit diesem Gegenstande beschäftigte, noch ein anderes Hinderniß zu überwinden ¹⁾. „Es zeigt sich

1) M. f. Biot, *Traité de physique*, Vol. IV. S. 669.

hier," sagt Laplace ²⁾ i. J. 1809, „eine bisher noch nicht aufgelöste Schwierigkeit: die von einem Punkte der Stange in einem gegebenen Augenblick erhaltenen und mitgetheilten Wärmemengen müssen nämlich unendlich kleine Größen derselben Ordnung sein, wie die Unterschiede der Temperatur zweier nächsten Schichten des Körpers, so daß also der Exceß der von einer Schichte erhaltenen Wärme über die von ihr mitgetheilte, eine unendlich kleine Größe der zweiten Ordnung sein wird, und daß daher auch die Anhäufung derselben in einer gegebenen Zeit noch keine endliche Größe betragen kann.“ Mir scheint, daß diese Schwierigkeit blos aus einer willkürlichen und unnöthigen Annahme über das Verhältniß der kleinsten Theilchen der Körper hervorgeht. Laplace suchte sie durch weitere Schlüsse zu lösen, die jedoch auf dieselbe Annahme gebaut sind, aus welchen sie hervorgegangen ist. Fourier ³⁾ aber, der ausgezeichnetste

2) Mém. de l'Instit. für d. J. 1809, S. 332.

3) Fourier (Joseph), geb. zu Auxerre i. J. 1768, der Sohn eines Schneiders dieser Stadt, wo er auch seinen ersten Unterricht in der Benediktinerschule erhielt. Er wollte selbst in diesen Orden treten, und hatte bereits sein Noviziat geendet, als die Revolution ausbrach. Er hatte sich früh schon mit Geschichte und Philosophie, besonders aber mit Mathematik beschäftigt, in welchen Gegenständen er auch, in der erwähnten Schule, noch i. J. 1789 als Professor Unterricht gab. Schon 1787 hatte er an die Pariser Akademie ein Memoir über die Auflösung der Gleichungen geschickt, das bereits die Keime seiner künftigen Entdeckungen über diesen Gegenstand enthielt. Da er lebhaften Antheil an den Ereignissen der Revolution nahm, so hatte er auch mit mehreren großen Gefahren zu kämpfen, aus denen er nur durch glückliche Zufälle gerettet wurde. Im Jahre 1794 wurde er Subprofessor der polytechnischen Schule in Paris, wo er bis 1798 blieb. In dem folgenden Jahre machte er, auf Monge's Zureden, die Expedition nach Aegypten mit, wo er Sekretär des Instituts von Cairo war, und sonst auch zu politischen Geschäften von Napoleon öfter verwendet wurde. Nach seiner Zurückkunft wurde er von dem ersten Consul zum Präsekt des Departements Isere im südöstlichen Frankreich gemacht, wo er bis 1815 blieb. Bei Napoleons Zurückkunft von Elba ließ F. eine Proklamation gegen ihn in seinem Departement verbreiten. Die ganze Strafe, mit der ihn Napoleon belegte, war seine Versetzung als Präsekt in das Departement der Rhone. Doch legte er diese neue Stelle am 1. Mai 1815

Beförderer der rein analytischen Theorie der Konduktion, ging einen ganz andern Weg, auf welchem er dieser Schwierigkeit nicht begegnet. Auch gesteht Laplace in der eben erwähnten Schrift⁴⁾, daß Fourier bereits die wahren Fundamentalgleichungen auf seinem eigenen Wege erhalten habe.

Das Uebrige der Geschichte der Konduktion ist größtentheils Fourier's Werk. Nachdem einmal die allgemeine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand geleitet war, machte das Institut von Frankreich im Januar 1810 die mathematische Theorie des Gesetzes der Fortpflanzung der Wärme und die Vergleichung dieser Theorie mit den Beobachtungen zu ihrer Preisfrage Fourier's Memoir, eine Fortsetzung seiner schon i. J. 1807 vorgelegten Schrift, wurde im September 1811 der Akademie übergeben, und der Preis dafür (3000 Franken) wurde ihm im Jahr 1812 zuerkannt. Aber in Folge der politischen Wirren,

wieder nieder, da er Carnot's⁵⁾ Befehl, die Anhänger des Bourbons gefangen zu nehmen, nicht nachkommen wollte. Fourier war zu Paris, als die Nachrichten von der Schlacht von Waterloo daselbst ankamen. Er blieb hier längere Zeit unbeachtet und beinahe mittellos, bis er von seinem früheren Schüler Chabrol eine Aufseherstelle in einem statistischen Bureau erhielt. Im Jahre 1816 wurde er zum Mitglied des Instituts erwählt, aber Ludwig der achtzehnte verweigerte diese Wahl, bis er erst nach einem Jahre zu deren Genehmigung bewogen wurde. Bei Delambre's Tod wurde er zum Sekretär des Instituts erwählt, so wie er auch die Stelle des Laplace als Präsident der polytechnischen Schule erhielt. Er starb zu Paris im Mai 1830. Seine zwei Hauptwerke sind: *Théorie de la chaleur*, Paris 1822, und *Analyse des équations déterminées*, Paris 1831, welche letzte Schrift nach seinem Tode von Navier herausgegeben wurde. Seine übrigen trefflichen Schriften findet man in den *Mém. de l'Acad. de Paris*, in den *Annales de Physique* und in den *Recherches statistiques de la ville de Paris*. Die *Théorie de la chaleur* hat die Gesetze der Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper zum Zwecke, und man findet in diesem Werke eine erweiterte Integration der partiellen Differentialgleichungen, die Auflösung der Gleichungen mit unendlich vielen Gliedern, Ausdrücke der Funktionen durch sogenannte bestimmte Integralien u. f. Die *Analyse des équations* gibt eine neue Auflösung, die Wurzeln numerischer Gleichungen zu bestimmen, und man erwartet noch den zweiten Theil dieses von dem Herausgeber Navier versprochenen Werkes. L.

4) Ibid. S. 538.

die damals in Frankreich herrschten, oder vielleicht auch aus anderen Gründen, wurden diese wichtigen Abhandlungen erst i. J. 1824 gedruckt. Auszüge davon aber wurden bereits 1808 in den *Bulletin des Sciences*, und 1816 in den *Annales de Chimie*, gegeben, so wie denn auch Poisson und Cauchy das Manuscript selbst schon früher eingesehen hatten.

Es kann nicht meine Absicht sein, hier einen Bericht von den analytischen Verfahren zu geben, durch welche Fourier zu seinen Resultaten gelangt ist ⁵⁾. Die Kunst und Geschicklichkeit, die der Verfasser in diesen Abhandlungen entwickelt, haben sie zu dem Gegenstande der gerechten Bewunderung der Mathematiker gemacht. Uebrigens bestehen sie gänzlich nur in den Deductionen des bereits erwähnten Grundprinzips, das die Quantität der von einem warmen zu einem kältern Punkte geleiteten Wärme dem Ueberschusse der Wärme beider Punkte proportional ist, modificirt durch die Konduktivität (Leitungsfähigkeit) eines jeden besondern Körpers. Die daraus hervorgehenden Gleichungen haben nahe dieselbe Gestalt, wie diejenigen, die man für die allgemeinsten Probleme der Hydrodynamik aufgestellt hat. Außer dieser Auflösung von Fourier haben auch Laplace, Poisson und Cauchy ihr großes analytisches Talent in der Behandlung dieser Formeln versucht. Wir werden später von der Vergleichung dieser theoretischen Resultate mit denen der Beobachtungen sprechen, und bei dieser Gelegenheit auch einiger Folgen erwähnen, zu welchen diese Vergleichung Gelegenheit gegeben hat. Allein ehe wir dies thun, müssen wir zuerst noch die Radiation der Wärme betrachten.

Zweiter Abschnitt.

Radiation der Wärme.

Jeder heiße Körper, wie z. B. eine Masse glühenden Eisens, schießt Wärme in seine Umgebung aus, wie wir schon durch unser Gefühl bemerken, wenn wir uns einem solchen Körper nähern, und wie denn auch alle warmen Körper auf diesem

5) Ich habe einen solchen Bericht gegeben in dem Report of the British association for 1835.

Wege endlich ganz ausfühlen. Der erste Schritt zur wissenschaftlichen Erkenntniß dieser Erscheinung wurde in Newton's Prinzipien gemacht. „Es war die Bestimmung dieses großen Werkes,“ sagt Fourier, „die Ursachen der vorzüglichsten Erscheinungen in der Natur zu geben oder doch anzudeuten.“ Newton nahm, wie gesagt, an, daß die Auskühlung eines Körpers, d. h. die Mittheilung seiner Wärme an die ihn umgebenden Körper, seiner Wärme selbst proportional sei, und auf dieser Annahme beruhte auch die Verifikation seiner Wärmeskale. Eine einfache Folge aus dieser Annahme ist, daß die Temperatur eines Körpers im geometrischen Verhältniß abnimmt, wenn die Zeiten der Verköhlung im arithmetischen Verhältniß zunehmen. Kraft und nach ihm Richman suchten dieses Gesetz durch direkte Beobachtungen über das Verköhlen von mit warmem Wasser gefüllten Gefäßen zu prüfen. Aus diesen Beobachtungen, die später auch von mehreren andern wiederholt wurden, folgt, daß für Temperaturdifferenzen, die 50° Centigr. nicht übersteigen, durch die erwähnte geometrische Progression die Verköhlung der Körper mit erträglicher, aber keineswegs mit vollkommener Genauigkeit dargestellt wird.

Auch dieses Prinzip der Wärmestrahlung mußte, wie jenes der Wärmeleitung, auf mathematischem Wege verfolgt werden. Es mußte aber auch dasselbe gleich anfangs eine Verbesserung erhalten, denn es war klar, daß der Grad der Abkühlung nicht von der absoluten Temperatur des Körpers, sondern von dem Ueberschusse seiner Temperatur über die der umgebenden Körper abhängt. Die Physiker bemühten sich, diesen Prozeß der Abkühlung der Körper auf mannigfaltige Art zu erklären oder zu erläutern. So machte Lambert ⁵⁾ in seiner Schrift über die

6) Lambert (Joh. Heinr.), geb. 26. Aug. 1728 zu Mühlhausen im Sundgau, der Sohn eines armen Schneiders, zu dessen Handwerke er auch bestimmt wurde. Seine zierliche Handschrift aber erwarb ihm die Stelle eines Schreibers und Buchhalters bei einem Eisenwerk. Im Jahr 1746 kam er als Sekretär zu Iselin nach Basel, und von da als Hauslehrer zu dem Präsidenten Salis. Mit seinen Zöglingen machte er 1756–58 wissenschaftliche Reisen nach Holland, Frankreich und Italien, und ließ sich dann in Augsburg nieder, wo er 1759 seine „Photometrie“ herausgab. Im Jahre 1764 ging er nach Berlin, wo

Kraft der Wärme (von d. J. 1755) den Versuch, die Radiation mit dem Ausströmen einer Flüssigkeit von einem Gefäße in ein anderes, bloß durch den Ueberschuß des Druckes, zu vergleichen, woraus er dann auf mathematischem Wege die Gesetze dieser Erscheinung ableitet. Aber weitere Erfahrungen über diesen Gegenstand führten bald zu anderen Ansichten desselben. Man fand, daß die Wärme durch die Radiation in gerader Linie, gleich dem Lichte, fortgepflanzt wird, daß sie, wie das Licht, durch Spiegel reflektirt und dadurch in einen Fokus von intensiver Wirkung vereinigt werden kann u. dgl. Solche Ansichten waren offenbar viel geeigneter, die Erscheinungen der Radiation mit Genauigkeit zu bestimmen. Doch zeigte sich bald auch ein anderes Phänomen, das, anfangs wenigstens, wieder neue Hindernisse zu erzeugen schien. Man fand nämlich, daß nicht bloß die Wärme, sondern daß auch die Kälte einer solchen Reflexion fähig sei. Wenn durch einen Hohlspiegel die Wirkung einer Masse von Eis auf das Thermometer konzentriert wird, so sah man das Thermometer fallen. Sollte man nun die Kälte eben so, wie früher die Wärme, für eine reelle Substanz halten?

Die Antwort auf diese und ähnliche Fragen wurde zuerst von Prevost⁷⁾, Professor zu Genf, gegeben, dessen Theorie der Radia-

ihn Friedrich II. zum Oberbaurath und zum Mitglied der Berliner Akademie ernannte, und wo er auch am 25. Sept. 1777 starb. Er galt für einen der ersten Mathematiker und Philosophen seiner Zeit. Seine übrigen vorzüglichsten Schriften sind: „Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung des Wahren,“ Leipzig 1764, II Bde. Anlage zur Architectonik des Einfachen und Ersten in der philos. und mathem. Erkenntniß, Riga 1771, II Bde. Kosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaues, Augsburg 1761. Eine Biographie von ihm gab Daniel Huber, Basel 1809. L.

7) Prevost (Isaak Benedikt), geb. 7. Aug. 1755 zu Genf von armen Aeltern. Nach einer sehr mittelmäßigen Erziehung widmete er sich anfangs der Kupferstecherkunst, und später dem Handel. Auch diesen wieder verlassend übernahm er die Erziehung der Söhne Delmas von Montauban, wo er sich den Wissenschaften, besonders der Physik und Mathematik widmete, in welchen sich bald auszuzeichnen ihm besonders der nahe wohnende geschickte Astronom Duc Lachapelle Gelegenheit gab. Im Jahr 1810 wurde er Professor der protest. Theologie

tion um d. J. 1790 erschien. Nach ihm strömt der Wärmestoff (Calorique) immerwährend von der Oberfläche aller Körper in geraden Richtungen aus, und zwar desto mehr, je heißer diese Körper sind. Daraus folgt ein beständiger Wechsel und Uebergang der Wärme zwischen benachbarten Körpern, und jeder derselben wird wärmer oder kälter, je nachdem er von seiner Umgebung mehr Wärmestoff erhält, als er selbst aussendet, und umgekehrt. Auch wird ein Körper von einem ihm nahen kälteren abgekühlt, weil jener seine geradlinigen Wärmestrahlen in größerer Menge zu diesem sendet, als er von dem kälteren Körper auf demselben Wege erhält. — Diese Wechseltheorie schien einfach und genügend, und wurde daher auch bald allgemein angenommen. Allein wir müssen sie doch mehr als eine einfache Art des Ausdrucks für die Abhängigkeit der Wärmemittheilung von dem Ueberschuß der Wärme, denn als ein bestimmtes Gesetz betrachten, auf welches man die Erklärung dieser Erscheinung mit Klarheit und Sicherheit erbauen kann.

Leslie und andere haben eine Menge von merkwürdigen Untersuchungen über die Wirkung verschiedener erwärmender und erwärmter Körper angestellt. Ohne dabei zu verweilen, will ich nur bemerken, daß man den relativen Betrag der das Licht ausstrahlenden und dasselbe in sich aufnehmenden Oberflächen der Körper für jeden derselben durch bestimmte Zahlen auszudrücken pflegt. Wir werden weiter unten von diesen Zahlen bei Gelegenheit unserer Betrachtung der äußeren Leitbarkeit (Konduktivität) sprechen, im Gegensatz von der inneren Leitbarkeit, die sich auf die Fortpflanzung der Wärme in dem Inneren der Körper bezieht. Fourier im Gegentheile bediente sich der Ausdrücke Konduktibilität und Konducibilität, die mir ganz unangemessen scheinen, da man doch nicht die Körper in Beziehung auf ihre Wärme konduktibel oder konducibel nennen

zu Montauban, wo er auch 18. Juni 1819 starb. Man hat von ihm nur ein größeres Werk: *Sur la cause de la carie ou du charbon des blées*, Par. 1807, aber dafür viele Aufsätze in den Memoiren verschiedener Akademien, in den *Annales de chimie* 1797, 1802, 1819; in der *Biblioth. britannique* 1801, 1815. Weitere Nachrichten findet man in *Notice de la vie et des écrits de Prevost*, Genève 1820.

kann. Ich habe daher den Ausdruck etwas geändert und die Körper in dieser Beziehung konduktiv oder leitbar genannt.

Dritter Abschnitt.

Verifikation der Lehre von der Konduktion und Radiation der Wärme.

Die innere und äußere Leitbarkeit (Konduktivität) der Körper kann also durch Zahlen ausgedrückt werden, und diese Zahlen werden als die Elemente oder als die Koeffizienten der mathematischen Berechnungen betrachtet, die man auf die Lehre von der Konduktion und Radiation der Wärme gegründet hat. Diese Koeffizienten werden für jeden besondern Fall durch die geeigneten Versuche bestimmt, und wenn der Beobachter diese Zahlen sowohl, als auch die mathematische Auflösung seines Problems einmal gefunden hat, so kann er auch die Richtigkeit der von ihm zu Grunde gelegten Prinzipien durch die Vergleichung der Theorie mit der Beobachtung einer scharfen Prüfung unterwerfen. Dies hat z. B. Biot ⁸⁾ für das Gesetz der Konduktion in dem einfachen Fall eines Metallstabes gethan, der an seinem einen Ende erhitzt wird, und die Uebereinstimmung der Theorie mit den Experimenten konnte als genügend angesehen werden. Schwerer aber war es, in den mehr zusammengesetzten Fällen, die Fourier betrachtet hatte, dieselbe Vergleichung mit hinlänglicher Schärfe anzustellen. Einige andere merkwürdige Relationen jedoch, die er in den verschiedenen Temperaturen metallener Ringe auf theoretischem Wege entdeckte, haben uns ein gutes Criterium von dem Werthe seiner Berechnungen und zugleich eine Bestätigung ihrer Genauigkeit gegeben ⁹⁾.

Man kann demnach annehmen, daß die Theorie der Konduktion und Radiation der Wärme mit genügender Sicherheit aufgestellt ist, so daß man die Anwendung derselben auf mehrere merkwürdige Fälle mit Recht in die Geschichte dieser Wissenschaft aufnehmen darf. Wir wollen sie sogleich näher betrachten.

8) Biot, *Traité de physique*, Vol. IV. S. 671.

9) M. s. *Mém. de l'Institut*. 1819, S. 192, herausgegeben im Jahr 1824.

Vierter Abschnitt.

Geologische und kosmologische Anwendung der Thermetik.

Bei weitem die meisten Anwendungen dieser Lehren hat man auf unserer Erde und auf die Klimate derselben gemacht, so weit diese letzten durch die Modifikationen der Temperatur bestimmt werden; und auf demselben Wege suchte man sich auch zu anderen verwandten Gegenständen des Weltalls zu erheben. Wenn wir Mittel besäßen, diese terrestrischen und kosmischen Phänomene in hinlänglicher Ausdehnung zu beobachten, so würde man ohne Zweifel sehr schätzenswerthe Thatsachen haben, auf dem eine Theorie wohl mit Sicherheit errichtet werden könnte; sie würden dann nicht bloß äußere Zusätze, sondern wahre integrirende Theile unserer allgemeinen Wärmelehre bilden. Dann würde man nämlich die Gesetze von der Fortpflanzung der Wärme, die wir bisher nur aus unseren Versuchen mit verhältnißmäßig sehr kleinen Körpern gefunden haben, auch auf die analogen Erscheinungen im Weltall ausdehnen können, ganz so, wie man die Gesetze der Bewegung auch auf die Bewegung der himmlischen Körper angewendet hat. — Allein uns fehlen beinahe alle Kenntnisse von den Verhältnissen, welche die anderen Körper unseres Sonnensystems gegen die Wärme beobachten, und selbst von unserer Erde sind uns diese Verhältnisse nur in Beziehung auf ihre Oberfläche bekannt geworden. Was wir daher von der Rolle wissen, welche die Wärme im Innern der Erde sowohl, als auch unter den Körpern des Himmels, zu spielen hat, wird größtentheils, nicht eine Erweiterung, eine Generalisation unserer beschränkten Beobachtungen, sondern nur eine Deduktion aus den von uns aufgestellten theoretischen Prinzipien sein können. Aber auch dann noch müssen diese Erkenntnisse, mögen sie nun unmittelbar aus unseren Beobachtungen oder aus unseren Theorien entspringen, der Natur der Sache nach für uns sehr wichtig und von großem Interesse sein.

Hieher gehört nun vorzüglich die Wirkung der Sonnenhitze auf die Erde, die Gesetze der Klimate auf der Oberfläche der Erde, die Wärmeverhältnisse des Inneren der Erde, und endlich

die des himmlischen Raumes, in welchem sich die Planeten bewegen.

I. Einfluß der Sonnenhitze auf die Erde.

Daß die Sonnenwärme auf verschiedene Weise, je nach der Beschaffenheit der Tages- und Jahreszeiten unter die Oberfläche der Erde dringt, ist eine längst und allgemein bekannte Sache. Die Art aber, wie dies geschieht, wird man entweder durch unmittelbare Beobachtungen oder durch Schlüsse ableiten können. Beide Wege wurden zu diesem Zwecke versucht ¹⁰⁾.

Saussure ¹¹⁾ ließ zu dieser Absicht i. J. 1785 Löcher in die Erde graben, und fand, daß die jährliche Variation der Temperatur in der Tiefe von nahe einunddreißig Fuß unter der Oberfläche der Erde nur mehr den zwölften Theil von der auf jener Oberfläche beträgt. — Leslie befolgte ein besseres Verfahren, indem er die Kugel seines Thermometers tief in die Erde vergrub, während die Röhre desselben noch über die Oberfläche derselben hervorragte. Auf diese Weise beobachtete er zu Abbots-hall in Gifeshire in den Jahren 1815—17 die Temperatur der

10) M. s. Leslie, Artikel Climate, in deren Supplem. zu der Encyclop. Brit. 179.

11) Saussure (Horaz Benedikt), geb. 17. Febr. 1740 zu Genf, wurde schon in seinem 22. Jahre Professor der Philosophie in seiner Vaterstadt. Sein näherer Umgang mit Bonnet und Haller bestimmten ihn für die Naturwissenschaften, und zwar vorzüglich für die Gebirgslehre und die Geologie überhaupt, und endlich für die Meteorologie, die er der erste im großen wissenschaftlichen Style behandelte. Ihm verdankt man wesentliche Verbesserungen der meteorologischen Instrumente, des Thermometers, Hygrometers, des Eubio-, Elektro-, Anemo-Meters u. s. Die von ihm gesammelten Erfahrungen und darauf gebauten Schlüsse sichern ihm den Rang unter den ersten Naturforschern. Seine vorzüglichsten Werke sind: Hygrométrie 1783; Voyages dans les Alpes, 1779—96. III. Vol. nebst mehreren Aufsätzen in dem Journal de physique, VII; im Journal de Genève von 1774; in der Bibl. britannique, Vol. I, II et III. Auch ist er der erste, der am 21. Juli 1788 den Mont-Blanc, und 1789 den Monte Rosa bestiegen hat. Nach wiederholten Schlaganfällen, die ihn die vier letzten Jahre an das Krankenbette fesselten, starb er am 22. Januar 1799. L.

Erde in der Tiefe von 1, 2, 4 und 8 Fuß. Das Resultat dieser Beobachtungen war, daß die äußersten jährlichen Variationen der Temperatur desto mehr abnehmen, je tiefer wir unter die Oberfläche der Erde herabsteigen. In der Tiefe von einem Fuß betrug die jährliche Aenderung der Temperatur 25 Grade Fahrenheit und so fort, wie folgende kleine Tafel zeigt.

Tiefe	Jährliche Aenderung.
1 Fuß . . .	25° Fahrenh. 11.°1 Réaum.
2 „ . . .	20 „ 8.9 „
4 „ . . .	15 „ 6.7 „
8 „ . . .	9½ „ 4.2 „

Auch die Epoche der größten Wärme des Jahrs rückt immer später zurück, je tiefer man geht. In der Tiefe von einem Fuß fiel die größte oder kleinste Wärme drei Wochen nach dem Sommer- oder Wintersolstitium; für zwei Fuß vier bis fünf Wochen; für vier Fuß schon zwei Monate, und für acht Fuß endlich volle drei Monate. Dabei war die mittlere Temperatur aller seiner Thermometer immer nahe dieselbe. Ähnliche Resultate erhielt auch Ott zu Zürich i. J. 1762 und Herrenschneider zu Straßburg i. J. 1821—23 ¹²⁾.

Diese Resultate sind auch bereits durch Fourier's Theorie der Konduktion erklärt. Er hat gezeigt ¹³⁾, daß, wenn eine periodische Wärme auf die Oberfläche einer Kugel einwirkt, gewisse Wärmewechsel regelmäßig in das Innere der Kugel vordringen, und daß die Amplitude dieser Abwechslungen in einer geometrischen Progression abnimmt, wenn man nach einer arithmetischen Progression in das Innere der Kugel eintritt. Diese Schlüsse lassen sich sofort auf die Wirkung der Tages- und Jahreszeiten bei der Temperatur der Erde anwenden, und sie zeigen uns, daß die von Leslie gemachten Beobachtungen als Beispiele für die analogen allgemeinen Erscheinungen bei der Erde dienen können, wie sie dann auch vollkommen mit den Prinzipien übereinstimmen, auf welchen Fourier's Theorie erbaut ist.

12) M. f. Pouillet's *Météorologie*, Vol. II. S. 643.

13) *Mém. de l'Institut* für das Jahr 1821 (herausgegeben 1826), S. 162.

II. K l i m a t e.

Durch das Wort Klima (*κλίμα*, Neigung) bezeichneten die Alten die Lage der Erdoberfläche gegen die Ekliptik, aus der bekanntlich die Verschiedenheit der Tageslängen für verschiedene geographische Breiten entsteht. Dieser Unterschied der Tageslänge ist auch mit einem Unterschiede der thermometrischen Verhältnisse verbunden, indem die dem Aequator näheren Orte der Oberfläche der Erde auch zugleich eine höhere Temperatur besitzen, als die näher bei den beiden Polen liegenden Orte. — Es war wohl eine sehr natürliche Frage, nach welchem Gesetze diese Wärmeänderung vor sich gehe.

Allein die Antwort auf diese Frage setzte die bereits erworbene Kenntniß anderer Wahrheiten voraus und war überhaupt mit mancherlei Hindernissen umgeben. Auf welche Weise soll man die Temperatur irgend eines Ortes mit Genauigkeit bestimmen? — Offenbar durch die sogenannte mittlere Temperatur desselben: aber wie gelangt man zu derselben? Ohne Zweifel sind dazu vielfache Beobachtungen, genaue Instrumente und umsichtige Methoden nothwendig. — Erste Annäherungen an diese Kenntniß der mittleren Temperatur eines Ortes lassen sich allerdings ohne Schwierigkeit erhalten, z. B. durch die Beobachtung der Temperatur von tiefen Quellen, die wahrscheinlich mit der Temperatur des Bodens in derjenigen Tiefe gleich ist, zu welcher die jährlichen Wärmeänderungen nicht mehr gelangen können. Auf diesem Wege fand L. Mayer, daß die mittlere Temperatur jedes Ortes sehr nahe dem Quadrate des Cosinus seiner geographischen Breite proportional ist. Allein dieses Gesetz bedarf, wie man später gefunden hat, beträchtliche Verbesserungen, und es scheint, daß die mittlere Temperatur eines Ortes nicht allein von der Breite, sondern auch noch von der Vertheilung des Landes und Wassers und noch von manchen andern Bedingungen abhängig ist. Humboldt¹⁴⁾ hat diese Abweichungen von jenem Gesetze durch seine Charte der Isothermen bezeichnet, und Brewster bemühte sich, dieselben durch die Annahme von

14) M. f. British Associat. 1833, und Forbes, Report on Meteorology, S. 215.

zwei Polen der größten Kälte auf ein bestimmtes Gesetz zurückzuführen.

Der analytische Ausdruck, den Fourier ¹⁵⁾ für die Vertheilung der Wärme in einer homogenen Kugel findet, kann mit Mayer's empirischer Formel nicht unmittelbar verglichen werden, da jener Ausdruck auf der bestimmten Voraussetzung beruht, daß der Aequator der Erde stets dieselbe Temperatur beibehält. Demungeachtet stimmen sie beide im Allgemeinen überein. Denn nach jener Theorie hat auch in diesem Falle eine Abnahme der Temperatur von dem Aequator zu den Polen hin statt; die Wärme pflanzt sich von dem Aequator und den ihm nahe liegenden Gegenden zu den Polen hin fort und verbreitet sich dann von diesen Polen durch Radiation in den sie umgebenden Raum. Und eben so wird also auch bei unserer Erde die Sonnenwärme in den tropischen Gegenden in sie eindringen, und dann von da einen steten Abfluß gegen die Pole hin erhalten, und von diesen endlich, indem sie die Erde ganz verläßt, durch Radiation in den Himmelsraum übergehen.

Das Klima eines Ortes wird aber, außer der durch die solide Erdmasse bewirkten Konduktion und Radiation der Wärme, noch durch manche andere theoretische Einflüsse bedingt. Die Atmosphäre zum Beispiele wirkt, wie wir alle wissen, sehr bedeutend auf die terrestrische Temperatur ein, aber wir sind noch nicht dahin gekommen, diese Wirkungen durch Rechnung zu bestimmen ¹⁶⁾, und es ist für sich klar, daß diese Wirkungen nicht bloß von der Fähigkeit der Luft, die Wärme durchzulassen, sondern noch von vielen anderen Eigenschaften derselben abhängen, so daß wir, für jetzt wenigstens, gezwungen sind, diesen Gegenstand ganz fahren zu lassen.

III. Temperatur des Innern der Erde.

Die Frage von der Temperatur des Innern der Erde hat immer großes Interesse erregt, da sie mit einem andern wichtigen Zweig der Naturwissenschaften in innigem Zusammenhange

15) In den Mém. de l'Institut. Vol. V. S. 173.

16) M. f. Fourier, in den Mém. de l'Institut. Vol. VII. S. 584.

steht. Die verschiedenen Thatsachen, die man für den flüssigen Zustand der centralen Theile der Erde anführen wollte, gehören zwar im Allgemeinen in die Geologie, aber sie dürfen auch hier schon in Betrachtung gezogen werden, da sie ihre eigentliche Beleuchtung von jenen theoretischen Untersuchungen, ohne welche sie nicht gehörig beurtheilt werden können, erhalten müssen.

Die Hauptfrage ist eigentlich die: — Wenn die Erde eine ihr eigenthümliche, ursprüngliche Hitze, unabhängig von dem Einfluß der Sonne, hatte, welche Wirkungen mußte diese Hitze hervorbringen, und wie weit berechtigen uns unsere Beobachtungen über die Temperatur der Oberfläche der Erde zu einer solchen Voraussetzung? So wurde z. B. behauptet, daß in den Minen und in gewissen Höhlen die Temperatur des Bodens mit der Tiefe desselben wachse, und zwar im Verhältniß von nahe hundert Pariser Fuß auf einen Grad des Reaumur. Thermometers. Was soll man daraus schließen?

Die Antwort auf diese Frage hat Fourier und Laplace gegeben. Jener hat bereits das Problem der Abkühlung einer großen Kugel in den Jahren 1807, 1809 und wiederholt 1811 betrachtet. Allein diese Abhandlungen Fourier's lagen manche Jahre ungedruckt in den Archiven des französischen Instituts. Als aber im Jahr 1820 häufige Beobachtungen wieder die Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand zurückgeführt hatten, gab Fourier¹⁷⁾ eine summarische Uebersicht der von ihm erhaltenen, auf diesen Gegenstand sich beziehenden Resultate. Sein Schluß war, daß eine solche Zunahme der Temperatur nur der Rest einer ursprünglichen inneren Hitze der Erde sein kann; daß die der Erde von der Sonne mitgetheilte Wärme, in ihrem letzten und bleibenden Zustande, in derselben Tiefe unter der Oberfläche der Erde überall dieselbe sein wird, wenn man nämlich von den oben erwähnten Oscillationen der Wärme auf dieser Oberfläche abstrahirt, und daß endlich diese von der Sonne kommende Erwärmung der Erde, ehe sie in dem Inneren derselben ihre Grenze erreicht, von der Oberfläche zum Mittelpunkte der Erde abnehmen, nicht aber wachsen muß. Auch ging aus diesen Rechnungen Fourier's hervor, daß jener Rest der ursprünglichen

17) M. f. Bulletin des Sciences, 1820, S. 58.

Hitze im Inneren der Erde sehr wohl mit der Abwesenheit aller merkbaren Spuren derselben auf der Oberfläche der Erde bestehen kann, und daß dieselbe Ursache, welche die Temperatur der Erde in ihrem Inneren um einen Grad für hundert Fuß wachsen macht, die Oberfläche derselben noch nicht um den vierten Theil eines Grades wärmer macht, als sie ohne diese Ursache sein würde. Auch wurde Fourier zu einigen, obschon nur sehr unbestimmten Folgerungen über die offenbar sehr lange Zeit geführt, welche die Erde gebraucht haben mag, um von ihrer ursprünglichen Inkandescenz bis zu ihrem gegenwärtigen Zustande auszukühlen, so wie auch über die noch in der Zukunft zu erwartende Abnahme ihrer Temperatur, die, wie er zeigt, ganz unmerklich sein wird. Alle Erscheinungen der Weltgeschichte seit dem Ursprunge des Menschengeschlechtes scheinen uns zu zeigen, daß während dieser Periode keine bemerkbare Aenderung der Temperatur auf der Oberfläche der Erde aus dieser allmählichen Abkühlung ihres Innern entstanden ist. Laplace ¹⁸⁾ hat auch den Einfluß berechnet, den irgend eine Verminderung des Halbmessers der Erdkugel durch diese Auskühlung derselben auf die Länge des Tages haben würde. Er zeigte auf mathematischem Wege, daß diese Länge des Tages seit der Zeit Hipparch's (d. h. seit dem Jahre 150 vor Ch. G.) nicht um den zweihundertsten Theil einer Sekunde kleiner geworden ist, eine Folgerung, die mit jener von Fourier sehr wohl übereinstimmt. In Beziehung auf diese äußerst geringe Aenderung der Temperatur der Erde läßt sich nicht bezweifeln, daß alle diese merkwürdigen Resultate auf eine sehr befriedigende Weise aus jener beobachteten Zunahme der Erdwärme in größeren Tiefen abgeleitet worden sind; daß sonach die Prinzipien dieser wissenschaftlichen Spekulation auf längst vergangene Zustände der Erde sich erstrecken, und daß sie uns über Ereignisse in sehr entfernten Zeiten Kunde geben, die, ohne diese Mittel, ganz außer unserem Bereiche liegen würden.

IV. Temperatur des Weltraums.

Ganz auf dieselbe Weise wurde auch diese Spekulation zu Hülfe gerufen, um uns über die Eigenthümlichkeiten des Welt-

18) M. f. *Connaiss. des tems* für d. J. 1823.

raumes zu belehren, die allen unseren Beobachtungen gänzlich unzugänglich geblieben wären. Fourier's Theorie der Wärme führt uns zu Schlüssen über die Temperatur jener weiten Räume, welche die Erde umgeben, und in welchen die Planeten unseres Sonnensystems sich bewegen. In einem i. J. 1827 bekannt gemachten Memoir ¹⁹⁾ behauptet Fourier, daß diese planetarischen Räume, seinen Prinzipien zufolge, nicht absolut kalt wären, sondern daß sie eine „eigenthümliche Wärme“ besitzen, die unabhängig von dem Einfluß der Sonne ist. Wenn sie diese Wärme nicht besäßen, so würde, sagt er, die Kälte unserer Polargegenden viel intensiver sein, als sie in der That ist, und auch die von dem Einfluß der Sonne entspringende Abwechslung der Wärme und Kälte auf der Oberfläche der Erde würde viel stärker sein und viel schneller eintreten, als wir dies jetzt bemerken. Den Grund dieser Wärme des Weltraumes findet er in der Radiation des Lichtes der zahllosen Sterne, die durch das ganze Weltall zerstreut sind.

„Daß dies alles sich in der That so verhalte,“ sagt Fourier ²⁰⁾, „schließen wir vorzüglich aus unserer mathematischen „Discussion dieses Gegenstandes.“ Mir ist nicht bekannt, ob seine Berechnungen darüber irgendwo bekannt gemacht worden sind. Aber es verdient doch bemerkt zu werden, daß Swanberg ²¹⁾ zu derselben Ansicht von dieser Temperatur des Planetenraumes (nämlich 45 Grade R. unter Null), wie Fourier, und jener auf einem ganz anderen Wege geführt worden ist, indem er nämlich das Verhältniß unserer Atmosphäre zur Wärme überhaupt untersuchte.

Indem so die Rede auf diese Gegenstände gefallen ist, bin ich vielleicht verleitet worden, dem Leser sehr unvollständige und selbst zweifelhafte Anwendungen der mathematischen Theorie der Konduktion und der Radiation mitzutheilen. Immerhin können sie uns zeigen, daß die Thermotik eine Wissenschaft ist, die, gleich der Mechanik, aus Experimenten entstanden ist, die wir nur an verhältnißmäßig kleinen, unseren Kräften noch zu-

19) Mém. de l'Institut. Vol. VII. S. 580.

20) Ibid. S. 581.

21) M. s. Berzelius, Jahresbericht, XI. S. 50.

gänglichen Körpern angestellt haben, und die demungeachtet die Auflösung der größten geologischen und kosmischen Probleme als ihren Hauptzweck betrachten. — Gehen wir jetzt wieder zu unseren eigentlichen thermotischen Untersuchungen zurück.

Fünfter Abschnitt.

Correktion des Newton'schen Gesetzes der Radiation.

Nach Newton's oben erwähntem Gesetze ist die von einem Körper mitgetheilte Wärme der Ueberschüsse seiner Temperatur proportional. Wir haben bereits früher (im Eingange des Absch. I, Kap. I) gesagt, daß dieses Gesetz von Newton's Nachfolgern zuerst annähernd richtig gefunden und später verbessert worden ist. Diese Verbesserung war das Resultat der Untersuchungen, die Dulong und Petit²²⁾ im Jahr 1817 über diesen

22) Petit (Alexis Therese), geb. 1791 zu Besoul, machte seine ersten Studien in der Centralschule zu Besançon, wo er sich vorzüglich mit den alten Sprachen und der Mathematik beschäftigte. Nachdem er in Paris die freundliche Unterstützung und Belehrung Hachette's genossen hatte, wurde er, in seinem sechszehnten Jahre, in die polytechnische Schule aufgenommen. In wenig Jahren erhob er sich in dieser Schule zum Repetitor, und wurde zugleich zum Professor an dem Lyceum (College Bourbon) ernannt. Im Jahre 1812 wurde er auch Professor der Physik an der polytechnischen Schule. Der Gram über den Verlust seiner jungen Frau zog ihm eine Brustkrankheit zu, an der er am 21. Juni 1820 im 29. Jahre seines Alters starb. Diese kurze Lebenszeit reichte hin, sich in der Geschichte der Physik einen dauernden Namen zu erhalten. Wir haben von ihm ein mit Arago, seinem Schwager, herausgegebenes Memoir (Annales de physique 1814) über die Aenderungen, welche die Wärme in der das Licht brechenden Kraft der Körper erzeugt und einen Aufsatz Ibid. 1818) über die Anwendung des Prinzips der lebendigen Kraft bei der Berechnung der Maschinen. In demselben Jahre 1818 übergab er der Par. Akademie die Resultate der Arbeiten, die er gemeinschaftlich mit Dulong über die Theorie der Wärme angestellt hatte. Dieses von der Akademie gekrönte Memoir wurde in dem Journal de l'école polytechnique und in den Annales de physique bekannt gemacht. Ein ähnliches mit Dulong verfaßtes Memoir, über die spezifische Wärme der Körper, wurde dem Institut de France i. J. 1819 übergeben. Sein Eloge von Biot findet man in dem Vol. XVI der Annales de physique und in dem Vol. I des Annuaire nécrologique von Mahul. L.

Gegenstand angestellt haben. Die Art, auf welche sie zu dem wahren Gesetze dieser Erscheinung gelangt sind, ist ein sehr merkwürdiges Beispiel von einem mit unermüdlichem Eifer durchgeführten Experimente und zugleich von einer der scharfsinnigsten Induktionen. Ihre Beobachtungen wurden unter sehr hohen Graden der Temperatur (bis 240 Grade des hunderttheiligen Thermometers) angestellt, was auch nothwendig war, da die Abweichung des Newton'schen Gesetzes erst bei hoher Temperatur merklich wird. Die Einwirkung des umgebenden Mediums auf die ihrer Untersuchung unterworfenen Körper entfernten sie dadurch, daß sie ihre Experimente im leeren Raume anstellten. Ueberdies wußten sie die Bedingungen und Vergleichen dieser Experimente mit sehr umsichtiger Sorgfalt auszuwählen, indem sie, so oft dies möglich war, nur eine der zu beachtenden Größen variiren ließen, während alle anderen konstant blieben. Durch dieses Verfahren gelangten sie endlich zu dem wahren Gesetze dieses Phänomens, „daß nämlich die Geschwindigkeit der Abkühlung für jeden konstanten Ueberschuß der Temperatur in einer geometrischen Progression wächst, wenn die Temperatur des umgebenden Mittels in einer arithmetischen Progression zunimmt,“ während nach Newton's früherer Behauptung diese Geschwindigkeit unter den erwähnten Umständen sich ganz und gar nicht ändern sollte. Läßt man aber diese Aenderung außer Betracht, so fand man, „daß die Geschwindigkeiten der Abkühlung, (so weit dieselbe bloß von dem Ueberschusse der Temperatur des heißen Körpers kommt) wie die Glieder einer geometrischen Progression, durch eine konstante Zahl vermindert, wachsen, während die Temperaturen des heißen Körpers wie die Glieder einer arithmetischen Progression zunehmen.“ — Durch diese zwei Gesetze, in Verbindung mit dem jeder einzelnen Substanz entsprechenden Koeffizienten der Formel, werden die Bedingungen der Abkühlung aller Körper im leeren Raume vollständig bestimmt.

Von dieser Bestimmung ausgehend, schritten Dulong und Petit zu der Einwirkung des den heißen Körper umgebenden Mediums auf die Abkühlung desselben, indem sie dies mit Recht als eine noch übrig bleibende Erscheinung (residual phenomenon) betrachteten, das, abgesehen von der Abkühlung im leeren Raume, gleichsam für sich selbst besteht. Ohne ihnen

hier in allen ihren Untersuchungen zu folgen, wollen wir nur kürzlich bemerken, daß sie durch ihre Experimente auf die folgenden Gesetze geführt worden sind. — „Die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Körpers, die von dem luftförmigen Mittel kommt, von dem er umgeben ist, bleibt so lange unveränderlich, als der Ueberschuß der Temperatur des Körpers derselbe bleibt, obschon die absolute Temperatur desselben sich ändert.“ Eben so fanden sie, „daß die Auskühlungskraft aller Gase sich mit der Elasticität derselben nach einem bestimmten Verhältniß ändert,“ und was dergleichen ähnliche Vorschriften mehr sind.

In Beziehung auf die von ihnen gebrauchte Induktion kann bemerkt werden, daß sie ihre Schlüsse auf Prevost's oben (Absch. 2) erwähntes Gesetz des „Wärmewechsels“ gegründet haben, und daß dem zufolge ihr zweites so eben angeführtes Gesetz, über die Abkühlungsgeschwindigkeit, eine rein mathematische Folgerung aus dem ersten gewesen ist. Auch muß hinzugesetzt werden, daß die von ihnen beobachteten Temperaturen mit Hülfe des Luftthermometers oder des sogenannten Differentialthermometers gemessen wurden, und daß, wenn sie ein anderes Instrument gebraucht hätten, die merkwürdige Einfachheit und Symmetrie ihrer Resultate nicht mehr stattgehabt hätte. Dies spricht sehr für die Annahme, daß diese Messung der Temperatur überhaupt die einfachste und natürlichste unter allen ist. Diese Ansicht wird auch durch andere Betrachtungen bestätigt, die aber, da sie sich auf die durch die Wärme erzeugte Ausdehnung der Körper beziehen, hier noch nicht näher angeführt werden können. Wir beschränken uns hier blos auf die Geschichte der eigentlich mathematischen Wärmetheorie, soweit dieselbe auf den Erscheinungen der Konduktion und Radiation beruht, da diese allein bisher auf allgemeine Prinzipien zurückgeführt worden ist.

Ehe wir aber diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch bemerken, daß diese Korrektion des Newton'schen Gesetzes einen wesentlichen Einfluß auf die mathematischen Berechnungen hat, die von Fourier, Laplace und Poisson auf dieses Gesetz gebaut worden sind. Doch werden, wie es scheint, die charakteristischen Züge dieser durch die Theorie erhaltenen Resultate im Allgemeinen ungeändert bleiben. Libri, ein italienischer Mathematiker, hat eines dieser Probleme, das des metallenen Rings, nach Du-

long und Petit's Gesetze wieder vorgenommen, und nahe dieselben Resultate gefunden ²³⁾

Sechster Abschnitt.

Anderer Gesetze der Radiation.

Die übrigen Erscheinungen der Radiation, ihre Abhängigkeit von der Oberfläche der radiirenden Körper, ihre Einwirkung auf Schirme verschiedener Art, die zwischen dem radiirenden Körper und dem Thermometer gestellt werden, und mehrere andere ähnliche Untersuchungen wurden von verschiedenen Physikern angestellt. Ich kann hier weder diese Beobachtungen, noch die verschiedenen Resultate alle aufzählen, die man daraus für die leuchtende und nicht leuchtende Wärme, für durchsichtige und opake Körper abgeleitet hat. Doch wollen wir einiger derselben in Kürze gedenken.

I. Zuerst scheint die Kraft der Körper, Wärme auszustrahlen und in sich aufzunehmen, wesentlich von der Farbe ihrer Oberfläche abzuhängen. Wenn man die Oberfläche einer mit heißem Wasser gefüllten Büchse schwarz färbt, so strahlt sie mehr Wärme aus und wird auch durch andere wärmere Körper mehr erwärmt.

II. Wie zweitens die radiirende Kraft eines Körpers wächst, vermindert sich auch in demselben Maaße die reflektirende Kraft desselben und umgekehrt. Ein glänzend polirtes metallenes Gefäß reflektirt die Wärme stärker, sendet aber auch dafür desto weniger Wärme aus, aus welchem Grunde dann auch eine heiße, in dem Gefäße enthaltene Flüssigkeit länger heiß bleibt, als in einem unpolirten Gefäße.

III. Endlich wird die Wärme von jedem Punkte eines heißen Körpers nach allen Richtungen ausgesendet, aber nicht nach allen mit derselben Intensität. Diese Intensität der Wärmestrahlen verhält sich nämlich, wie der Sinus des Winkels, den der Strahl mit der Oberfläche bildet.

23) M. f. Mém. de l'Institut. de France für d. J. 1825 und Mém de Mathém. et Phys. 1829.

Das letzte dieser drei Geseze wurde ganz, die beiden ersten wenigstens größtentheils von Leslie²⁴⁾ gefunden, dessen Werk²⁵⁾ eine große Anzahl von interessanten und treffenden Beobachtungen und Resultaten enthält. Diese Geseze deuten auf eine sehr merkwürdige Weise auf eine über ihnen zu erbauende Theorie, und wir wollen nun sehen, was bisher in dieser Beziehung gethan worden ist, indem wir uns aber dabei, wie gesagt, blos auf die Erscheinungen der Konduktion und der Radiation beschränken.

Siebenter Abschnitt.

Fourier's Theorie der Radiation.

Nachdem die oben erwähnten Geseze einmal aufgestellt waren, mußte man auch die physischen Ursachen derselben auf-

24) Leslie (Sir John), geb. 1766 in Schottland, war anfangs bestimmt, den Betrieb eines kleinen Pachtgutes und einer Mühle fortzuführen, wovon seine Aeltern lebten. Aber schon in seinem eilften Jahre empfahl er sich durch sein Talent für Geometrie den Professoren Robinson, Playfair und Stewart, durch die er auf die Universität von St. Andrews gebracht wurde. Er vollendete seine Studien in Edinburgh und beschäftigte sich dann in London mit schriftstellerischen Arbeiten. Hier erschien zuerst seine Uebersetzung von „Buffon's Naturgeschichte der Vögel, IX Bde. Lond. 1793. Später bereiste er Nordamerika und in Begleitung von T. Wedgwood's einen großen Theil von Europa. Im Jahr 1804 wurde er Professor der Mathematik, und 1819 an Playfair's Stelle Professor der Physik. Er starb am 10. Nov. 1832 auf seinem Landsthe Coates in der Grafschaft Lise. Sein Ansehen unter den Physikern Englands gründet sich vorzüglich auf das von ihm erfundene Differentialthermometer, auf seine Verbesserungen des Hygro- und Photometers, und auf sein Verfahren, das spezifische Gewicht gepulverter Körper zu bestimmen, und das Wasser mit Hülfe der Luftpumpe zum Frieren zu bringen. Wir besitzen von ihm: Elements of geometry, Edinb. 1811; Account of experiments on air, heat and moisture, Edinb. 3817 (deutsch von Brandes, Leipz. 1823); und sein Discourse on the history of mathem. and phys. science in der Encyclopaedia britannica. L.

25) Experimental inquiry into the Nature and propagation of heat. Lond. 1804.

suchen, nicht nur, um diese Gesetze für sich selbst darzustellen, sondern auch um dadurch den allgemeinen Grund einer wissenschaftlichen Thermotik zu legen. Hieher gehörte z. B. die Erscheinung, nach welcher die in einem bestimmten Raum eingeschlossenen Körper mit der Zeit alle die Temperatur dieses Raumes einnehmen. Fourier's Erklärung dieser Klasse von Erfahrungen muß als eine sehr glückliche und erfolgreiche betrachtet werden, denn sie zeigt uns, daß dieselbe Hypothese, zu der man durch die einfachsten und allgemeinsten Beobachtungen geführt wird, auch zugleich die verwickeltesten und verborgensten Erscheinungen genügend darstellt. Die Voraussetzung, durch welche Fourier die letztgenannte Erscheinung, von derselben Temperatur der eingeschlossenen Körper, erklärt, gibt uns zugleich Rechenschaft von der oben erwähnten Eigenschaft, nach welcher die Intensität des radiirenden Strahls sich wie der Sinus seines Winkels mit der radiirenden Fläche verhält.

Diese Voraussetzung besteht nämlich darin, daß die Radiation nicht allein von der Oberfläche des erwärmenden Körpers, sondern von allen inneren Theilchen desselben, bis zu einer gewissen übrigens geringen Tiefe unter dieser Oberfläche, kommt. Man sieht leicht ²⁶⁾, daß, unter dieser Voraussetzung, ein von einem solchen innern Theilchen schief ausgeschickter Strahl weniger Intensität haben wird, als ein auf die Oberfläche des Körpers senkrecht ausgehender, weil der erste durch die über ihm liegenden Schichte einen längeren Weg im Inneren des Körpers machen muß, als der zweite, und Fourier zeigt, daß, welches auch das Gesetz der diese Wärme aufhaltenden Kraft sein mag, das Resultat doch immer die radiirende Intensität dem Sinus jenes Winkels proportional machen wird.

Dasselbe Gesetz ist aber, wie gesagt, auch nothwendig, um allen benachbarten Körpern allmählig dieselbe Temperatur zu ertheilen, um z. B. einem kleinen, in dem Inneren einer Kugelschaale eingeschlossenen Körper die Wärme dieser Schaale zu geben. Hätte jenes Gesetz des Sinus nicht statt, so würde die Endtemperatur jenes Körpers von seinem Orte in der Kugelschaale abhängen ²⁷⁾ und in einer solchen Schaale von Eis würden wir

26) M. f. Mém. de l'Institut. 1821, S. 204.

27) M. f. Annales de Chimie, Vol. IV. 1817. S. 129.

gewisse Punkte antreffen, wo die Temperatur des kochenden Wassers, und andere, wo die des schmelzenden Eisens herrschen müßte. Dies mag uns auf den ersten Blick sonderbar und unwahrscheinlich vorkommen, aber man kann auf eine sehr einfache Art zeigen, daß es nur eine nothwendige Folge des einmal angenommenen Prinzips ist ²⁸⁾. Dieser Schluß läßt sich auf eine sehr befriedigende Weise durch eine analytische Formel ausdrücken, und er zeigt, daß das von Leslie aufgestellte und von Fourier in seinen Rechnungen angewendete Sinusgesetz streng und mathematisch genau ist, wodurch daher des Letztern Theorie von der „Extra-Radiation der kleinsten Theile der Körper“ einen hohen Grad von innerer Konsistenz erhält.

28) Der folgende Beweis wird den Zusammenhang des erwähnten Sinusgesetzes mit dem Prinzip der endlichen Gleichheit der Temperatur der benachbarten Körper darthun. — Das Gleichgewicht und die Identität der Temperatur zwischen der Kugelschaale und dem in ihr eingeschlossenen Körper kann im Ganzen nur dann statthaben, wenn es zwischen jedem Theilchenpaare der zwei Oberflächen, des Körpers und der Schaale, statthat, d. h. jeder Theil der einen Fläche muß, bei seinem Austausch mit jedem Theil der anderen Fläche, dieselbe Quantität von Wärme geben und empfangen. Nun ist aber die Quantität der ausgewechselten Wärme, so weit sie von der diese Wärme empfangenden Fläche abhängt, nach geometrischen Grundsätzen dem Sinus der Schiefe dieser Fläche proportional; und da in diesem Austausch jeder Punkt als der empfangende betrachtet werden soll, so muß auch die Quantität des Austausches dem Sinus der beiden Neigungen, der gebenden und der empfangenden Fläche, proportional sein.

Auch wird dieser Schluß nicht durch die Betrachtung aufgehoben, daß nicht alle Wärmestrahlen, die auf eine Fläche fallen, absorbirt sondern daß auch mehrere derselben reflektirt werden. Denn vermöge dem andern erwähnten Gesetze wissen wir, daß bei jeder Fläche in demselben Maße, in welchem sie die Wärmeaufnahme verliert, auch ihre Wärmeausstrahlung vermindert wird, so daß also jeder Theil der Oberfläche durch die Absorbition seiner eigenen Radiation so viel gewinnt, als er durch die Nichtabsorbition der auf ihn fallenden Wärme verliert, und daß daher das Resultat jenes Schlusses immer dasselbe bleibt.

Achter Abschnitt.

Entdeckung der Polarisation der Wärme.

Die Entdeckung der in den letzten Abschnitten dieses Kapitels erwähnten Gesetze, so wie die Erklärung derselben durch die Theorie der Konduktion und Radiation, führte die Physiker auf die Idee eines materiellen Wärmestoffes (*Caloricum*), der aus dem Körper emaniren und von ihnen auf andere übergehen sollte. Diese Ansicht wurde selbst noch in den letzten Jahren als die einfachste und wahrscheinlichste festgehalten. In den neuesten Zeiten aber wurden einige Entdeckungen gemacht, die jenen alten Glauben sehr zu erschüttern und die Emissionstheorie der Wärme eben so unhaltbar zu machen scheinen, wie dies auch mit dem Lichte der Fall gewesen ist.

Da man nämlich fand, daß die Wärmestrahlen ganz eben so, wie die Lichtstrahlen, polarisirt werden, so konnte man die Ansicht von einer materiellen Emission des Wärmestoffes nicht weiter beibehalten, ohne zugleich die kleinsten Theilchen desselben mit eigenen Polen zu versehen. Allein auch diese Hypothese konnte, bei den neueren Physikern, wohl nur schwer eine günstige Aufnahme erwarten, da schon ihr böses Schicksal in der Optik davon abmahnte, und da auch die unbezweifelbare innige Verbindung der Wärme mit dem Lichte die Annahme sehr unwahrscheinlich machte, daß für diese beiden großen Klassen von Erscheinungen die Polarisation durch zwei ganz verschiedene Maschinerien, bei dem Lichte durch Undulation und bei der Wärme durch Emission, bewirkt werden soll.

Ohne aber hier weiter bei dem Einflusse zu verweilen, welche die Entdeckung der Polarisation der Wärme auf die Ausbildung einer wissenschaftlichen Thermostatik äußern mußte, wollen wir vielmehr diese wichtige Entdeckung selbst näher angeben.

Die Analogie zwischen Licht und Wärme ist so groß, daß man, sobald einmal die Polarisation des Lichtes gefunden war, gleichsam von selbst auf die Vermuthung geführt werden mußte, ob die Wärme nicht auch ähnliche Erscheinungen darbiete. Doch führten diese Versuche anfänglich zu keinem entscheidenden Resultate, zum Theil, weil es schwer war, beträchtliche Einwirkungen der Wärme für sich selbst und vom Lichte getrennt zu erhalten,

und weil es den Physikern auch an einem hinlänglich empfindlichen thermometrischen Apparate mangelte. Zuerst nahm Berard den Gegenstand i. J. 1813 auf. Er bediente sich des von Malus früher gebrauchten Apparats, und glaubte damit gefunden zu haben, daß die Oberfläche des Glases die Wärme ganz auf dieselbe Art und unter denselben Umständen, wie das Licht, reflektirt ²⁹⁾. Als aber im Jahr 1830 Professor Powell in Oxford dieselben Versuche mit einem ähnlichen Apparat wiederholte, fand er ³⁰⁾, daß zwar die Wärme, wenn sie vom Lichte begleitet wird, polarisierbar ist, daß aber die „einfach radiirende Wärme,“ wie er sie nennt, auch nicht den kleinsten Unterschied in den zwei rechtwinkligen Azimuten des zweiten Glases zeigt und daher auch keine Spur von eigentlicher Polarisation besitzt.

Auf diese Weise blieb, so lange die alten, bisher gewöhnlichen Thermometer gebraucht wurden, die Sache unentschieden. Allein bald darauf erfanden Melloni und Nobili einen anderen Apparat, der auf gewisse galvanische Erscheinungen gegründet ist, und den sie Thermomultiplikator genannt haben. Wir werden später wieder von diesem Instrumente sprechen, das für kleine Aenderungen der Temperatur viel empfindlicher ist, als alle bisher bekannten Arten von Thermometern. Sobald dieses Instrument bekannt geworden war, wurde es sofort (im Jahr 1834) von Professor Forbes in Edinburgh mit vielem Eifer benutzt, um damit, nebst mehreren anderen interessanten Gegenständen der Thermitik, auch die Polarisation der Wärme näher zu untersuchen. Statt sie durch Reflexion zu polarisiren, benutzte er die Turmalinplättchen, die früher schon so oft gebraucht wurden, um die Polarisation des Lichtes durch Refraktion zu untersuchen. Er fand ³¹⁾, daß der Turmalin einen Theil der auf ihn fallenden Wärme ohne allen Zweifel polarisirt, das heißt, daß der Theil der Wärme, der durch zwei solche, in parallele Lagen gestellte Kristallplättchen geht, aufgefangen wird, wenn sich die Axen dieser Kristalle kreuzen. Später bediente er

29) M. f. Annales de Chimie, März, 1813.

30) Edinburgh Journal of Science, 1830, Vol. II. S. 303.

31) Philos. Magaz. 1835, Vol. VI. S. 209 und Vol. VII. S. 349.

sich einer Schichte von mehreren Glimmerplättchen, die er unter den Polarisationswinkel aufstellte. Hier fand er mit seinem Apparate die Resultate noch viel deutlicher hervortreten, indem die Wirkung der Polarisation bei lichtloser Wärme, selbst bei noch unter dem Siedepunkt erwärmten Wasser offenbar war. Auch überzeugte er sich, daß der Glimmer (Mica), wenn polarisirte Wärme in einer bestimmten Richtung durch ihn geht, dieselbe Wirkung hervorbringt, die wir bei dem Lichte durch den Ausdruck der Depolarisation bezeichnet haben, und die sich hier durch eine theilweise Zerstörung derjenigen Differenzen ankündigte, welche die frühere Polarisation erzeugt hatte. Melloni bestätigte bald darauf diese wichtige Entdeckung. Man hatte zwar mehrere Versuche gemacht, für diese Erscheinungen andere Ursachen anzugeben, aber Forbes zeigte ohne Mühe, daß sie alle unzulässig sind. Auf diese Weise schien also die Eigenthümlichkeit der „Seiten,“ die man schon früher bei dem Lichte so sonderbar fand, auch für die Wärmestrahlen bewiesen zu sein.

Sehen wir noch hinzu, daß Melloni und Forbes auch die Refraktion der Wärmestrahlen nachgewiesen haben, so daß also mehrere von den Haupterscheinungen, auf denen die Theorie des Lichtes erbaut ist, auch jener der Wärme angehören.

Ehe wir aber diese Theorie der Wärme selbst näher betrachten, müssen wir, nebst der bisher besprochenen Konduktion und Radiation der Wärme, noch einigen anderen ihr angehörenden Erscheinungen unsere Aufmerksamkeit widmen.

Zweites Kapitel.

Veränderungen der Körper durch die Wärme.

Erster Abschnitt.

Gesetz der Ausdehnung der Luftarten. Dalton und Gay-Lussac.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme wurde schon sehr früh und um so eifriger von den Physikern beobachtet, da man eben diese Ausdehnung als ein allgemeines *Wärmemaß*

gebrauchte. — Die Betrachtung anderer, durch die Wärme erzeugten Eigenschaften der Körper scheinen mehr der Philosophie der Wissenschaft anzugehören. Wir werden später von ihnen sprechen und dann zugleich der Schwierigkeiten erwähnen, die aus der Verschiedenheit der Ausdehnung mehrerer Körper durch höhere Temperatur hervorgehen, welche Verschiedenheit man den „thermometrischen Gang“ dieser Körper genannt hat. Man hat verschiedene Versuche gemacht, das Gesetz dieses Ganges zu finden. So meinte z. B. Dalton, daß Wasser und Quecksilber von dem Punkte ihrer größten Kontraktion sich wie das Quadrat der Temperatur ausdehne, wobei diese Temperatur so gemessen wurde, daß sie einem solchen Resultate entsprechen sollte. Allein keine von allen diesen Hypothesen führte zu einem wahren, allgemeinen Gesetze, ausgenommen diejenige, welche sich auf die Ausdehnung der Gase bezieht, die sich also auch zugleich über alle luftförmigen Flüssigkeiten erstreckt, daß sie sich nämlich für gleiche Inkremente der Temperatur um denselben Bruchtheil ihres eigenen Volums ausdehnen, und zwar um drei Achttheile dieses Volums für die beiden Temperaturen zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers. Dieses Gesetz entdeckte Dalton sowohl, als auch Gay-Lussac, jeder unabhängig von dem anderen ¹⁾, daher es auch das „Dalton und Gay-Lussac'sche Gesetz“ genannt zu werden pflegt. Der Letztere sagt ²⁾: „Das Experiment, welches ich so eben beschrieben, und welches ich mit großer Sorgfalt angestellt habe, beweist offenbar, daß Oxygen, Hydrogen, Stickluft, Salpeter-, Ammoniak-, Salz-, Schwefel- und kohlensaure Gase sich bei gleichem Zuwachs der Temperatur auch gleichförmig ausdehnen, so daß also, wie er mit einer eigenen induktiven Verallgemeinerung hinzusetzt, so daß also das Resultat der Ausdehnung nicht von den physischen Eigenschaften dieser Körper abhängt, und, wie ich daraus schliesse, daß alle Gase durch die Wärme in gleichem Grade ausgedehnt werden.“ Dasselbe Gesetz wendet er dann auch auf die verschiedenen Dünste, auf den Aether u. f.

1) M. f. Manch. Mém. Vol. V. 1802 und Annal. de Chimie, 43. S. 137.

2) Ibid. S. 272.

an, und wir müssen diesen Ausspruch als einen der wichtigsten Grundsteine jeder wahren Wärmelehre betrachten.

Wir haben bereits gesehen, daß die Ansicht des Luftthermometers, als eines wahren Wärmemaasses, im hohen Grade von der Symmetrie bestätigt wird, die man, bei der Anwendung desselben, in den Erscheinungen der Radiation gefunden hat. Hier aber sieht man zugleich, wie es scheint, daß dieses Resultat für alle Luftarten giltig sein soll. Dadurch erhält demnach dieses Maass einen neuen, eben so einfachen als allgemeinen Charakter, der uns dasselbe mit hoher Wahrscheinlichkeit als das wahre Maass der Wärme betrachten läßt. Noch weiter unterstützt wird diese Ansicht durch die Versuche, die man bereits gemacht hat, um diese Erscheinungen zu einer eigentlichen Theorie zusammenzustellen. — Ehe wir aber zu diesen Theorien übergehen, müssen wir noch vorerst von einigen anderen Doktrinen sprechen, die man hier eingeführt hat.

Zweiter Abschnitt.

Spezifische Temperatur und Aenderung des Zusammenhangs der Körper.

Während man ein bestimmtes Maass für die Wärme der Körper aufsuchte, fand man, daß die Körper überhaupt eine sehr verschiedene Empfänglichkeit für die Wärme haben. Derselbe Wärmegrad nämlich, wie man ihn auch messen wollte, erhebt doch die Temperatur verschiedener Körper auf oft sehr verschiedene Wärmestufen. Dadurch wurde man auf den Begriff der „Wärmecapacität“ oder wie man es auch nannte, der „spezifischen Wärme“ geführt, die jedem Körper eigenthümlich sein sollte, und die für jeden derselben in der Wärmemenge besteht, die nöthig ist, um die Temperatur dieses Körpers um einen bestimmten Wärmegrad, z. B. um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers, zu erhöhen³⁾.

Auch wurde bald darauf gefunden, daß die spezifische Wärme desselben Körpers für verschiedene Temperaturen desselben veränderlich ist. Aus den Beobachtungen von Dulong und Petit

3) M. f. Crawfurd on Heat.

folgt, daß im Allgemeinen die spezifische Wärme der flüssigen und festen Körper desto größer wird, je höher die Temperatur derselben steigt.

Eine der wichtigsten Erfahrungen der Thermotik aber war die, daß bei der Kontraktion der Körper die Temperatur derselben erhöht wird. Dies wird besonders bei Gasen, z. B. bei unserer atmosphärischen Luft, beobachtet. Der Betrag dieser Temperaturserhöhung bei der Condensation, oder auch der Temperatursenkung bei der Rarefaktion der Körper war ein wichtiges Datum, um dadurch die wahre Geschwindigkeit des Schalls in der Luft zu berechnen, wie wir bereits oben gesagt haben, und derselbe Umstand hat auch auf verschiedene Gegenstände der Meteorologie einen wesentlichen Einfluß. Der Koeffizient, der in dem ersten Falle zu berechnen ist, hängt von einem doppelten Verhältniß der spezifischen Wärme der Luft ab, wenn nämlich erstens der Druck der Luft konstant ist, und wenn zweitens der diese Luft enthaltende Raum konstant bleibt.

Eine der wichtigsten Erscheinungen, in Beziehung auf die Veränderungen der Körper durch die Wärme, ist der Wechsel ihrer Gestalt zwischen dem festen, dem flüssigen und dem luftförmigen Zustande derselben. Da das Wort „Gestalt“ in so vielerlei Sinn gebraucht wird, so wollen wir hier, alle Zweideutigkeit zu vermeiden, das Wort „Konsistenz“ dafür brauchen, das man, wenn gleich vielleicht etwas uneigentlich, auch auf gasförmige Körper anwenden darf. Man wird diesen Wechsel der Konsistenz einen solutiven (auflösenden) nennen können, wenn feste Körper in tropfbare, oder diese in luftförmige übergehen, welche Aenderungen der Körper zu den Haupterscheinungen in allen thermotischen Theorien gezählt werden müssen. Aber die meisten der diesen Wechsel bestimmenden Gesetze sind uns leider noch unbekannt. Doch ist eines derselben, und zwar eines der wichtigsten, bereits aufgefunden worden, und von ihm wollen wir in dem nächsten Abschnitte sprechen.

Dritter Abschnitt.

Die Lehre von der latenten Wärme.

Bei dem Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen, oder eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand wird dem Körper eine Wärme mitgetheilt, die nicht durch das Thermometer angezeigt wird, oder, mit den vorhergehenden Worten zu reden, bei dem solutiven Wechsel der Konsistenz der Körper hat eine Absorbtion der Wärme statt, und diese letzte wird latent. Deluc beobachtete dies zuerst in dem Jahre 1755⁴⁾, und nahe um dieselbe Zeit auch Dr. Black⁵⁾ in Edinburg, der

4) M. s. Crawford on Heat. S. 71.

5) Black (Joseph), wurde 1728 an den Ufern der Garonne bei Bordeaux von schottischen Aeltern geboren. In seinem zwölften Jahre wurde er von seinem Vater, der in Bordeaux wohnhaft war, nach Belfast und sechs Jahre später auf die Universität von Glasgow geschickt, um dort auf englische Weise erzogen zu werden. In der letzten Stadt hörte er die Vorlesungen über Chemie von Dr. Cullens, durch die er dieser Wissenschaft gewonnen wurde. Uebrigens widmete er sich der Medizin, deren Studien er 1750 zu Edinburg vollendete. Der sich zu jener Zeit erhebende Streit über die Zertheilung des Blasensteins durch Kalkwasser und andere lithotriptische Substanzen theilte die Aerzte und Chemiker seines Landes in zwei Partheien. Alle diese Substanzen, wohin besonders auch der sogenannte Lapis infernalis (Silberähstein oder Höllestein) gehörte, schienen ihre ähende Kraft dem Kalk, und dieser wieder die seine dem Feuer zu verdanken. Die auffallende Eigenschaft des Kalkes, durch Anfeuchtung mit Wasser sehr heiß zu werden, hatte die Aufmerksamkeit aller Chemiker auf sich gezogen. Sie schrieben diese Kraft des Kalkes dem Wärmestoffe zu, welchen der Kalk in großer Menge enthalten und durch Anfeuchtung den Alkalien und anderen Körpern mittheilen soll, wodurch dann diese letzten so ähend werden. Auch Black war anfangs der Meinung, daß die Alkalien ihre Causticität, wie man jene ähende Eigenschaft nannte, von dem Kalk, der Kalk aber die seine von dem Feuer oder von dem Wärmestoffe erhalte. Aber er scheint schon sehr früh auf die wahre Ansicht dieses Gegenstandes seiner Untersuchungen geführt worden zu sein. Er fand nämlich in den Alkalien und Kalkerden das Dasein einer eigenen luftförmigen Flüssigkeit, die er fixe Luft (kohlensaures oder kohlenstoffsaures Gas) nannte, durch deren Gegenwart die Aetzkraft der Alkalien und Kalkerden gemildert werden. Er deutete diese Entdeckung schon in seiner Inaugu-

von Deluc's Beobachtungen keine Kenntniß hatte, und diese Entdeckung schon 1757 in seinen Chemical lectures vorgetragen

rationschrift „De acido a cibus orto et de magnesia, Edinb. 1754 an, und entwickelte sie noch mehr in dem nächstfolgenden Jahre in der Schrift: Experiments on magnesia, quicklime and other alkaline substances. Diese Entdeckung ist gleichsam der Eingang zu jenen andern verwandten, welche die Namen Cavendish, Priestley, Lavoisier u. s. unsterblich gemacht und welche der Chemie eine neue Gestalt gegeben haben. Es konnte ihm und seiner neuen Lehre an Gegnern nicht fehlen, unter denen sich besonders ein Dr. Meyer aus Osnabrück mit einem voluminösen Werke, das ganz gegen die neue Theorie geschrieben war, bemerkbar machen wollte. Im Jahr 1756 wurde Black Professor der Chemie und Anatomie in Glasgow, und 1766 erhielt er dieselbe Stelle an der Universität in Edinburg. In der Zwischenzeit von 1759 bis 1763 reisten in ihm seine schon früher gehegten Ansichten über die latente Wärme. Boerhave hatte einer Beobachtung Fahrenheit's erwähnt, nach welcher das Wasser beträchtlich kälter werden soll, als der schmelzende Schnee, ohne zu gefrieren, und nach welcher es im Augenblick des Gefrierens plötzlich mehrere Grade der in ihm enthaltenen Wärme fahren lassen soll. Black zog daraus die anfangs noch unbestimmte Vermuthung, daß die Wärme, die das Eis durch seine Verwandlung in Wasser erhält, nicht verloren gehe, sondern in dem Wasser enthalten bleibe. Endlich stellte er den eigentlichen Begriff der „latenten Wärme,“ wie er sie selbst der erste nannte, in Folge sehr einfacher Experimente, bestimmt und deutlich auf. Er drückt sich darüber in seinen Lectures on chemistry, Vol. I. S. 119, auf folgende Weise aus: „Das schmelzende Eis nimmt sehr viel Wärme in sich auf, aber alle diese Wärme hat nur die Wirkung, das Eis in Wasser zu verwandeln, und dieses Wasser ist um nichts wärmer, als früher das Eis gewesen ist. Es wird also eine Menge Wärme oder Wärmestoff, der in das schmelzende Eis übergeht, bloß dazu verwendet, das Eis flüssig zu machen, ohne die Wärme desselben in einem bemerkbaren Grad zu erhöhen: diese Wärme scheint demnach von dem Wasser absorbirt oder in ihm so versteckt zu sein, daß das Thermometer uns keine Anzeige davon geben kann.“ Aus seinen Experimenten, die er l. c. Seite 123 angeführt, folgt, daß ein Stück Eis, das er in einem erwärmten Zimmer allmählig schmelzen ließ, bloß durch diesen Akt des Schmelzens so viel Wärme in sich aufnahm, ohne dadurch selbst für das Thermometer wärmer zu werden, daß eine gleiche Masse Wassers, durch dieselbe Temperatur des geheizten Zimmers, in derselben Zeit, die jenes Eis zum schmelzen brauchte, um volle 62 Grade des Reaum. Thermometers wärmer geworden sein

hatte. Auch Wilcke machte dieselben Bemerkungen in den Memoiren der Schwedischen Akademie bekannt ⁶⁾.

Daß der Schnee eine beträchtliche Menge von Wärme bedarf, um geschmolzen, und das Wasser, um in Dampf verwandelt zu werden, und daß in beiden Fällen diese Wärme durch das Thermometer nicht angezeigt wird, dies zu bemerken, war wohl nicht eben schwer. Allein die Absonderung dieser Erscheinungen von allen äußeren Nebenbedingungen, das Zusammenstellen der analogen Fälle und die Entdeckung des allgemeinen Gesetzes, durch welches alle diese Fälle in Verbindung gebracht werden, dies war das Werk einer sehr einsichtsvollen Induktion, die mit Recht als eines der merkwürdigsten Ereignisse in der gesammten neueren Geschichte der Physik betrachtet wird. Der größte Theil des Verdienstes um diese Entdeckung aber scheint dem erwähnten Black zu gehören.

Die Folgen dieses Prinzips sind sehr wichtig, da auf demselben die ganze Lehre von der Verdunstung (Evaporation) beruht, und da auch ausserdem die Theorie der latenten Wärme

würde. Eben so zeigt er S. 157, daß bei dem Akt des kochenden Wassers die von dem Wasser absorbirte Hitze nicht die dasselbe umgebenden Körper erwärme, sondern bloß zur Bildung des Wasserdampfes verwendet werde, daß also, setzt er hinzu, „auch hier wieder eine verborgene durch das Thermometer nicht angezeigte Wärme thätig sei, die wir daher latente Wärme nennen wollen.“ Bemerken wir noch, daß durch diese Entdeckung Black's, der berühmte Watt, wie derselbe selbst gesteht, auf seine großen Verbesserungen der Dampfmaschine geleitet worden ist, und daß endlich Black es vorzüglich ist, der das Studium der Chemie in England so allgemein gemacht hat. Seine oben erwähnten Lectures on chemistry gab Robinson nach B. Handschrift in zwei Bänden (Edinb. 1803 4.) mit einer Biographie desselben heraus. Die Philos. Transact. für 1775 ertheilten einen Aufsatz von ihm, in welchem er zeigt, daß frisch gekochtes Wasser eher friert, als nicht gekochtes. Der zweite Band der Transact. of the R. society of Edinb. enthält seine Analyse der Geysers- und Nikumsquellen in Island. Er starb am 26. November 1799 im Alter von 71 Jahren. Die Universität von Edinburg betrachtete ihn als eine ihrer ersten Zierden, wo die Anzahl seiner Schüler und Anhänger während den letzten drei Decennien seines Lebens mit jedem Jahre sich vermehrte. L.

6) Acta Suecica, 1772, S. 97.

mehrere andere Anwendungen erhalten hat. — Aber die Relationen zwischen Luft und Dampf sind so wichtig, und sie haben auch schon zu so vielen Untersuchungen Anlaß gegeben, daß es angemessen sein wird, bei ihnen etwas länger zu verweilen. Man kann, wie bereits gesagt, den Theil der Wissenschaft, in welchem diese Relationen betrachtet werden, durch die Benennung *Atmologie* bezeichnen, und ihr wollen wir auch die beiden folgenden und letzten Kapitel dieses Buches widmen.

Atmologie.

Drittes Kapitel.

Relation zwischen Luft und Dampf.

Erster Abschnitt.

Einleitung zu Dalton's Theorie der Evaporation.

Wolken, Rauch und ähnliche Erscheinungen mögen auf den Begriff des Dampfes geführt haben. Dieser Dampf wurde anfangs, z. B. durch Baco ¹⁾, als identisch mit der Luft betrachtet. Man bemerkte leicht, daß Wasser durch Hitze in Dampf verwandelt wird. Man glaubte früher, daß das unter dem Namen Aeolipil ²⁾ bekannte Instrument, aus dem durch eine kochende Flüssigkeit eine heftige Dampfausströmung hervorgebracht wird, eigentliche Luft erzeuge; aber Wolf hat der erste gezeigt, daß die Flüssigkeit nicht in Luft verwandelt werde, indem er Wein- mit Kamphergeist anwendete und den so gebildeten Dampf wieder kondensirte. Es wird unnöthig sein, die unbestimmten Hypothesen von Descartes, Dechales, Borelli ³⁾ und andern hier umständlich anzuführen. Der letzte wollte das Auf-

1) Baco's Hist. Nat. Cent. I. S. 27.

2) Aeolipila oder Windkugel, die gewöhnlich mit wohlriechendem Wasser gefüllt und auf Kohlen gelegt wird, um damit die Zimmer zu räuchern. L.

3) Man kann sie in Fischer's Geschichte der Physik, Vol. II. S. 175 nachsehen.

steigen des Dampfes durch die Voraussetzung erklären, daß derselbe ein Gemisch von Wasser und Feuer sei, und daß, da das Feuer viel leichter als die Luft ist, auch jene Mischung sehr leicht sein müsse. Boyle bemühte sich, zu zeigen, daß die Dämpfe nicht immer im leeren Raume schwimmen, und er verglich die Mischung von Dampf und Luft mit der von Salz und Wasser. Auch fand er bereits, daß der Druck der atmosphärischen Luft auf die Hitze des kochenden Wassers Einfluß habe, was eine für jene Zeit sehr wichtige Entdeckung war. Boyle bewies dies mit Hülfe der Luftpumpe, und er sowohl als seine Freunde waren nicht wenig überrascht, als sie fanden, daß das Wasser, wenn die darüber stehende Luft weggenommen wurde, schon bei einer sehr geringen Temperatur in ein heftiges Kochen gerieth. Auch Huyghens erwähnt eines ähnlichen Experiments, das Papin ⁴⁾ i. J. 1673 angestellt hat.

Das Aufsteigen des Dampfes wurde allmählig, wie sich unsere physischen Kenntnisse änderten, auf verschiedene Weisen erklärt. Mit Bestimmtheit fing man an, diesen Gegenstand zu der Zeit zu betrachten, als die Hydrostatik schon manche ihrer Erscheinungen genügend erklärt hatte, und demgemäß wurden auch mehrere Versuche gemacht, jenes Phänomen auf hydrostatische Prinzipien zurückzuführen. Eine sich gleichsam von selbst

4) Papin (Denis), widmete sich zuerst der Medizin und war praktischer Arzt zu Paris. Die Bekanntschaft mit Huyghens wendete ihn der Physik zu, in welcher er bald einer der ausgezeichneten seiner Zeit wurde. In England verband er sich mit Boyle zu gemeinschaftlichen Versuchen über die Natur der Luft und wurde Mitglied der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu London. Seine einzelnen Aufsätze findet man zerstreut in den Philos. Transactions, in dem Journal des savans, und den Actis eruditor. Lips. Von seinen größten Schriften sind die vorzüglichsten: *La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps.* Paris 1682 et Amsterd. 1688. (N. s. in den verschiedenen Encyclopädien das Wort *Digestor* oder *Papin's Topf.*) *Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines,* Cassel 1695, ein noch heute sehr interessantes Werk; *Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam,* Leipzig 1707, in welchem Werke die ersten Elemente zur Konstruktion unserer heutigen Dampfmaschinen enthalten sind. L.

darbietende Hypothese, die man zu diesen Zwecken anwendete, bestand in der Voraussetzung, daß das Wasser, wenn es durch die Hitze in Dampf verwandelt wird, in kleine, hohle Kugeln zertheilt werde, die zwischen ihren dünnen Häutchen Luft oder Wärmestoff enthalten sollten. Auf diese Weise wollte Halley die Evaporation der Flüssigkeiten erklären, und Leibniz berechnete sogar die Dimensionen dieser Kugeln. Derham⁵⁾ brachte es dahin, wie er glaubte, diese kleine Kugeln mit dem Mikroskop zu sehen, und auch Wolf⁶⁾ wußte viel über diesen Gegen-

5) Derham (William), geb. 1657 zu Stowton bei Worcester, betrat 1675 das Trinity Kollege zu Oxford und erhielt, nach Vollendung seiner Studien, die einträgliche Pfarrei und das Rektoramt von Uxminster in Essex, wo er auch bis an das Ende seines Lebens 1735 mit Vorliebe blieb, weil ihm diese Nähe von London die Gesellschaft der ausgezeichneten Gelehrten dieser Hauptstadt und den Gebrauch ihrer wissenschaftlichen Hülfsmittel erleichterte. Er beschäftigte sich vorzüglich mit Physik, Mechanik und Astronomie, und mit Glück, wie seine Werke und seine zahlreichen Abhandlungen in den Philosoph. Transactions. zeigen. Seine erste Schrift „der kunstreiche Uhrmacher“ wurde sehr beifällig aufgenommen, und erlebte in wenig Jahren vier Auflagen. Nicht minder beliebt wurde seine Physiko-Theologie, seine Astro-Theologie und andere ähnliche Schriften. Ihm verdankt man auch die Publikation der physischen Experimente des Dr. Hook, so wie die der Manuscripte des Naturforschers Ray. Seine Miscellanea curiosa, 3 Vol. in 8., sind noch jetzt sehr geschätzt. Seine meist physikalischen Aufsätze findet man in dem 20sten bis 39sten Band der Philos. Transactions. L.

6) Wolf (Christian, Freiherr von), geb. 1679 zu Breslau, studirte anfangs Theologie zu Jena, widmete sich aber später ganz der Mathematik und Philosophie, worin seine Vorlesungen zu Leipzig (seit 1703) großen Beifall erhielten. Bei dem Einbruch der Schweden (1706) ging er, auf Leibniz Empfehlung, als Professor der Mathematik und Physik nach Halle, wo er durch seine systematische Lehrmethode und durch mehrere mathematische Schriften, die sich besonders durch Klarheit und Deutlichkeit des Vortrags auszeichneten, seinen Ruhm begründete. In theologische Streitigkeiten besonders mit dem bigotten Joachim Lange verwickelt, ward er 1723 von König Fried. Wilhelm I. seiner Stelle entsetzt und unter Androhung des Stranges im Weigerungsfalle, des Landes verwiesen. Wolf zog sich nach der Universität Marburg in Hessen zurück, wo er günstig aufgenommen wurde. Im Jahre 1740 wurde er von Friedrich dem II. als Professor, Geheimerath und Kanzler der Univer-

stand zu messen und zu rechnen. Das große Vertrauen dieser Männer zu einer so lahmen Theorie bleibt immer merkwürdig. Wenn sich Wasser in hohle Kugeln auflösen muß, um als Dampf in die Höhe zu steigen, so bedürfen wir, zur Bildung dieser Kugeln, wieder neue Naturgesetze, die von den Anhängern jener Lehre nicht angegeben wurden, und die gewiß noch viel verwickelter sein mußten, als die hydrostatischen Gesetze, durch welche hohle Kugeln zum Schwimmen gebracht werden.

Auch Newton's Meinung war kaum befriedigender. Er erklärte⁷⁾ die Evaporation durch die abstoßende Kraft der Wärme. Nach ihm sind die Theilchen, aus denen der Dampf besteht, ungleichmäßig klein, so daß sie durch jene Kraft sehr stark afficirt, und dadurch viel leichter werden, als die Luft unserer Atmosphäre.

Auch Muschenbroek⁸⁾ blieb noch zur Erklärung der Evapo-

sität wieder nach Halle zurückberufen. Seine Philosophie war längere Zeit in Deutschland die herrschende, und er erwarb sich auch um die Verbreitung der Mathematik und um die Verbesserung der deutschen Sprache sehr wesentliche Verdienste. Seine hinterlassenen Schriften sind sehr zahlreich. L.

7) Newton, Optik, Quaest. 31.

8) Muschenbroek (Peter), geb. 1692 zu Leyden, wo er auch studirte und 1715 Doktor der Medizin wurde. Im Jahre 1719 ging er als Professor der Medizin nach Duisburg. Später 1723 wurde er Professor der Mathematik und Physik in Utrecht, und endlich 1739 auf der Universität von Leyden, wo er auch 1761 starb. Er war einer der ausgezeichnetsten Physiker seiner Zeit, der in Verbindung mit seinem Freunde, s'Gravesande, die neuere Experimentalphysik und die Newton'sche Lehre in Holland einführen und die Hypothesen des Cartesius verdrängen half. Mehrere sehr ehrenvolle Berufungen nach den Universitäten von Kopenhagen, Göttingen, Berlin und Madrid, meistens von den Königen dieser Länder selbst angetragen, schlug er aus, um dem Vaterlande seine Dienste ganz widmen zu können. Er ist der Erfinder des nachher von Lambert verbesserten Pyrometers, und ihm verdankt man auch die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen über den Magnet, die dem Daniel Bernoulli die nöthigen Data zu seiner Theorie des Magnets lieferten. Ueber die spezifischen Gewichte der Körper, über die Reibung und die Steifigkeit der Seile, den Widerstand der Stäbe von Holz und Metall u. dgl. lieferte er die ersten genauen und zahlreichen Experimente. Die erste trigonometrische Vermessung der Erde durch

poration bei diesen hohlen Kugeln stehen, obschon er offenbar nicht recht zufrieden damit war, und mit Recht besorgte, daß der Druck der Luft das feine, gebrechliche Gewebe dieser Bläschen zerstören müsse. Er nahm deshalb eine Rotation dieser Kugeln zu Hülfe, (wie auch früher schon Descartes gethan hatte), und auch damit noch nicht zufrieden, stellte er noch einen elektrischen Einfluß im Hintergrunde seiner Hypothese als Reserve auf. Damals war nämlich die Elektricität in der Mode, wie früher die Hydrostatik, und so wurden sie auch beide, so oft die Noth gebot, zu Hülfe gerufen. Auch Desaguliers bediente sich dieses Agens zur Erklärung des Aufsteigens der Dämpfe, indem er zwischen der Elektricität und der Wärme eine Art von Sexualverbindung aufstellen wollte, in welcher das männliche Feuer (die Wärme) den einen, und das weibliche Feuer (die Elektricität) den andern Theil der Rolle bei der Erzeugung der Dämpfe übernehmen sollte. — Alle diese Spekulationen sind, wie man sieht, ohne Werth und Verdienst.

Zu derselben Zeit aber wurde die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf die großen Fortschritte gerichtet, welche die Chemie so eben auf ihrem eigenen Gebiete gemacht hatte. Ihr verdanken wir auch in der That einen großen Theil unserer wahren Erkenntniß des hier in Rede stehenden Gegenstandes. Bouillet eröffnete gleichsam die Bahn, als er im Jahr 1742 die Behauptung aufstellte, daß in dem Dampfe die kleinsten Theilchen des Wassers sich zwischen die der Luft eindrängen. Die Akademie der Wissenschaften zu Bordeaux machte die Erklärung des Aufsteigens der Dämpfe i. J. 1743 zum Gegenstand ihrer Preisfrage. Der Preis wurde von dieser Akademie auf eine, in Beziehung auf

Snellius, die derselbe in seinem *Eratosthenes Batavus* bekannt gemacht hatte, wiederholte N. und machte die verbesserten Resultate in einer besondern Schrift bekannt. Die vorzüglichsten seiner Werke sind: *Tentamina experimentorum naturalium*, Leyd. 1731; *Elementa physicae*, Leyd. 1741; *Compendium physices experimentalis*, ibid. 1762; *Introductio in philosophiam naturalem*, ibid. 1762, II. Vol. in IVto. Noch haben wir von ihm eine lateinische Uebersetzung des *Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento*, die wegen den vielen und trefflichen Anmerkungen des Uebersetzers noch jetzt schätzbar ist. Er starb am 19. Sept. 1761. L.

die Wahl zwischen zwei Theorien, in der That sehr unpartheiſche Weiſe ertheilt, indem ſie eben dieſe Wahl ganz unentſchieden ließ. Jener Preis wurde nämlich zwischen zwei Perſonen getheilt, zwischen Krahenſtein, der jene hohle Kugeln in Schutz genommen und die Dicke ihrer Haut zu den $\frac{1}{50000}$ ſten Theil eines Zolls berechnet hatte, und zwischen Hamberger, der das Aufſteigen des Dampfes in einer Adhäsion der Waſſertheilchen an den Elementen der Luft und des Feuers gefunden zu haben glaubte. Der letztere bildete ſpäterhin ſeine Idee noch mehr aus und machte ſie dann i. J. 1750 in ſeinen „Elementen der Phyſik“ bekannt. In dieſem Werke gab er die Erklärung der Evaporation mit Hülfe einer von ihm erfundenen Phraſe, die ſeitdem allgemeine Aufnahme unter den Phyſikern gefunden hat. Er nannte nämlich die Evaporation die Auflöſung (Solution) des Waſſers in der Luft, wobei er dieſelbe allen anderen bekannten chemiſchen Auflöſungen analog vorausſetzte.

Dieſe „Theorie der Auflöſung“ wurde beſonders von Leroi⁹⁾ in Schutz genommen und weiter entwickelt. Die Form, welche ſie unter ſeiner Hand annahm, wurde beinahe allgemein, ſelbſt bis auf unſere Zeiten, angenommen, und ſie hat ſelbſt in der Sprechart des Volkes ihre Spuren zurückgelassen. Leroi nahm an, daß die Luft, gleich anderen auflöſenden Subſtanzen, geſättigt (ſaturirt) werde, und daß das Waſſer in der Luft, wenn die letzte ihren Sättigungspunkt einmal erreicht hat, eine ſichtbare Geſtalt annehme. Dieſer Sättigungspunkt hing, ſo ſetzte man voraus, bloß von der Einwirkung der Wärme und des Windes ab.

Dieſe Lehre war allerdings nicht ohne Verdienſte, da ſie viele, früher ganz zerſtreute Erſcheinungen unter einen gemeinſchaftlichen Geſichtspunkt brachte, und da durch ſie eine große Anzahl von Experimenten, die Leroi angeſtellt hatte, genügend erklärt wurden. Durch ſie wurde z. B. die Durchſichtigkeit des Dampfes dargeſtellt, (denn vollkommene Auflöſungen ſind diaphan); ſo wie der Niederſchlag des Waſſers aus dem Dampfe bei der Erkühlung des letzteren; das Verſchwinden aller ſicht-

9) Mém. de l'Acad. de Paris, 1750.

baren Feuchtigkeit bei der Wiedererwärmung desselben; die vermehrte Verdunstung durch Regen und Wind, und andere ähnliche Erscheinungen. Soweit war also die Einführung des neuen Begriffs einer chemischen Auflösung des Wassers in der Luft scheinbar sehr glücklich. Allein diese Erklärung hatte auch ihre Mängel, und diese waren für sie selbst sehr unheilvoll: man konnte nämlich durch diese Theorie alle diejenigen Phänomene ganz und gar nicht erklären, die dann eintreten, wenn die Luft bei dem Prozeß der Verdunstung ausgeschlossen wird.

Zu derselben Zeit wurde in Schweden ¹⁰⁾ derselbe Gegenstand auf eine andere und bessere Weise verfolgt. Wallerius Ericson ¹¹⁾ hatte durch verschiedene Experimente die wichtige Thatsache über allen Zweifel erhoben, daß das Wasser auch im leeren Raume verdunstet. Die von ihm darüber angestellten Versuche sind klar und genügend, und er zog daraus den Schluß, daß die bisher gewöhnliche Erklärung der Evaporation, durch Auflösung des Wassers in der Luft, falsch ist. Seine Beweise sind auf eine sehr verständige Weise geführt. Er untersucht die Frage, ob Wasser in Luft verwandelt werden könne, und ob daher die Atmosphäre in einer bloßen Sammlung von Dünsten bestehe. Die Frage wird, aus guten Gründen, verneint, und daraus der Schluß für die Existenz einer „beständig elastischen,

10) M. s. Fischer, Geschichte der Physik, Vol. V, S. 63.

11) Wallerius, geb. 11. Juli 1709 in Südermanland, widmete sich früh schon der Mineralogie, kam 1732 als Adjunkt der medizinischen Fakultät auf die Universität von Lunden, und 1740 auf die von Stockholm, und wurde 1750 Professor der Chemie und Metallurgie in Upsala. Im Jahre 1766 zog er sich von den öffentlichen Geschäften zurück, um ganz sich und seiner Wissenschaft zu leben. Er starb 16. Nov. 1785 als einer der ausgezeichnetsten Naturforscher Schwedens. Er führte eine bessere Classification in die Mineralogie ein, und machte mehrere sehr glückliche Anwendungen der Chemie auf die Agrikultur. Auch in der Geologie wollte er, vorzüglich durch das von ihm eingeführte Centralfeuer der Erde, ein neues System begründen. Allein so bedeutend auch seine Vorarbeiten in diesen beiden Wissenschaften, der Mineralogie und der Geologie, für seine Zeit sein mögen, der wahre Begründer von jener ist Haüy, und von dieser Pallas, Saussure und Werner. Die zahlreichen Schriften des Wallerius kann man in der Biographie universelle (Paris 1827) Vol. 50, Art. Wallerius, nachsehen. L.

und vom Dampfe ganz verschiedenen“ Luft gezogen. Auch behauptet er, daß hier zwei Ursachen thätig sind, von denen die eine das Aufsteigen des Dampfes, und die andere das Schweben oder Erhalten desselben in der Luft bewirkt. Die erste dieser Ursachen, die auch im leeren Raume thätig ist, erklärte er durch die gegenseitige Abstoßung der Dampftheilchen, und da diese Kraft von der Mitwirkung aller anderen Körper unabhängig ist, so erscheint jene von ihm gebrauchte Induktion sehr annehmbar. Wenn aber dann die Dämpfe sich bereits in die Luft erhoben haben, so kann ohne Anstand zugegeben werden, daß sie durch Strömungen der Atmosphäre entweder noch höher steigen oder auch seitwärts getrieben werden, bis sie in eine Luftregion von derselben Dichte, wie sie selbst, gelangen, und dann im Gleichgewichte schweben bleiben oder auch frei hin und wieder treiben.

Die nächstfolgende Generation der Physiker theilte sich zwischen diesen beiden einander gegenüberstehenden Theorien der Evaporation, deren die eine die chemische Auflösung, und die andere die für sich bestehenden, unabhängigen Dünste zu ihrem Prinzip erhoben hatte. Saussure stand an der Spitze der ersten, der Solutionisten, obschon mit einigen von ihm eingeführten Modifikationen, und Deluc führte gleichsam die andere Parthei an. Der letztere verwarf alle Solution und erklärte die Dünste als eine Kombination der Wassertheilchen mit dem Feuer, durch welche sie leichter, als die Luft, gemacht werden sollen. Nach seiner Ansicht ist immer und überall Feuer genug da, diese Kombination zu erzeugen, so daß demnach die Evaporation unter allen Temperaturen vor sich gehen kann.

Diese Art, die unabhängigen Dünste als eine Kombination des Wassers mit dem Feuer zu betrachten, leitete die Aufmerksamkeit der Anhänger dieser Theorie auf die thermometrischen Veränderungen, die bei der Bildung und bei der Kondensation der Dünste einzutreten pflegen. Diese Veränderungen sind wichtig, und die Geseze derselben sehr merkwürdig. Sie gehören zu der Lehre von der „latenten Wärme,“ von der wir so eben gesprochen haben, aber sie sind nicht durchaus nothwendig zur Erkenntniß der Art, wie die Dünste in der Luft bestehen.

Deluc's ¹²⁾ Ansichten leiteten ihn auch ¹³⁾ zu einer näheren Betrachtung des Druckes, welchen diese Dämpfe ausüben. Er

12) Deluc (Jean André), geb. zu Genf 1727. Sein Vater, ein Uhrmacher, hatte sich als religiöser und politischer Schriftsteller bekannt gemacht. Der Sohn nahm bald an den politischen Kämpfen seiner Vaterstadt Theil, wobei er sich an die Volkspartei wendete, von der er auch 1768 als Deputirter an den Herzog von Choiseul geschickt wurde. Nach seiner Rückkehr 1770 wurde er zum Mitglied des großen Rathes erwählt. Doch verließ er Genf bald darauf sammt seinem Bruder Wilhelm, und beide widmeten sich fortan ganz der Geologie, zu welchem Zwecke sie die Schweiz und mehrere europäische Küstenländer durchwanderten. So entstand sein erstes Werk: „Lettres physiques et morales sur l'histoire de la terre et de l'homme, Haag 1778.“ Diese Briefe waren der Königin Caroline, Gemahlin George's III. gewidmet, die ihn zu ihrem Vorleser ernannt hatte. Sie beziehen sich bloß auf seine in der Schweiz gemachten Untersuchungen. Spätere Reisen in Deutschland, Holland u. s. gaben die Mittel zur Fortsetzung dieses Werkes in fünf starken Bänden. Das Resultat, zu dem er auf diesem Wege kam, war, daß das gegenwärtige Kontinent der Erde durch eine große und plötzliche Revolution, vor höchstens vier oder fünftausend Jahren, trocken gelegt wurde, und daß durch dasselbe Ereigniß die früher bewohnten Gegenden der Erde von der See verschlungen wurden. Derselben Ansicht sind auch Saussure, Dolomieu und Cuvier beigetreten. Nach Deluc wurden die Materialien, welche jetzt unsere Berge bilden, zuerst in horizontalen und kontinuierlichen Schichten niedergelegt, und ihr gegenwärtiger gebrochener und verschobener Zustand ist die Wirkung einer folgenden Katastrophe, die aber lange vor jener, durch welche unser jetziges Kontinent trocken gelegt wurde, sich ereignet haben muß. Seine vorzüglichsten Werke sind, außer dem bereits genannten: *Lettres géologiques sur l'histoire de la terre*, 1798; *Traité élémentaire de géologie* 1808, die auch englisch (Lond. 1809) herauskam; *Geological travels in the North of Europe and in England*, 3 Vol. London 1810. Außer der Geologie beschäftigte er sich auch eifrig mit der Meteorologie und hierin leistete er den Wissenschaften vielleicht noch wesentlichere Dienste, als in der Geologie, besonders durch seine Untersuchungen über die Verrfertigung und den Gebrauch der vorzüglichsten meteorologischen Instrumente. M. s. seine „*Recherches sur les modifications de l'Atmosphère*, 2 Vol. 4to, Genf 1772; *Idées sur la météorologie* 1786; *Introduction à la physique terrestre par les fluides expansibles*, 1803; *Traité élémentaire sur le fluide Electro-Galvanique*, 1804 u. s. Seine vielleicht zu weit getriebenen Bemühungen, das von ihm aufgestellte geologische System

erklärt die Verdichtung des Dampfes durch den Druck, indem er voraussetzt, daß der Druck die Dampftheilchen innerhalb des Raumes zusammendrängt, in welchem die von der Hitze kommende Abstoßungskraft aufhört. Auf demselben Wege erklärt er auch die bekannte Erscheinung, daß, obschon die Dünste durch einen äußeren Druck verdichtet werden, doch die Beimischung einer Wassermasse, die den Druck eben so viel vergrößert, nicht dieselbe Wirkung hervorbringt, woraus dann die Möglichkeit der Existenz der Dünste in der Luft abgeleitet wird. Diese Dünste haben kein bestimmtes Verhältniß zur Luft, aber bei derselben Temperatur haben wir immer denselben von ihnen kommenden Druck, sie mögen nun in der Luft schweben oder nicht. So wie die Temperatur wächst, werden auch die Dünste fähig, einen immer größeren Druck zu ertragen, und bei der Temperatur des kochenden Wassers halten sie dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht.

Deluc gab auch, gleich dem Wallerius, den Unterschied zwischen Luft und Dunst genau an: der letzte ist durch Kälte oder Druck einer Veränderung seiner Konsistenz fähig, die erste

mit der Mosaischen Schöpfungsgeschichte in Uebereinstimmung zu bringen, verwickelte ihn in viele Streitigkeiten mit anderen Schriftstellern, besonders mit Teller in Berlin. M. s. Deluc's Lettres sur le christianisme 1801; Correspondance entre le Dr. Teller et Deluc 1803—4. Eben so gerieth er mit Professor Reimarus in Hamburg in Kampf: Annonce d'un Ouvrage de Mr. Reimarus sur la formation du Globe, Hannovre 1803. Als ein großer Bewunderer Bacon's zeigt er sich in seinen Précis de la philosophie de Bacon, Paris 1802, II. Vol. Andere Aufsätze von ihm findet man in dem Journal de Scavans, in den Transact. philos. und andern französischen, englischen und deutschen Zeitschriften. Im Jahre 1798 wurde er zum Professor der Philosophie und Geologie in Göttingen ernannt, lebte aber, ohne dahin zu kommen, bis 1802 in Berlin, dann in Hannover und Braunschweig, bis er 1806 nach der Schlacht von Jena nach England zurückkehrte, wo er den Rest seines Lebens meistens zu Windsor in Gesellschaft der k. Familie zubrachte. Er starb zu Windsor im November 1817 in seinem 91sten Jahre. L.

13) M. s. Fischer, Gesch. der Physik, Vol. VII. S. 453, und Nouvelles Idées sur la Météorologie, 1787.

aber nicht. Pictet ¹⁴⁾ machte im Jahr 1786 ein hygrometrisches Experiment, das ihm Deluc's Ansichten vollkommen zu bestätigen schien, und Deluc selbst machte seinen Abschluß des Gegenstandes i. J. 1792 in den Philos. Transactions bekannt. Pictet zeigte in seinem „Versuche über das Feuer“ von dem Jahr 1791, „daß die ganze Reihe der bisher beobachteten hygrometrischen Erscheinungen ganz eben so gut, ja rascher noch, im leeren Raume, als in der Luft vor sich geht, sobald nur dieselbe Menge von Feuchtigkeit da ist.“ — Dieser „Versuch“ und Deluc's erwähnte Schrift gaben der alten Theorie von der Auflösung des Wassers in der Luft den Todesstoß. Doch fiel sie nicht, ohne zuerst einen harten Kampf mit ihren Gegnern zu bestehen. Die Solutionstheorie wurde von der neuen Schule der französischen Chemiker in Schutz genommen, und mit den Ansichten, welche diese von der Wärme gefaßt hatten, in enge Verbindung gebracht. Aus diesem Grunde wurde sie auch so lange als die eigentlich herrschende Meinung betrachtet. Girtanner ¹⁵⁾ in seinen „Grundsätzen der antiphlogistischen Chemie“ kann als einer der ersten Vorkämpfer dieser Theorie angesehen werden. Hube aber, Professor der Physik in Warschau, war einer der eifrigsten Vertheidiger der Solutionstheorie, über die er auch mehrere Schriften herausge-

14) Pictet (Marcus August), geb. 1752 zu Genf, ward früh der Schüler und Freund Saussure's, den er auf mehreren Reisen begleitete, und dessen Stellen er 1786 als Professor der Philosophie und später als Präsident der Akademie zu Genf erhielt. Ganz den Wissenschaften lebend, nahm er an den politischen Unruhen seiner Vaterstadt nur so viel Theil, als er der alten und angesehenen Stellung seiner Familie wegen mußte. Seit 1796 gab er in Verbindung mit seinem Bruder Charles P. und mit Maurice die Bibliothèque britannique heraus, eine Genfer Zeitschrift, die seit 1816 den passenderen Namen Bibl. universelle annahm. Wir haben von ihm: Voyage en Angleterre, 1803, und mehrere einzelne meist treffliche Aufsätze über Physik, Astronomie und Mathematik. Er starb zu Genf am 18. April 1825. — Mit ihm ist nicht zu verwechseln der Astronom Jean Louis Pictet, geb. 1739, der 1768 mit Mallet nach Rußland ging, um daselbst den Durchgang der Venus i. J. 1769 zu beobachten. Mallet wurde nach Ponoï in Sibirien, und Pictet nach Umba geschickt. (M. s. Mém. de l'Acad. de Petersb. 1769). L.

15) M. s. Fischer, Geschichte der Physik, Vol. VII, S. 473.

geben hat. Der Zuwachs der Elasticität der Luft durch die hinzugetretenen Dünste scheint ihn indeß in einige Verlegenheit gebracht zu haben. Im Jahre 1801 trug Parrot eine andere Theorie vor, indem er behauptete, daß Deluc die Solutions-theorie selbst keineswegs, sondern nur einige überflüssige Zusätze, die Saussure zu dieser Theorie gemacht habe, angegriffen hätte.

Man sieht nicht recht, worin das Hinderniß bestand, welches sich der allgemeinen Aufnahme der Theorie der unabhängigen Dünste entgegensezte, da dieselbe doch alle beobachteten Thatsachen auf eine sehr einfache Weise erklärte, und da die vermittelnde Beihülfe der Luft offenbar als ganz unnöthig erschien. Allein selbst in unseren Tagen ist die alte Lehre, von der Auflösung des Wassers in Luft, noch keineswegs völlig verdrängt. Gay-Lussac¹⁶⁾ sprach noch im Jahre 1800 von der Wassermenge, die von der Luft „im aufgelösten Zustande“ gehalten wird¹⁷⁾, und die, wie er sagt, mit der Temperatur und der Dichtigkeit der Luft nach einem gewissen Gesetze sich ändert, das aber noch nicht

16) Gay-Lussac (Jos. Louis), geb. den 6. Dez. 1778 zu St. Leonard im Departement Obervienne, wurde 1816 Professor an der polytechnischen Schule und 1832 am naturhistorischen Museum zu Paris. Er machte sich zuerst durch seine Luftfahrten in Paris bekannt, indem er erst in Gesellschaft mit Biot 4000, und später allein bis 7000 Meter über die Erdoberfläche sich erhob. Berühmt wurde er durch seine vielen und wichtigen Entdeckungen in der Physik und Chemie, besonders durch seine Bestimmung der Ausdehnung der Gase und Dämpfe durch die Wärme, des specifischen Gewichts und der Wärmecapazität der Luftarten, und durch seine Untersuchungen der Metalle der Alkalien, den Blausstoff, Jod, Chlor u. f. Einen großen Theil seiner chemischen Versuche hat er in Verbindung mit Thenard angestellt und in den *Recherches physico-chimiques* (2 Bde. Par. 1811) bekannt gemacht. Seine übrigen Aufsätze findet man in den *Annales de chimie*, in den *Annales de chimie et de physique*, und in dem *Bulletin de la société philomatique*. Noch haben wir von ihm *Mémoires sur l'analyse de l'air atmosphérique*, Par. 1804. *Cours de physique, recueilli et publié par Grossetin* (Par. 1827) und *Cours de chimie recueilli et revu par Gaultier*, 2 Vol. Par. 1828. L.

17) M. f. *Annales de chimie*, Vol. 43.

gefunden sein soll. Professor Robison¹⁸⁾ aber sagt¹⁹⁾ in dem Artikel „Steam“ der Encyclopaedia Britannica von demselben Jahre 1800: „Manche Physiker bilden sich ein, daß auf diesem Wege (durch Elasticität allein) auch schon bei anderen Temperaturen eine selbstständige Evaporation erzeugt werde. Allein wir können dieser Meinung nicht beitreten, und müssen immer noch der Ansicht treu bleiben, daß diese Art von Evaporation durch die auflösende Kraft der Luft bewirkt werde.“ Er gibt dann folgenden Grund für diese seine Behauptung an. „Wenn feuchte Luft,“ sagt er, „schnell getrocknet wird, so hat immer ein Niederschlag von Wasser statt. Allein bei der neuen Theorie sollte gerade das Gegentheil eintreten, weil das Bestreben des Wassers, in elastischer Gestalt zu erscheinen, durch die Entfernung des äußern Drucks befördert wird.“ — Eine andere Schwierigkeit, die sich der reinen Mischung der Dünste mit der Luft entgegensetzen sollte, war die, daß bei den so gemischten Körpern der schwerere den untern, und der leichtere den oberen Theil des Raumes, in dem sie enthalten sind, einnehmen müßte.

18) Robison (John), geb. 1739 zu Boghall in Schottland, widmete sich früh schon der Mathematik unter der Leitung des berühmten Simson. Im Jahr 1757 ging er als Erzieher der Kinder des Admirals Knowles nach Dnebek, wo er sich vorzüglich viel nautische Kenntnisse erwarb, so daß die nautischen wie auch die meisten mathematischen und philosophischen Artikel der dritten Ausgabe der Encyclopaedia Britannica beinahe alle von ihm sind. Im Jahre 1762 machte er eine andere wissenschaftliche Seereise nach Jamaica, um Harrison's Seeuhren zu prüfen. 1767 wurde er Professor der Chemie zu Glasgow, und 1770 ging er mit dem Admiral Knowles nach Petersburg, um dort nach dem Wunsch der Kaiserin die russische Marine zu reorganisiren. Er wurde zum Generalinspektor des Kadetencorps in Petersburg ernannt, baute eine große Dampfmaschine in dem Hafen von Kronstadt, und ging endlich, der vielen Hindernisse müde, die man ihm in Rußland entgegensetzte, wieder in sein Vaterland als Professor der Philosophie in Edinburg zurück, wo er auch am 30sten Januar 1805 starb, nachdem er die letzten achtzehn Jahre seines Lebens beinahe immer mit Krankheiten gekämpft hatte. Sein vorzüglichstes Werk ist: System of mechanical philosophy by I. Robison, with Notes by David Brewster, 1822, Vol. IV. Auch seine Ausgabe der Elemente der Chemie von Black (1803. Vol. II) wird als ein vorzügliches Werk geschätzt. L.

19) M. f. Robison's Works. II. 37.

Der erste dieser Einwürfe wurde durch die Betrachtung zurückgewiesen, daß bei der Verdünnung der Luft auch ihre specifische Wärme verändert, und dadurch ihre Temperatur unter die den Dünsten eigenthümliche reduziert wird. Dem zweiten Einwurfe aber begegnete man durch Hinweisung auf Dalton's Gesetz von der Mischung der Luftarten. — Aber wir müssen die Aufstellung dieser Lehren in einem besonderen Abschnitte betrachten, da sie den eigentlichen Hauptschritt zur wahren Erkenntniß der Evaporation enthalten.

Zweiter Abschnitt.

Dalton's Theorie der Evaporation.

Ein Theil von den wahren Ursachen der Evaporation war, mit mehr oder weniger Klarheit, mehreren von den bisher erwähnten Physikern bekannt geworden. Sie hatten z. B. bemerkt, daß die in der Luft in einem unsichtbaren Zustande enthaltenen Dünste durch die Kälte zu Wasser verdichtet werden. Ebenso hatten sie gefunden, daß es für jeden Zustand der Atmosphäre eine gewisse Temperatur gebe, die unter jener der Atmosphäre ist, und bei welcher die Körper, wenn sie diese letzte Temperatur haben und der Atmosphäre blosgestellt werden, auf ihrer Oberfläche Wasser in feinen, dem Thau ähnlichen Tropfen absetzen, daher auch diese zweite, tiefere Temperatur der Thaupunkt genannt wurde. Auch hatten sie beobachtet, daß das Wasser, wo es auch existiren mag, sobald es tiefer unter die Temperatur, durch die es in Dunst verwandelt wird, gebracht wird, diese dunstförmige Gestalt wieder verläßt, daher auch jene Temperatur von ihnen die konstituierende genannt wurde. Diese und ähnliche Erscheinungen waren den spekulativen Meteorologen des letzten Jahrhunderts allerdings bekannt, und in England besonders wurde die allgemeine Aufmerksamkeit vorzüglich durch Bell's Essay on Dew (Versuch über den Thau), London 1814, auf diesen Gegenstand gelenkt. Bell's Lehre setzte mit vollkommener Klarheit auseinander, wie die durch die Refraktion der Luft erzeugte Kälte, wenn sie unter die konstituierende Temperatur der in ihr enthaltenen Dünste herabsteigt, den Thau erzeugt, und widerlegte zugleich dadurch, wie wir

schon gesagt haben, einen jener alltäglichen Einwürfe, die man gegen die neue Lehre zu erheben gesucht hatte.

Den anderen jener zwei, zu Ende des vorigen Abschnittes erwähnten Einwürfe aber konnte erst Dalton vollständig entkräften. Als er seine Aufmerksamkeit diesem Gegenstande zugewendet hatte, bemerkte er bald die unüberwindlichen Schwierigkeiten, die sich der Lehre einer chemischen Mischung des Wassers mit der Luft entgegensetzten. In der That war auch diese Lehre nur eine bloße Worterklärung, da sie, bei näherer Untersuchung, von gar keiner chemischen Analogie unterstützt erschien. Indem er darüber weiter nachdachte, gelangte er in Folge anderer, die Luftarten betreffenden Untersuchungen, zu der Ueberzeugung, „daß bei jeder Mischung der Dünste mit der Luft, „jeder dieser zwei Körper seinem eigenen, besonderen Gesetze des „Gleichgewichts folge, und daß die Elemente eines jeden dieser Körper nur in Beziehung auf die Elemente seiner Art elastisch sind, „so daß man sich das Schweben und Fließen der Dünste zwischen „den Luftelementen gleich dem eines Wasserzuges zwischen Riesen vorstellen muß, und daß der Widerstand, den die Luft der „Evaporation darbietet, nicht von ihrem Gewichte, sondern von „der Kraft der Trägheit ihrer kleinsten Theilchen entsteht“²⁰⁾.

Man wird finden, daß die Theorie der unabhängigen Dünste, auf diese Weise und unter diesen Bedingungen verstanden, alle hieher gehörenden Erscheinungen vollkommen darstellt, nämlich die allmähliche Evaporation in der Luft, die plötzliche Verdunstung im luftleeren Raume, den Zuwachs der Elasticität der Luft durch die hinzugetretenen Dünste, die Verdichtung derselben und andere ähnliche Phänomene.

Dalton hatte verschiedene Versuche angestellt, sein Grundprinzip zu beweisen, daß nämlich zwei Gase, wenn sie zusammentreten, sich in und unter einander ergießen, und zwar nur allmählig, wenn die communicirende Oeffnung, durch welche sie in einander fließen, sehr klein ist²¹⁾. Auch bemerkte er, daß alle von ihm gebrauchten Gase dieselbe auflösende Kraft haben, was nicht wohl statthaben konnte, wenn chemische Verwandtschaften

20) M. f. Manchester Memoirs, Vol. V. S. 581.

21) M. f. New system of chemical philosophy, Vol. I. S. 151.

mit im Spiele gewesen wären. Auch die Dichte der Luft hatte keinen Einfluß auf das von ihm aufgestellte Prinzip.

Nachdem Dalton alle diese Umstände in Betracht gezogen hatte, mußte er wohl die alte Lehre, von der Auflösung des Wassers in der Luft, gänzlich verlassen. „Im Herbste des Jahrs 1801,“ sagt er, „verfiel ich zuerst auf eine Idee, die mir völlig geeignet schien, alle Erscheinungen des Dampfes zu erklären, und sie gab mir Gelegenheit zu mannigfaltigen Experimenten.“ Diese endeten damit, daß jene erste Idee sich in seinem Geiste als eine neue, wohlbegründete Wahrheit feststellte. „Aber,“ setzt er hinzu, „meine Theorie wurde beinahe allgemein mißverstanden und demgemäß auch verworfen.“

Dalton suchte die Einwürfe, die man ihm machte, zu widerlegen. — Berthollet²²⁾ entgegnete ihm, daß man sich die Vereinigung der Elemente zweier verschiedener Substanzen, ohne Aenderung der Elasticität dieser Substanzen, nicht wohl denken könne. Darauf antwortete Dalton durch das Beispiel zweier Magnete, die einen den andern zurückstoßen und anziehen, aber auf andere Körper keine Wirkung äußern. — Einer der sonderbarsten und sinnreichsten Einwürfe ist der von Gough, der behauptete, daß, wenn jedes der beiden Gase blos in Beziehung auf sich selbst elastisch

22) Berthollet (Graf von), geb. den 9. Dez. 1748 zu Annecy in Savoyen, vollendete seine Studien zu Turin, wo er sich der Medizin widmete, und ging dann nach Paris, wo er sich an der Seite des berühmten Arztes Tronchin für die praktische Arzneikunde auszubilden suchte. Bald aber wurde er von Lavoisier mächtig angezogen, und wendete nun Talent und Fleiß ganz der Chemie zu. Im Jahre 1780 wurde er Mitglied der Akademie zu Paris, und 1790 erschien sein treffliches Werk *Sur la Teinture*, II Vol. Er ist der Erfinder des Bleichens durch Chlor. Fünfzig volle Jahre kultivirte er die Chemie mit dem glücklichsten Fortgang und bereicherte sie mit den mannigfaltigsten Entdeckungen. Er war einer der Lieblinge Napoleons, der ihn auch mit nach Aegypten nahm. Während dem Kaiserreiche wurde er Senator, Großoffizier der Ehrenlegion, Administrator der kaiserlichen Münze, aber seine alten schlichten Sitten blieben stets unverändert. Nach siebenzig heiter und glücklich verlebten Jahren starb ihm sein einziger Sohn auf eine grausenvolle Weise. Seitdem versank er in tiefe Trauer, aus der er sich nie wieder erhob. Er starb am 6. Nov. 1822 im Alter von 74 Jahren. L.

ist, wir auf jeden Schlag in der Luft vier Töne vernehmen müßten, nämlich erstens den Schall im Wasserdampf, zweitens den in dem Stickgas, drittens den im Oxygengas, und viertens endlich den in dem kohlenfauren Gas. Dalton entgegnete ihm, daß die Zeitintervalle zwischen diesen Tönen sehr klein sind, und daß wir auch in der That in besondern Fällen zwei oder drei Töne zugleich hören.

Ueberhaupt behandelt Dalton in seinem eben erwähnten „Neuen Systeme der chemischen Physik“ die Einwürfe seiner Gegner mit ausgezeichnete, unpartheiischer Offenheit. Er zeigt sich hier nicht ungeneigt, denjenigen Theil seiner Theorie, der die gegenseitige Anziehung der Elemente der zwei Gase verneint, gänzlich zu verlassen, und das Zueinanderfließen dieser Elemente der verschiedenen Größe derselben zuzuschreiben, die, wie er glaubt, dieselbe Wirkung hervorbringen wird ²³⁾.

Der schätzbarste Theil dieser Theorie, dessen Werth auch für die Folgezeit dauernd ist, wird erhalten, wenn man alle unbewiesenen und zweifelhaften Zusätze, mit denen man sie auszustatten gesucht hat, zur Seite liegen läßt. Man wird bei näherer Betrachtung finden, daß in jeder unserer bisher aufgestellten Theorien alle jene vorgeblichen Meinungen, die sich auf die Größe, Gestalt und Distanz der Elemente der Körper, auf ihre gegenseitigen Attraktionen und Repulsionen und auf andere ähnliche Eigenschaften derselben beziehen, unsicher und selbst überflüssig sind. Wenn man also alle Hypothesen dieser Art ganz wegläßt, so scheinen mir die dann noch übrig bleibenden Induktionen folgende zu sein. — „Zwei in Kommunikation tretende Gase werden, durch die Elasticität eines jeden derselben, entweder langsam oder rasch in einander fließen, und die in einem bestimmten mit Luft erfüllten Raume enthaltene Dunstmenge bleibt immer dieselbe, welcher Art auch diese Luft, und welches auch die Dichte derselben sein mag, ja selbst dann noch, wenn jener Raum ganz luftleer ist.“ Diese Sätze lassen sich durch den Ausdrück zusammenfassen, daß die beiden Gase unter einander mechanisch gemischt werden, und man kann nicht anders, als Dalton beistimmen, wenn er sagt, daß dies der wahre Prüfstein

23) Dalton's New Syst. of chemical philosophy, S. 188.

der mechanischen und chemischen Theorie ist. Diese Lehre von der mechanischen Mischung der Gase scheint die Antwort auf alle Einwürfe zu enthalten, die Berthollet und andere gegen seine Lehre vorgebracht haben, wie auch Dalton gezeigt hat ²⁴⁾, und wir können daher dieselbe allerdings als wohlbegründet annehmen.

Diese Theorie, verbunden mit dem oben erwähnten Prinzip der konstituierenden Temperatur der Dämpfe, ist auf eine große Anzahl von meteorologischen und anderen Erscheinungen anwendbar. Allein ehe wir von den Anwendungen der Theorie auf die Phänomene der Natur sprechen, wird es angemessen sein, derjenigen Untersuchungen zu erwähnen, die man, im großen Maaßstabe, über den Gebrauch des Dampfes in den Künsten durchgeföhrt hat, nämlich über die Verbindung der elastischen Kraft des Dampfes mit der konstituierenden Temperatur desselben.

Dritter Abschnitt.

Gesetze der elastischen Kraft der Dämpfe.

Die Ausdehnung des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen steht, wie die aller andern Dämpfe, unter dem Gesetze von Dalton und Gay-Lussac, von dem wir bereits oben gesprochen haben, und daraus wird dann die Elasticität dieses Dampfes, wenn seine weitere Ausdehnung im Raume gehindert wird, nach dem bekannten Gesetze von Boyle und Mariotte abgeleitet, nämlich nach der Vorschrift, daß der Druck aller luftförmigen Flüssigkeiten sich wie die Dichte derselben verhält. Allein dabei muß bemerkt werden, daß diese Regeln voraussetzen, daß der Dampf in keiner weiteren Berührung mehr mit dem Wasser selbst steht, aus dem er sich erzeugt hat, so daß demnach kein neuer Dampf zu dem bereits gebildeten hinzutreten kann. In den gewöhnlichen Fällen aber, die in den Künsten vorkommen, wird immer mehr Dampf entwickelt, je höher die Temperatur steigt, und es ist daher noch übrig, auch unter diesen Voraussetzungen die Kraft des Dampfes näher kennen zu lernen.

24) Dalton, New system of chemistry, Vol. I. S. 160 u. f.

Während der letzten Periode, von der wir so eben gesprochen haben, wurde unsere Kenntniß von den Gesetzen des Wasserdampfes vorzüglich durch die stets und schnell steigende Wichtigkeit der sogenannten Dampfmaschinen befördert, in welchen jene Gesetze in einer rein praktischen Gestalt und in wahrhaft großem Style auftraten. Watt²⁵⁾, der Hauptverbesserer dieser Maschinen,

25) Watt (James), geb. den 19. Januar 1736 zu Greenock in Schottland, wo sein Vater sich mit dem Handel beschäftigte und eine Magistratsstelle hatte. In seinem achtzehnten Jahre ging er nach London zu einem Instrumentenmacher in die Lehre; da aber seine Gesundheit zu schwach war, zog er sich nach Glasgow zurück, wo er durch mehre Jahre kleinere physikalische Instrumente für die Universität verfertigte, und bei der Ausführung einiger Kanäle thätig war. Wichtiger war für ihn die nähere Bekanntschaft, die er an dieser Universität mit Adam Smith, Black und Robert Simson machte. Um diese Zeit i. J. 1764 wurde ihm aus dem physikalischen Cabinet der Universität ein Modell einer Dampfmaschine von Newkomen, das schon lange nicht mehr gehen wollte, zur Ausbesserung gebracht. Er stellte das Modell wieder her, und seitdem wendete er seine ganze Kraft auf die Verbesserung dieser Maschinen selbst, deren zweiter Schöpfer er gleichsam geworden ist. Er fand, daß bei den bisher gewöhnlichen Dampfmaschinen zu viel Feuerungsstoff verwendet werde, weil man die Dämpfe in dem Cylinder, in welchem sich der Stempel befindet, verdichtete, indem man diesen Cylinder durch dasselbe Wasser abkühlte, welches die Dämpfe kondensirte. Er ließ dafür die Dämpfe in ein besonderes Gefäß übergehen, um sie dort zu kondensiren, so daß der Cylinder nicht mehr durch kaltes Wasser abgekühlt zu werden brauchte, aus welcher Hauptverbesserung dann unter seiner Hand sofort viele andere kleinere hervorgingen. Boulton, ein reicher Fabrikant und Maschinenbaumeister zu Soho in Birgmingham zog Watt an sich und unterstützte ihn mit der nöthigen Summe zur Ausführung seiner Erfindungen. Dieser bedeutenden Verbesserungen ungeachtet waren doch seine neuen Maschinen bloß zur Hebung des Wassers in Schächten u. s. anwendbar. Watt gab ihnen aber 1780 eine ganz neue Gestalt, indem er die wechselnde Bewegung derselben in eine drehende verwandelte, wodurch diese Maschinen auch zu Mühlwerken verwendbar wurden. Auch jetzt noch war die Stange des Stempels mit dem Hebel der Maschine nur durch eine Kette verbunden, welche die Stange wohl heraufziehen, aber nicht herabstoßen konnte. Durch eine neue, sehr sinnreiche Verbesserung Watt's bewegte sich das Ende des Hebels in einem Kreise, obschon der Stempel in senkrechter Richtung auf und ab ging. Weitere gemeinschaftliche Nachrichten über

wurde auf diese Weise ein großer Beförderer unserer spekulativen Erkenntniß sowohl, als auch unserer praktischen Kraft. Viele von seinen Verbesserungen der Dampfmaschinen sind von den Gesetzen abhängig, die sich auf das Verhältniß der Wärmemenge zu der Erzeugung und Verdichtung des Dampfes beziehen, und die Beobachtungen, die ihn zu diesen Verbesserungen führten, gehören in das Gebiet der Lehre von der latenten Wärme. Zu diesem Zwecke wurden nun vor allem genaue Messungen der Dampfkraft für alle Grade der Temperatur mit Sorgfalt vorgenommen.

Watt wurde im Jahr 1759 durch Robison auf diese Maschinen aufmerksam gemacht, als jener sich mit der Verfertigung anderer Instrumente beschäftigte, und dieser auf der Universität zu Glasgow²⁶⁾ studirte. Im Jahre 1761 oder 1762 machte Watt einige Versuche über die Kraft des Dampfes mit dem Papin'schen Digestor²⁷⁾, und bei dieser Gelegenheit kon-

die hochwichtige Erfindung und Einrichtung der Dampfmaschinen findet man in Lardner's Werk: *The steam engine familiarly explained and illustrated*. VI. Ausg. Lond. 1836. Deutsch, Leipzig 1838. — Watt starb als Mitglied der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu London und Paris am 25sten August 1819. L.

26) M. s. Robison's Werke. Vol. I. S. 113.

27) Papin (Denis oder Dionysius), der mehrere von Boyle's Experimenten auch für sich angestellt hatte, machte die Entdeckung, daß das kochende Wasser, wenn der von ihm aufsteigende Dampf auf demselben zurückgehalten wird, viel heißer wird, als bei der gewöhnlichen Siedehitze, und auf diesem Wege fand er den nach ihm benannten Digestor. Er beschrieb denselben in seiner Schrift: *La manière d'amollir les os etc.* Man sehe Note 4, S. 537.

Papin war gegen 1650 zu Blois geboren. In Folge der Aufhebung des Edikts von Nantes verließ er Frankreich, und ging nach Holland, wo er ein Schüler des großen Huyghens wurde. Im Jahre 1688 wurde er Professor zu Marburg in Kurhessen, wo er 1710 starb. Sein Digestor (oder, wie er auch genannt wird, der Papinische Topf) ist ein cylindrisches, innen verzinnetes Gefäß von Kupfer, mit einem sehr genau schließenden Deckel versehen, um die Dämpfe zurückzuhalten, die sich aus dem in dem Gefäße eingeschlossenen, kochenden Wasser entwickeln, und dadurch dem Wasser selbst eine viel höhere Temperatur zu ertheilen, so daß nun z. B. Knochen, Elfenbein und andere harte Körper in wenigen Minuten zu einer Gallerte in diesem Wasser, oder eigentlich

struirte er sich eine Art von Modell zu einer Dampfmaschine, bereits wie es scheint, den Beruf in sich fühlend, der eigentliche Entwickler dieser bisher noch größtentheils unbekanntem Kraft zu werden. Seine damaligen Kenntnisse hatte er größtentheils aus den Werken Desagulier's und Belidor's ²⁸⁾ geschöpft, aber er vermehrte und verbesserte dieselben bald durch seine eigenen Versuche. In den Jahren 1764 und 1765 verfolgte er eine systematische Reihe von Experimenten, um die Kraft des Dampfes zu erforschen. Diese seine Untersuchungen bezogen sich aber nur auf die höheren Temperaturen über dem Siedepunkt des Wassers, indem er die für die tieferen Grade aus der vorausgesetzten Continuität des von ihm erhaltenen Gesetzes ableitete.

in diesem eben so heißen Dampfe, zusammengekocht werden. Das in freier Luft kochende Wasser kann nämlich einen bestimmten Wärmegrad ($+ 80^{\circ}$ Reaumur oder $+ 100^{\circ}$ Centigrade) nicht übersteigen, weil jeder höhere Grad das Wasser in Dampf verwandelt, während der Wasserdampf, wenn man seiner Ausbreitung Schranken setzt, eine viel größere Hitze annimmt, und dann auch, wegen seiner großen Elasticität, viel leichter in die Zwischenräume der thierischen und vegetabilischen Körper eindringt. — Andere von Papin erfundene nützliche Maschinen, unter denen besonders eine, um Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, hat Bayle in seinen *Nouvelles de la république des lettres* (1685) beschrieben. In den *Actis Eruditor*, Lips. von 1688 und 1690 findet man einen Aufsatz Papin's über den Niederschlag der Dämpfe durch kaltes Wasser, um dadurch das Steigen und Fallen des Stempels in einer Röhre zu bewirken. L.

28) Belidor (Bernard Forest de), geb. 1697 in Catalonien, studirte mit Eifer die Mathematik und ward auf Empfehlung von Cassini und Lahire als Professor an der neu errichteten Artillerieschule zu Laferre angestellt. Im Jahre 1742 nahm er Kriegsdienste in der französischen Armee, wo er 1758 General und Direktor des Par. Arsensals wurde. Er starb am 8. Sept. 1761. Im Fache der Artillerie und der Wasserbaukunst ist er noch jezt einer der geschätztesten Schriftsteller. Seine vorzüglichsten Werke sind: *Architecture hydraulique*, Par. 1737—51 in 4 Bänden; *Le Bombardier français*, Par. 1731. *Traité de fortifications* 2 Bde.; *La science des Ingenieurs*; *Cours de mathématiques à l'usage de l'artillerie* u. s. Seine zurückgelassenen Manuscripte über die Anlegung der Minen, über Festungsbau und Artilleriewissenschaften wurden gleich nach seinem Tode von der französischen Regierung mit Beschlag belegt und unterdrückt. L.

Auch sein Freund Robison beschäftigte sich bald darauf mit ähnlichen Versuchen, zu denen er durch die Lectüre der Schriften von Lord Charles Cavendish und von Mairne geführt wurde. Watt konstruirte ²⁹⁾ eine Tafel der Elasticität des Wasserdampfes für die Temperatur von 32 bis 280 Fahrenheit (oder von 0° bis 110°.2 Reaumur). Was aber hier vorzüglich gewünscht wurde, war die Aufstellung eines Gesetzes für den Druck des Dampfes herab bis zu dem Gefrierpunkt des Wassers. Zeidler in Basel machte 1769, und dreizehen Jahre später Achard ³⁰⁾ in Berlin Experimente zu diesem Zwecke. Der letztere untersuchte auch die Elasticität der Alkoholdämpfe. Im Jahre 1792 machte Betancourt seine Schrift über die Expansivkraft der Dämpfe bekannt, und die von ihm gelieferten Tafeln wurden längere Zeit durch für die genauesten gehalten. Prony ³¹⁾ stellte in seiner *Architecture hydraulique* (1796) eine mathematische Formel dafür

29) Diese Tafel wurde später in der *Encyclopaedia Britannica* in dem von Robison verfaßten Artikel „Steam“ bekannt gemacht.

30) Achard (Franz), geb. zu Genf i. J. 1708, Rath bei der höchsten Justizstelle zu Berlin, und Mitglied der k. Akademie daselbst. Er führte die Erfindung Marggrafs (von dem Jahr 1747), nämlich die der Zuckerbereitung aus Runkelrüben der erste im Großen aus. M. s. dessen „Europäische Zuckerfabrikation aus Runkelrüben. 3 Bde., Leipz. 1812. Auch verfaßte er mehrere Aufsätze über das Unendliche in der Mathematik, worin er Fontenelle's Meinung bekämpfte. Seine zerstreuten Schriften findet man größtentheils in den *Mém. de l'Acad. de Berlin*. Er starb zu Berlin i. J. 1784. L.

31) Prony (Gasp. Baron von), geb. 1755 zu Chamelet im Rhonedepartement, Generalinspektor der Brücken und Wege und Direktor der *Ecole des ponts et chaussées*, hat sich um Mathematik, Mechanik und Hydraulik große Verdienste erworben. Seine vorzüglichsten Schriften sind: *Mém. sur la poussée des voûtes*, Par. 1783; *Méthode pour construire les équations indéterminées*, Par. 1790; *Nouvelle architecture hydraulique*, II Vol. ib. 1790—95; *Mécanique philosophique*, ib. 1800; *Recherches sur les eaux courantes*, ib. 1804; *Cours de mécanique*, ib. 1815, II Vol. *Description hydrogr. des Marais Pontins*, ib. 1823. In seiner *Notice sur les grandes tables logar. et trigon. adoptées au système métrique décimal*, Par. 1824, gibt er Nachricht über die unter seiner Leitung ausgearbeiteten 17 Foliobände starken log. Tafeln, die bis jetzt ungedruckt auf der Par. Sternwarte liegen, obschon England die Hälfte der Druckkosten zu tragen sich angeboten hat. L.

auf³²⁾, die auf Betancourt's Versuche gegründet war. Der letzte glaubte diese Versuche früher als alle anderen vorgenommen zu haben, und bemerkte erst nachher, daß ihm hierin Ziegler bereits zuvorgekommen war. Gren verglich Betancourt's und Deluc's Versuche mit seinen eigenen, und machte dabei die wichtige Entdeckung, daß für das frei kochende Wasser die Elasticität des Dampfes gleich jener der Atmosphäre ist. Schmidt in Giessen suchte den von Betancourt gebrauchten Apparat zu verbessern, und Biker in Rotterdam machte i. J. 1800 neue Versuche zu demselben Zwecke.

Im Jahre 1801 theilte Dalton seine Untersuchungen dieses Gegenstandes der gelehrten Societät von Manchester mit. Er bemerkte dabei mit Recht, daß zwar die Kenntniß der Dampfkräfte bei hohen Temperaturen, so lange der Dampf als ein mechanisches Agens betrachtet wird, sehr nützlich und selbst nothwendig sei, daß aber der Fortgang der Naturwissenschaften mehr und inniger von unserer Kenntniß dieser Kraft bei den tieferen Temperaturen abhängt. Er kam zu dem Resultate, daß die Reihe der elastischen Kräfte des Dampfes für gleichweit von einander abstehenden Temperaturen eine geometrische Progression bildet, deren Verhältniß aber beständig abnimmt. Auch Ure machte im Jahre 1818 seine Beobachtungen über diesen Gegenstand in den Philos. Transactions von London bekannt, und sie sind besonders wegen den hohen Temperaturen, unter welchen sie angestellt wurden, und wegen der Einfachheit seines Apparats sehr schätzbar. Das von ihm gefundene Gesetz näherte sich ebenfalls einer geometrischen Progression. Ure sagt, daß eine von Biot aufgestellte Formel einen Fehler von nahe 9 Zollen für 75 bei einer Temperatur von 266 Graden gebe, was sehr möglich ist, da, wenn die Formel selbst fehlerhaft ist, die geometrische Progression diesen Fehler besonders für die höheren Temperaturen sehr vergrößern muß. Endlich wurde die Elasticität des Wasserdampfes bei hohen Temperaturen auch noch von Southern zu Solo bei Birmingham, und von Charpe zu Manchester untersucht. Dalton bemühte sich, aus diesen Experimenten von Charpe gewisse allgemeine Gesetze abzuleiten, allein wir

32) Prony, Architecture hydraulique, Part. II. S. 163.

können dieselben nicht wohl als Erweiterungen der bisher aufgestellten wissenschaftlichen Erkenntniß betrachten⁵³). Auch habe

33) Nach dem Vorhergehenden wird jedes Volum irgend einer Luftart, das man für die Temperatur 0° Cent. und für die Normalbarometerhöhe von 28 Par. Zoll als Einheit des Volums annimmt, durch die Wärme gleichförmig ausgedehnt, und zwar so, daß sein Volum bei der Temperatur von 100° Cent. gleich $1\frac{7}{8} = 1.375$ beträgt. Ist also V das Volum einer Luftart für 0° Cent. und Barometer 28 P. Z., so ist das Volum V' derselben für Therm. Centig. t und Barometer h P. Z. gleich

$$V' = \frac{28}{h} (1 + 0.00375t) \cdot V$$

und derselbe Ausdruck gilt auch, wenn V und V' die Expansivkraft der gewählten Luftart unter den zwei erwähnten Verhältnissen bezeichnet.

Anders verhält sich dies bei den Dünsten z. B. bei dem Wasserdunste, der sich bei jeder Temperatur des Wassers, auch unter dem Gefrierpunkte desselben entwickelt, und dessen Dichte und Expansivkraft nur von der Temperatur abhängt, und sich nicht, wie bei den eigentlichen Luftarten, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt. Wie man nämlich den Wasserdampf in einen kleinern Raum zusammenpreßt, geht ein Theil des Dampfes in tropfbares Wasser über, und der noch übrige Rest hat wieder seine vorige Dichte und Expansivkraft, so daß daher diese, für die eben herrschende Temperatur, ein Maximum ist. Dieses Maximum der Dichte und Expansivkraft wächst aber mit der Temperatur. — Werden Dämpfe, die nicht mit Wasser in Berührung stehen, erwärmt, so dehnen sie sich wie oben die Luftarten aus, nämlich für jeden Grad des Thermometers um 0.00375 ihres Volums bei 0° Centig., und ganz eben so nehmen sie auch an Expansivkraft zu; werden sie aber abgekühlt, so ziehen sie sich zusammen, bis ihre Expansivkraft das der herabgesetzten Temperatur entsprechende Maximum wieder erreicht hat. — Solche Dünste jedoch, die mit Wasser in Berührung stehen, verhalten sich wohl beim Abkühlen eben so, wie in dem vorhergehenden Falle, beim Erwärmen aber werden nicht bloß die schon vorhandenen Dünste noch expansibler, sondern es entstehen auch neue und zwar so lange, bis das Maximum der Expansivkraft erreicht ist. Unter diesem Maximum befolgen dann die Dünste das oben erwähnte Mariottische Gesetz, indem nämlich dann die Expansivkraft oder die Dichte des Dampfes dem Drucke desselben proportional ist. Die folgende Tafel gibt das erwähnte Maximum der Spannkraft und die Dichte der Wasserdämpfe, wie sie aus Dalton's Versuchen nach

ich die vorhergehende Erzählung aller dieser Versuche mehr in Beziehung auf ihre Wichtigkeit für die ausübende Kunst, als

einer Formel von Biot abgeleitet wurden. Die erste Kolonne der Temperatur bezieht sich auf das hunderttheilige Thermometer, und die letzte gibt die Dichte des Wasserdampfes, wenn die Dichte des Wassers bei 0° Centig. gleich der Einheit gesetzt wird; die Expansivkraft endlich ist in Millimetern angegeben.

Temperatur	Expansivkraft	Dichte.	Temperatur	Expansivkraft	Dichte.	Temperatur	Expansivkraft	Dichte.
— 20 ⁰	1.33	0.0000015	20 ⁰	17.31	0.0000172	60	144.66	0.0001260
— 15	1.88	21	25	23.09	225	65	182.71	1567
— 10	2.63	29	30	30.64	294	70	229.07	1935
— 5	3.66	40	35	40.40	381	75	285.07	2379
0	5.06	54	40	53.00	492	80	352.08	2889
5	6.95	73	45	68.75	627	85	431.71	3492
10	9.47	97	50	88.74	797	90	525.28	4189
15	12.84	0.0000130	55	113.71	0.0001005	95	634.27	4989
						100	760.00	0.0005895

Die letzte Zahl von 760 Millimeter oder 0.76 Meter (gleich der mittleren Barometerhöhe am Meere) entspricht dem Druck von nahe 1 Kilogramme (oder von 1.7857 Pfund des Wiener Handelsgewichts) auf die Fläche eines Quadratcentimeters (oder auf die Fläche von 0.1364 Par. Quadr. Zoll oder von 0.1441 Wiener Quadr. Zoll), oder dem Druck von nahe 12.4 Pf. Wien. Gewicht auf einen Wiener Quadratzoll. Man pflegt diesen den mittlern Druck unserer Atmosphäre gleichen Druck auch selbst eine Atmosphäre zu nennen. Drückt man also die Expansivkraft der Wasserdünste in solchen Atmosphären aus, so gibt die Fortsetzung jener Tafel

Temperatur . . 100⁰ . . 125 . . 150 . . 175 . . 200 . . 225 . . 250

Expansivkraft
in Atmosphäre . . 1 . . 2.28 . . 4.61 . . 8.56 . . 15.02 . . 24.38 . . 38.27 u. f.

Das Vorhergehende gilt bloß von dem Wasserdünste. Anders verhalten sich die Dünste anderer Körper, wie z. B. die aus der Schwefelsäure entstandenen Dünste, welche bei 10° Centig. noch nicht den fünften Theil der entsprechenden Expansivkraft des Wasserdruckes haben.

Für die verschiedenen Luftarten endlich gibt die folgende Tafel die Dichte und Expansivkraft derselben im Verhältniß zu der atmosphärischen Luft, wo die zweite Zahl der Tafel, wie man sieht, die reciproke der ersten ist.

aus dem Grunde mitgetheilt, daß sie uns zu der Kenntniß irgend eines neuen Naturgesetzes, zu einer eigentlich wissenschaftlichen

Luftarten.	Dichte.	Expansivkraft.
Atmosphärische Luft	1.000	1.000
Sauerstoffgas	1.026	0.257
Stickgas	0.976	1.024
Wasserstoffgas	0.073	1.366
Kohlensäuregas	1.520	0.658
Ammoniakgas	0.597	1.676
Salzsäuregas	1.247	0.802
Chlorgas	2.476	0.404

wo durch diese Zahlen der Dichte auch zugleich die Gewichte dieser Luftarten ausgedrückt werden.

Das oben gebrauchte Gramm (Gramme) wird gewöhnlich als die Einheit der Gewichte gebraucht, und man versteht darunter das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers bei der größten Dichte desselben, d. h. bei der Temperatur von nahe 4° Centigr. genommen. Nach Hallström's sehr genauen Experimenten ist das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers bei der Temperatur Zero gleich 0.9998018 Gramme und dieses letztgenannte Wasser wird auch zugleich für die Einheit der Dichtigkeit angenommen. Auf diese Weise sagt man, daß die Dichte des Quecksilbers für dieselbe Temperatur Zero gleich 13.5975 ist, und diese Dichte nimmt für jeden Zuwachs der Temperatur von einem Grad des hunderttheiligen Thermometers um $\frac{1}{5550} = 0.0001802$ ab. — Die Dichte der atmosphärischen Luft für dieselbe Temperatur Zero, und für den Barometerstand von 76 Centimeter wurde zu Paris gleich $\frac{1}{769.4} = 0.0012997$ gefunden, und ihre Dichte nimmt, wie die aller andern Luftarten, für jeden Zuwachs der Temperatur von einem Grad, nach dem Vorhergehenden um $\frac{3}{8(100)} = 0.00375$ ab. Daraus folgt, daß das Verhältniß der Dichte des Quecksilbers zu der der atmosphärischen Luft gleich $(13.5975) \cdot (769.4)$ oder gleich 10462 ist.

Noch ist, um diese Vergleichen vollständig zu geben, übrig zu sagen, wie das Gewicht der Körper von der Schwere an der Oberfläche der Erde abhängt. Nennt man für einen Ort dieser Oberfläche φ die geographische Breite, λ die Länge des Sekundenpendels und g die an diesem Orte beobachtete Schwere, so hat man (Poisson's *Traité de Mécanique*, II. Aufl. Vol. I. S. 367) den Ausdruck

$$\lambda = 1 (1 - a \cos 2\varphi) \text{ und } g = \pi^2 \cdot \lambda$$

Entdeckung geführt haben. Bemerken wir jedoch zum Schlusse dieses Gegenstandes, daß auch nicht einer der oben genannten Experimentatoren das hier in Rede stehende Gesetz durch Hülfe der Ausdehnung der Luft, als des eigentlichen Wärme-maßes, gesucht hat, obschon dieses Verfahren die übrigen Theile der Thermotik, wie bereits erwähnt, auf einen früher ganz unbekanntem Grad der Genauigkeit und der symmetrischen Einfachheit erhoben hatte.

Vierter Abschnitt.

Folgen der Lehre von der Evaporation. Erklärung des Regens, des Thaues und der Wolken.

Die auf Wärme und Feuchtigkeit sich beziehenden Entdeckungen des letzten Jahrhunderts wurden vorzüglich durch meteorologische Untersuchungen veranlaßt, und daher auch gleich anfangs auf Meteorologie angewendet. Demungeachtet ist in gar man-

wo $l = 0.993512$ Meter und $a = 0.002588$ und endlich π die bekannte Ludolph'sche Zahl ist, oder man hat

$$\lambda = 0.99608321 - 0.005142418 \cos^2 \varphi \text{ und}$$

$$g = 9.8309457 - 0.05075362 \cos^2 \varphi$$

wo λ und g in Metern ausgedrückt ist.

Nennt man nun P das Gewicht und M die Masse eines Körpers, d. h. die Anzahl der Elemente desselben, welche Elemente man bei allen Körpern gleich schwer voraussetzt, so hat man die Gleichung $P = g.M$, so daß also die Schwere g auch als das Gewicht desjenigen Körpers, dessen Masse man zur Einheit angenommen hat, betrachtet werden kann. Bezeichnet ferner V das Volum eines in allen seinen Theilen gleichartigen Körpers, so kann man statt der letzten Gleichung auch die folgende setzen $P = h . V$, wo dann h das Gewicht des Körpers unter der Einheit des Volums ausdrückt, welche Größe h das specifische Gewicht des Körpers genannt wird. Heißt endlich D die Masse des Körpers unter der Einheit des Volums, so wird D die Dichte des Körpers genannt, und man hat $M = DV$, also auch, da $M = \frac{P}{g}$ war, $P = gDV$, und diese letzte Gleichung zeigt, wie das Gewicht des Körpers von der Dichte und dem Volum desselben und von der Schwere auf der Oberfläche der Erde abhängt. L.

chen Theilen dieser Wissenschaft noch so viel Zweifel und Dunkelheit übrig geblieben, daß die gegenwärtige Form derselben gewiß nicht ihre letzte ist, und daß wir daher über den inneren Zusammenhang dieser Theile und über den Fortgang derselben bis zur Vollendung des Ganzen hier noch nicht sprechen können. Die Prinzipien der Aëmologie hat man allerdings bisher sehr wohl verstanden, allein die Schwierigkeit, die Bedingungen zu unterscheiden, unter welchen sie in der Atmosphäre zu wirken pflegen, ist so groß, daß die eigentliche Theorie der meisten meteorologischen Erscheinungen noch heut zu Tage vermist wird.

Wir haben bereits oben von der Art gesprochen, wie der durchsichtige Wasserdampf wieder zu seiner früheren Gestalt des sichtbaren Wassers zurückkehrt. Diese merkwürdige Verwandlung schließt die Probleme von der Entstehung und Fortbildung des Regens, des Thaues und selbst der Wolken in sich. Denn die Wolken sind nicht, wie man gewöhnlich glaubt, Dünste, sondern bloßes Wasser, weil der eigentliche Dunst immer unsichtbar ist.

Viel Aufsehen machte die von Hutton i. J. 1784 aufgestellte Meinung, der zu zeigen suchte, daß, wenn zwei mit transparenten Dämpfen gesättigte Luftmassen unter verschiedenen Temperaturen unter einander gemischt werden, ein wässeriger Niederschlag in der Form von Regentropfen oder von Wolken stattfindet. Sein Beweis für diese Hypothese war folgender. — Die Temperatur des Gemisches, sagte er, ist das Mittel zwischen den beiden primitiven Temperaturen. Allein die Dampfkraft des Gemisches, die ebenfalls das Mittel der zwei ursprünglichen Dampfkraften ist, muß größer sein, als die, welche jener mittleren Temperatur zukommt, weil nämlich diese Kraft schneller zunimmt, als die Temperatur³⁴⁾, und deshalb muß auch ein Theil des Wasserdampfes präcipitirt oder niedergeschlagen werden. — Diese Erklärung setzt aber, wie man sieht, den Dampf als ein „Sättigungsmittel“ der Luft, voraus, und ist daher mit dem wahren, von Dalton aufgestellten Prinzip unverträglich.

Thau. — Das Prinzip einer „konstituierenden Temperatur,“ so wie das des „Thaupunktes“ war, wie schon gesagt, den Me-

34) M. f. Edinburgh Transact. Vol. I. S. 42.

teorologen des letzten Jahrhunderts bereits bekannt. Allein wie unvollständig ihre Kenntniß dieser Gegenstände war, folgt schon daraus, daß sie so lange Zeit brauchten, jene Prinzipien zu entwickeln und auf die Erscheinungen in der Natur gehörig anzuwenden. Wir haben bereits oben von Wells gesprochen, dessen „Versuche über den Thau“³⁵⁾ die Aufmerksamkeit aller Physiker, besonders in England, in hohem Grade auf sich gezogen haben. „Ich wurde,“ sagt er im Eingange seiner Schrift, „durch einen sehr gemeinen Versuch im Herbst des Jahres 1784 zu der Ansicht geführt, daß die Entstehung des Thaus von der Erzeugung der Kälte begleitet sein müsse.“ Dies wurde auch bald durch die Versuche anderer Physiker bestätigt. „Allein als ich einige Jahre später den Gegenstand näher untersuchte, fing ich an, zu vermuthen, daß wir alle, Wilson, Sir und ich selbst darin gefehlt haben, daß wir die den Thau begleitende Kälte als eine Wirkung des entstandenen Thaus betrachteten.“ — Er ging nun zu der entgegengesetzten Annahme über, daß nämlich die Kälte die Ursache des Thaus ist, und fand, daß er auf diese Weise von allen oft sehr merkwürdigen und selbst paradoxen Erscheinungen der Thaubildung Rechenschaft geben konnte, indem er nämlich voraussetzte, daß diejenigen Körper, auf welchen sich der Thau zeigt, zuvor durch die Radiation in heitern windstillen Nächten unter ihre gewöhnliche Temperatur gebracht oder abgekühlt worden sind. Ganz auf dieselbe Weise wird man auch die Bildung der dichten Nebel über Strömen und Seen erklären, wenn die Luft kühler ist, als das Wasser, was Davy noch i. J. 1819 als eine neue oder doch als eine bisher nur wenig bekannte Lehre vorgetragen hatte.

Hygrometer. — Wenn die atmosphärische Luft mehr oder weniger Dünste enthält, als sie nach ihrer Temperatur und unter ihrem Drucke festhalten kann, wird sie auch mehr oder weniger feucht, und das Instrument, welches diese verschiedenen Grade der Feuchtigkeit der Luft anzugeben im Stande ist, wird bekanntlich Hygrometer genannt. Die ersten Instrumente dieser Art waren bestimmt, die Feuchtigkeit der Luft durch ihre Expansion oder Kontraktion verschiedener organischen

35) Essay on Dew, Lond. 1814.

Substanzen zu messen. Auf diesem Wege kam Saussure zu seinem Haarhygrometer. Deluc brauchte statt dem Haare das Wallfischbein, und Dalton die Darmsaite. Allein alle diese Mittel führten zu keiner Stetigkeit in ihren Anzeigen, selbst unter denselben Verhältnissen. Auch war es nicht eben leicht, die eigentlich physische Bedeutung dieser Anzeigen zu ergründen. Der Hauptpunkt aber, oder die konstituierende Temperatur der in der Luft befindlichen Dünste, war im Gegentheile ein gutbestimmtes und konstantes Datum, von dem man wohl mit Sicherheit ausgehen konnte. Verri und Dalton gingen daher auch um das Jahr 1802 von diesem festen Punkte aus, um dadurch die Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft zu bestimmen, indem sie die Kondensation derselben durch kaltes Wasser erzeugten. Endlich wurde im Jahre 1812 von Daniell ³⁶⁾ ein Instrument konstruirt, wo die kondensirende Temperatur durch die Evaporation des Aethers auf eine für diese Untersuchungen sehr geeignete Weise hervorgebracht wurde. Dieses Instrument (Daniell's Hygrometer) setzt uns nun in den Stand, die Menge der in einer bestimmten Luftmasse enthaltenen Dünste für jeden gegebenen Augenblick mit Genauigkeit zu bestimmen.

Wolken. — Wenn der Wasserdampf, indem er unter die ihn konstituierende Temperatur herabsinkt, sichtbar wird, so zeigt er sich als ein feiner Wasserstaub. Die Dimensionen der Elemente dieses wässerigen Staubes sind ungemein klein, und verschiedene Physiker haben sie zu dem 20000, bis zu dem 100000sten Theil eines Zolls angegeben ³⁷⁾. So kleine Körperchen würden, selbst wenn sie nicht hohl sind, nur sehr langsam abwärts fallen, und schon der geringste Widerstand würde hinreichen, sie in der Höhe schwebend zu erhalten, so daß es nicht erst nöthig sein wird, zu den bereits oben erwähnten hohlen Bläschen seine Zuflucht zu nehmen. In der That würde auch diese Hypothese die Erscheinung nicht einmal erklären, wenn wir nicht zugleich annehmen, daß diese hohle Bläschen wieder mit einer Luft gefüllt sind, die leichter ist, als die atmosphärische

36) M. f. Daniell, *Météor. Ess.* S. 142 und *Manchest. Mém.* Vol. V. S. 581.

37) M. f. Råmh, *Meteorologie* I. S. 393.

Luft. Deshalb wird auch diese Hypothese, welcher noch Manche anhängen ³⁸⁾ nur als eine Sache der Beobachtung vortragen, die durch optische oder andere Erscheinungen, nicht aber von dem Schweben der Wolken in der Luft abgeleitet wird. Dieses Schweben wird auch noch von verschiedenen Physikern auf verschiedene Weise erklärt. Gay Lussac ³⁹⁾ nimmt dazu aufwärts gerichtete Luftströmungen zu Hülfe, und Fresnel sucht sie durch die in dem Inneren der Wolken herrschende Wärme und die daraus folgende Verdünnung derselben zu erklären.

Eintheilung der Wolken. — Eine eigentliche Klassifikation der Wolken wird nur dann Werth und Dauer haben, wenn sie auf atmologischem Grunde erbaut ist. Ein solches System hat Luke Howard ⁴⁰⁾ im Jahre 1802 vorgeschlagen. Seine drei Hauptklassen sind der Cirrus, der Cumulus und der Stratus, was wir durch Federwolke, Haufenwolke und Schichtwolke wieder zu geben gesucht haben. Der Cirrus, in den höchsten Regionen der Atmosphäre, besteht aus parallelen oder verschlungenen Fasern, die nach allen Seiten hin wachsen. Der Cumulus hat eine halb kugelförmige Gestalt mit einer horizontalen Basis, und er wächst durch Anhäufung an seinen oberen Theilen. Der Stratus endlich wächst durch Aufsatz von unten und breitet sich gewöhnlich längs dem Horizonte aus. Zwischen diesen drei Klassen hat Howard noch andere eingeschoben, die,

38) Kämh, Meteorologie I, S. 393, und Robison II, S. 13.

39) Annales de chimie, XXV. 1822.

40) Howard (Luke), geb. den 28. Nov. 1772 zu London, wurde von seinem Vater, einem Weißblechfabrikanten, zur Handlung bestimmt, wendete sich aber bald mit Vorliebe zur Physik und Chemie. Im Jahre 1798 verband er sich mit dem berühmten Quäker William Allen zur Beförderung der neuen Lancaster'schen Schulen, und um dasselbe Jahr schrieb er auch seine Essay on the modification of clouds. Im Jahre 1805 errichtete er mit Jewell und Gipson zu Stratford in Essex ein Laboratorium zur Bereitung von Stoffen für Heilmittel und Fabriken. Seine ersten meteorologischen Berichte erschienen monatlich in dem von Alkin herausgegebenen Athenaeum, und später in dem Philosophical journal und in Thomson's Annals of philosophy. Noch haben wir von ihm die interessante und lehrreiche Schrift: The climate of London, II Vol. 1818—20. L.

wie schon ihr Name zeigt, auch ihrer Gestalt nach zwischen je zweien von jenen in der Mitte liegen, wie der Cirro-Stratus, Cirro-Cumulus, der Cumulo-Stratus, und der Nimbus oder die eigentliche Regenwolke. Diese Eintheilungen wurden allgemein durch ganz Europa angenommen, und durch sie sind auch alle Beschreibungen der in unserer Atmosphäre vorgehenden Prozesse allerdings deutlicher und bestimmter geworden, als dies früher möglich gewesen ist.

Ich übergehe hier absichtlich eine große Masse von Meinungen und Hypothesen, die man von verschiedenen Seiten als Naturgesetze aufstellen wollte, und deren in der Meteorologie mehr, als in irgend einer andern Wissenschaft, angegriffen werden. Die einfachste Betrachtung dieser Gegenstände zeigt uns schon, welch eine Last von Arbeit und von fortgesetzten, genau unter einander kombinirten Beobachtungen dazu gehört, diesen schwierigen Zweig unserer Erkenntniß der Natur wahrhaft zu fördern. Von dem Verhalten der höheren Theile der Atmosphäre können wir beinahe nichts gewisses sagen. Die Abnahme der Temperatur der Atmosphäre in größeren Höhen, eine der wichtigsten Erscheinungen der Meteorologie, wurde von den Physikern auf verschiedene Weisen zu erklären versucht. Dalton⁴¹⁾ will sie aus dem Prinzip ableiten, „daß jedes Element der Atmosphäre, in derselben senkrechten Luftsäule, auch dieselbe Temperatur besitze,“ welches Prinzip er, für diesen Fall, als ein rein empirisches erklärt. Fourier aber ist der Meinung⁴²⁾, daß diese Erscheinung mehrere Ursachen habe, von denen die vorzüglichste in dem allmählichen Erlöschen der Wärmestrahlen durch die höheren Luftschichten besteht.

Indem wir daher die Anwendungen der thermotischen und atmologischen Prinzipien auf einzelne Fälle verlassen, wollen wir noch einen Blick auf die allgemeinen Ansichten werfen, zu welchen unsere Physiker durch das Vorhergehende geführt worden sind.

41) New System of chemie, 1807. Vol. I. S. 125.

42) M. f. Annales de chimie, 1818. Vol. VI. S. 286.

Viertes Kapitel.

Physische Theorie der Wärme.

Die physische Theorie der Wärme oder, mit der bereits oben von uns eingeführten Phraseologie zu reden, die physische Thermotik soll uns die Ursachen und den inneren Zusammenhang von den Erscheinungen und von den verschiedenen isolirten Gesetzen geben, die wir in den drei vorhergehenden Kapiteln dieses Buches oder die wir in der formellen Thermotik kennen gelernt haben. Wenn wir aber das, was bisher für die physische Thermotik geleistet worden ist, näher betrachten, so finden wir die Vollendung derselben sehr verschieden von derjenigen, welche uns früher die physische Astronomie, die Optik und die Akustik gewährt haben. In den drei letztgenannten Wissenschaften haben die Begründer einer bestimmten und wohlverstandenen Theorie sich zur Aufgabe gemacht, zu zeigen, daß diese Theorie wenigstens die vorzüglichsten Erscheinungen und Gesetze derselben genügend erklärt: in der Thermotik aber sehen wir nichts anderes, als mehr oder weniger gelungene Versuche, einzelne Theile des großen Ganzen zu erläutern. Kein Beispiel von einer Hypothese wird hier gefunden, die, zur Erklärung einer Klasse von Erscheinungen aufgestellt, wider Erwarten auch sofort eine andere, oft selbst mehrere Klassen von Phänomenen erklärt, so wie z. B. die Lehre von den Centralkräften auch die Präcession der Nachtgleichen, oder wie die Erklärung der Polarisation des Lichtes auch die doppelte Brechung desselben erläutert, oder wie die durch das Barometer erhaltene Kenntniß des Drucks unserer Atmosphäre uns auch zugleich die wahre Geschwindigkeit des Schalls in der Luft kennen gelernt hat. Solch ein glückliches Zusammentreffen ist der beste Bürge der Wahrheit, aber unsere Thermotik hat noch keine Kreditive dieser Art aufzuweisen.

Sieht man auf den Weg zurück, den diese Lehre bereits durchlaufen hat, so unterscheidet man nicht undeutlich zwei verschiedene Theile oder Zweige derselben. Der eine Zweig umfaßt die Konduktion und Radiation der Wärme, und wir haben ihn

bereits oben durch die Benennung der eigentlichen Thermotik bezeichnet. Der andere aber bezieht sich auf die Lehre von der Wärme der Luft und der Dünste, und gehört daher zur Atnologie. In diesen beiden Beziehungen wollen wir daher auch hier die allgemeine physische Theorie der Wärme betrachten.

Theorie der Thermotik.

Die Erscheinungen der radiirenden Wärme lassen, wie die ähnlichen Phänomene des radiirenden Lichts, im Allgemeinen zwei verschiedene Erklärungen zu, von denen die eine auf der Emission der materiellen Wärmetheilchen, und die andere auf der Fortpflanzung durch Wellen beruht. Beide Ansichten haben ihre Anhänger gefunden. Die Freunde der oben (Kap. I, Absch. 2) erwähnten Wechseltheorie Prevost's werden wahrscheinlich die Radiation der Wärme als einen wahren materiellen Austausch betrachten. Für die Undulationstheorie im Gegentheile scheinen Rumford ¹⁾ und andere durch die aus der Reibung entstehende

1) Rumford (Benjamin Tompson, Graf von), geb. 1752 zu Woburn in Nordamerika, von armen Aeltern. Den ersten Unterricht erhielt er von einem Geistlichen, seine spätere Ausbildung aber im Collegium zu Cambridge in Nordamerika, wo er sich vorzüglich der Physik zuwendete. In seinem neunzehnten Jahre heirathete er eine reiche und angesehene Wittwe, und trat in den Unabhängigkeitskrieg zwischen Nordamerika und England auf des letztern Seite. Als er 1776 nach London kam, wurde er von Lord Sackville in Staatsdienst genommen und 1780 zum Staatssekretär erhoben. 1782 kam er als Eskadronchef wieder nach Nordamerika zurück. Da er hier seine Dienste nicht nach Wunsch anerkannt sah, ging er, nach dem Friedensschlusse, nach Europa zurück und ließ sich in München nieder, wo ihn Karl Theodor sehr wohlwollend in seine Dienste aufnahm, und wo er sich durch Aufhebung der Bettelci, durch Anlegung der Manufakturen, Einführung der Sparheizungen, der Kartoffel und der nach ihm benannten Suppen für die Armen bleibende Verdienste um das Land erwarb. Der Kurfürst ernannte ihn zum Grafen und Generallieutenant. Im Jahre 1799 ging er wieder nach London zurück, wo er die neue Lehranstalt (Royal Institution) für Dekonomen, Künstler und Handwerker gründen half und sich mit ausgedehnten Versuchen über die Wärme beschäftigte, für die er auch zwei namhafte Preise gründete. Da indeß Karl Theodor gestorben war, ging er 1803 nach Paris, wo er sich, schon seit langer Zeit

Wärme gestimmt worden zu sein. Auch Leslie neigt sich in einem großen Theile seiner Schrift ²⁾ einer Art von Wellenlehre zu, aber man sieht nicht wohl ein, worin sein unduldrndes Medium bestehen soll, oder vielmehr seine eigenen Ansichten selbst scheinen, im Verlaufe seines Werkes, wellenförmig auf und ab zu wogen. So stellt er (S. 31) die Frage, worin denn eigentlich sein „calorific and frigorific fluid“ bestehe, und nachdem er seine Meinung eine Weile durch hingehalten hat, antwortet er mit dem Ausdrucke; *Quod petis, hic est*: es ist nämlich blos die uns „überall umgebende Luft.“ — Allein nachdem er S. 150 neuerdings dieselbe Frage vorgelegt hat, beantwortet er sie S. 188 mit den Worten: „Es ist dieselbe subtile Materie, die nach ihren „verschiedenen Modifikationen bald Licht, bald Wärme erzeugt.“ Ein Mann, der zwischen zwei entgegengesetzten Meinungen auf und nieder schwankt, von denen die eine offenbar falsch, und die andere mit großen Dunkelheiten bedeckt ist, die er aufzuhellen nicht einmal den Versuch macht, ein solcher Mann hat wenig Recht, gegen die „launigen Grillen von einer gewissen intangiblen Aura ³⁾“ aufzutreten, alle anderen Hypothesen, außer der seinen, mit den „occulten Quantitäten der alten Schulen“ in eine Klasse zu werfen, und die „Vorurtheile“ seiner Gegner mit den Dogmen derjenigen zu vermengen, welche die *Fuga vacui*

Wittwer, mit der Wittve der berühmten Lavoisier verheirathete. Hier starb er auch den 21. August 1814 im 61sten Jahre seines Lebens. Sein Eloge von Cuvier findet man in den *Mém. de l'Acad.* für 1815. Rumford ist der Erfinder des Calorimeters und des Thermoscops, von welchen Instrumenten jenes die durch Verbrennung erzeugte Wärmemenge, und dieses die kleinsten Veränderungen der Wärme überhaupt zu messen bestimmt ist. Auch unsere Lampen verdanken ihm bedeutende Verbesserungen. Mehrere seiner zahlreichen Aufsätze über die verschiedenartigsten Gegenstände sind gesammelt in den *Essays politiques, économiques etc.* Genève 1798 in II Vol., denen noch zwei andere Bände 1799 und 1806 folgten. Andere Aufsätze sind in der *Biblioth. britannique* oder in den *Philos. Transactions* zerstreut. Noch erwähnen wir seiner *Mémoires sur la chaleur*, Par. 1804; *Recherches sur les bois et le charbon*, ibid. 1812, und *Rech. sur la chaleur développée par la combustion*, ib. 1812.

L.

2) Leslie's experimental inquiry into the nature of heat, 1804.

3) Leslie's Exper. inquiry, S. 47.

gegen Toricelli in Schutz nehmen wollen. Rhetorische Künste solcher Art können mit demselben Rechte und mit derselben Leichtigkeit für die gute, wie für die schlechte Sache gebraucht werden.

Indeß blieb bis auf die neuesten Zeiten die Theorie eines materiellen Wärmestoffes und die Fortpflanzung desselben durch eigentliche Emission die am meisten begünstigte bei allen denen, die sich mit der mathematischen Thermotik beschäftigten. Die Gesetze der Konduktion in ihrer letzten analytischen Gestalt waren ebenfalls, wie bereits gesagt, mit den Gesetzen der Bewegung der Flüssigkeiten beinahe identisch. Selbst Fourier's Prinzip, daß die Radiation von den Punkten unter der Oberfläche der Körper ausgehe, schien auch die Ansicht einer materiellen Emission der Wärme in hohem Grade zu begünstigen.

Diesem gemäß haben auch einige der ausgezeichnetsten Analytiker Frankreichs diese Hypothese eines materiellen Wärmestoffes angenommen und auszubilden gesucht. Als einen Zusatz zu Fourier's Lehre von der Extra-Radiation der kleinsten Theilchen der Körper, fügten Laplace und Poisson noch die Hypothese der Intra-Radiation dieser Elemente hinzu, um dadurch die Art, wie die Konduktion der Wärme wirkt, zu erklären. Sie behaupteten nämlich, daß die Elemente der Körper als discret oder als von einander getrennt, betrachtet werden müssen, so daß sie in gewissen Entfernungen (in distans) auf einander wirken, wo dann die Konduktion der Wärme von einem Theile des Körpers zu dem anderen durch die Radiation zwischen allen benachbarten Elementen vor sich gehen soll. Ohne diese Hypothese, sagten sie, können die Differentialgleichungen, welche die Bedingungen der Konduktion ausdrücken, nicht homogen gemacht werden. Allein diese letzte Ansicht beruht, meines Bedünkens, auf einem Fehler, wie Fourier dadurch gezeigt hat, daß er sich von demselben unabhängig machte. Die Nothwendigkeit der Hypothese einer discreten Wirkung der Elemente wurde von Poisson für alle Fälle behauptet, und er erklärte die Capillar-Attraktion von Laplace aus diesem Grunde für unvollständig, wie Laplace dasselbe mit Fourier's Untersuchungen der Wärme gethan hat. In der That aber kann diese Hypothese von discreten Moleculen der Körper nicht als eine physische Wahrheit angesehen werden, da das anfangs angenommene Gesetz der

Molecülraction, nachdem es im Verlaufe der Rechnung seinem Zwecke entsprochen hat, in dem Resultate derselben wieder verschwindet, so daß das Endresultat dasselbe bleibt, welches Gesetz der Molecülarrabstände man auch anfangs angenommen hat. Das definitive, die ganze Wirkung ausdrückende Integral beweist eben so wenig, daß diese Totalwirkung aus den Differentialgrößen, durch deren Hülfe sie gefunden wurde, entstanden ist, als das Verfahren, durch welches man das Gewicht eines Körpers durch Integration findet, beweist, daß dieses Totalgewicht des Körpers aus den Differentialgewichten der Elemente desselben hervorgegangen ist. Wenn wir also auch die Emissionstheorie der Wärme annehmen wollten, so sind wir dadurch noch keineswegs gebunden, auch noch mit ihr zugleich die Hypothese der discreten Elemente der Körper anzunehmen.

Allein die erst neuerliche Entdeckung der Refraktion, der Polarisation und der Depolarisation der Wärme hat die theoretische Ansicht dieses Gegenstandes völlig geändert, und durch sie ist jene ganze Emissionstheorie mit einem Schlage beinahe gänzlich vernichtet worden. Seit wir wissen, daß die Wärme, gleich dem Lichte, gebrochen und zurückgeworfen wird, können wir nicht umhin, diese Analogie noch weiter zu verfolgen, und zu schließen, daß der eigentliche Mechanismus des Vorganges in beiden Fällen, für die Wärme wie für das Licht, derselbe ist. Setzt man aber zu diesen, beiden Fällen gemeinsamen Eigenschaften noch die der Polarisation, so wird es uns beinahe unmöglich, nicht anzunehmen, daß auch die Wärme, gleich dem Lichte, in transversalen Vibrationen bestehe. Welcher verständige Physiker könnte auch wohl jetzt noch versucht sein, eine Erklärung der erwähnten Erscheinungen der Wärme in vermeintlichen Polen der aus den Körpern emittirten Theilchen des Wärmestoffes zu suchen, jetzt, wo nach unseren in der Optik gemachten Erfahrungen die gänzliche Unzulässigkeit einer solchen Maschinerie vor Jedermanns Auge offen zu Tage liegt.

Wenn aber die Wärme in der That nur in Vibrationen besteht, woher kommt dann die ganz außerordentliche Aehnlichkeit ihrer Fortpflanzung im Raume mit dem Fortströmen einer eigentlich materiellen Substanz? Wie soll man sich erklären, daß bei der Konduktion der Wärme die Vibrationen der kleinsten Theilchen des Körpers von dem einen zuerst erhitzten Theile

desselben zu dem anderen so ungemein langsam übergehen, während die Vibrationen des Schalls und des Lichtes von dem Punkte ihres Entstehens zu den anderen, selbst sehr entfernten Punkten des Raumes mit einer so überraschenden Geschwindigkeit fortleiten? — Diese Fragen wurden in dem Jahre 1834 von Ampere⁴⁾ auf eine sehr klare und befriedigende Weise beantwortet⁵⁾, und obschon diese Antwort nur eine Hypothese ist, so scheint sie doch sehr annehmbar.

Er setzt nämlich voraus, daß alle Körper aus soliden Elementen bestehen, die man als in einem sehr dünnen Aether in gewissen Entfernungen von einander geordnet annehmen kann, und daß die Vibrationen dieser Elemente, indem sie die Vibrationen des Aethers erzeugen und zugleich von diesen wieder in Bewegung gesetzt werden, die Wärme hervorbringen. Nach dieser Hypothese erklärt er die Erscheinungen der Konduktion auf folgende Weise. — Wenn die Elemente eines Körpers z. B. einer Metallstange an ihrem einen Ende erhitzt und daher in den vibrirenden Zustand versetzt werden, während die anderen von dem Feuer weiter entfernten Elemente der Stange noch in Ruhe bleiben, so pflanzen die vibrirenden Elemente an jenem Ende der Stange ihre Vibrationen in dem Aether fort; da-

4) In Ampere's „Bemerkungen über Licht und Wärme, als Resultate der undulatorischen Bewegung betrachtet,“ in der Bibliothèque universelle de Genève, Vol. 49. S. 225, und Annales de chimie, Vol. 58. S. 434.

5) Ampère (Andreas Maria), geb. den 22. Januar 1775 zu Lyon, Professor an der polytechnischen Schule in Paris, einer der vorzüglichsten Physiker und Mathematiker Frankreichs. Er ist besonders durch seine theoretische und experimentale Bearbeitung des Electromagnetismus, der durch Dersted's Fundamentalentdeckung zuerst angeregt wurde, berühmt geworden. Sein vorzüglichstes Werk darüber ist die *Théorie des phénomènes électrodynamiques*, Paris 1826. Auch haben wir von ihm mehrere sehr schätzbare mathematische Aufsätze über die Integration der partiellen Differentialgleichungen, über die Vibrationen des Lichts in doppelt brechenden Körpern u. s., die man in den *Annales de chimie et physique*, in dem *Journal de l'école polytechnique* und in Gergonne's *Annales des mathématiques* findet. Sein Sohn (Jean Jacques) hat sich besonders durch sein Studium der deutschen Sprache und Literatur in Frankreich rühmlich bekannt gemacht. L.

durch aber entsteht noch keine Wärme oder doch nur so weit, als durch diese Vibrationen des Aethers auch die benachbarten ruhenden Elemente der Stange ebenfalls in Vibration versetzt werden. Da jedoch der Aether eine viel geringere Dichte hat, als jene Elemente, so können auch diese nächsten Elemente nur durch sehr viele wiederholte Impulse jener auf einander folgenden Vibrationen des Aethers in Bewegung gesetzt werden, und erst wenn sie dies sind, können sie diese durch den Aether erhaltenen Vibrationen wieder auf dieselbe Weise, wie jene ersten Elemente, den nächstliegenden kleinsten Theilen des Körpers mittheilen. „So findet man,“ setzt Ampere hinzu, „für die Vertheilung der Wärme durch Konduktion dieselben Gleichungen, die Fourier gefunden hat, indem er von der Hypothese ausging, daß die konducirte Wärme der Differenz der Temperaturen proportional ist.“

Theorie der Atmologie.

Alle Hypothesen über die Relationen, die zwischen der Wärme und der Luft aufgestellt werden können, müssen sich in letzter Instanz auf die Kräfte beziehen, durch welche die Komposition der Körper erzeugt wird, und von diesen läßt sich hier, wo wir noch keine Uebersicht unserer chemischen Kenntnisse gegeben haben, nicht wohl sprechen. Doch wollen wir einige Worte über die Hypothese von den atmologischen Gesetzen der Wärme mittheilen, die Laplace in dem zwölften Buche seiner *Mécanique céleste* i. J. 1823 aufgestellt hat.

Bemerken wir zuerst, daß die Hauptgesetze, denen eine solche Hypothese entsprechen soll, die folgenden sind:

- 1) Das Gesetz von Boyle und Mariotte, daß die Elasticität der Luft sich wie die Dichte derselben verhält.
- 2) Das Gesetz von Dalton und Gay-Lussac, daß alle Luftarten durch die Wärme gleichmäßig ausgedehnt werden.
- 3) Ferner die Zunahme der Wärme der Luft durch Kompression.
- 4) Dalton's Prinzip von der mechanischen Mischung der Luftarten.
- 5) Die Ausdehnung der festen und flüssigen Körper durch die Wärme, und endlich
- 6) Die Veränderung der Konsistenz der Körper durch die Wärme und die Lehre von der latenten Wärme.

Nebst diesen Gesetzen gibt es auch mehrere andere, von denen noch nicht erwiesen ist, ob sie schon in den vorhergehenden enthalten sind, wie z. B. die Abnahme der Temperatur der Luft in höheren Regionen unter der Oberfläche der Erde.

Die erwähnte Hypothese Laplace's ⁶⁾ ist aber diese. — Die Körper bestehen aus Elementen, deren jedes durch Attraktion eine Quantität Wärmestoff um sich versammelt. Diese Elemente der Körper ziehen sich unter einander, so wie auch den Wärmestoff an, die Elemente des Wärmestoffes aber stoßen einander gegenseitig ab. Bei den Gasen sind die Elemente dieser Substanzen so weit von einander entfernt, daß ihre gegenseitige Anziehung unmerklich wird, daher diese Substanzen, in Folge der gegenseitigen Repulsion der Elemente des Wärmestoffes, sich immer auszudehnen suchen. Nach Laplace ist dieser Wärmestoff rings um die Elemente der Gase in einer beständigen Radiation begriffen, und die Dichtigkeit dieser inneren Radiation bestimmt die Temperatur der Gase. Er zeigt, daß, dieser Voraussetzung zufolge, die Elasticität der Luft ihrer Dichte und Temperatur proportional sein muß, woraus denn die drei ersten der oben angeführten Gesetze folgen. — Dieselben Voraussetzungen führen auch zu Dalton's Prinzip der mechanischen Mischung, obschon ohne Dalton's Vorstellungsart, da, nach Laplace's Behauptung, für jede gegenseitige Wirkung zweier Gase, der Gesamtdruck der Mischung immer gleich der Summe der einzelnen Pressionen der Gase vor ihrer Mischung gleich sein soll ⁷⁾. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme und die Veränderungen ihrer Konsistenz erklärt er durch die Voraussetzung ⁸⁾, daß bei den festen Körpern die gegenseitige Attraktion der Elemente dieser Körper die größte Kraft ist, während bei den flüssigen die Attraktion der Elemente des Wärmestoffes, und bei den luftförmigen Körpern endlich die Repulsion dieser Elemente des Wärmestoffes jenen ersten Rang behauptet. — Allein die Lehre von der latenten Wärme fordert eine eigene Modifikation dieser Hypothese ⁹⁾, und Laplace war gezwungen, die Existenz einer

6) Laplace, *Méc. céleste*, Vol. V. S. 89.

7) *Méc. céleste*, Vol. V. S. 110.

8) *Ibid.* S. 92.

9) *Ibid.* S. 93.

solchen latenten Wärme, unabhängig von seiner Hypothese, in seine Rechnungen aufzunehmen. Auch ist bisher durch diese Hypothese keine andere neue hieher gehörende Erscheinung erklärt worden, so daß der vorzüglichste Prüfstein der inneren Wahrheit dieser Lehre noch immer vermißt wird.

Auch muß bemerkt werden, daß Laplace's Hypothese ganz auf der Materialität des Wärmestoffes erbaut ist, und mit der Vibrationstheorie nichts gemein hat; denn es ist, wie Ampere bemerkt, „für sich klar, daß es, wenn man die Wärme in Vibrationen bestehend annimmt, ein Widerspruch ist, der Wärme „(oder dem Wärmestoff) eine repulsive Kraft der Elemente zu erteilen, welche die Ursache der Vibration sein soll.“

In dem ungünstigsten Lichte aber erscheint diese Theorie von Laplace, wenn man auf sie anwendet, was oben, in der Optik, als das charakteristische Kennzeichen einer wahren Lehre aufgestellt worden ist, daß nämlich die für irgend eine Klasse von Erscheinungen aufgestellte Hypothese auch zugleich andere Klassen von Phänomenen, die jenen anfangs ganz fremd erschienen, mit ihrem Lichte erhellt und aufklärt. So wurde z. B. selbst in der Thermotik das Gesetz, daß die Intensität der Radiation dem Sinus des Winkels des Strahls mit der Oberfläche proportional ist, auf direktem Wege, durch Experimente über Radiation, gefunden; aber nachdem es gefunden war, zeigte sich sofort, daß durch dasselbe Gesetz auch das Bestreben der benachbarten Körper zur Gleichstellung ihrer Temperatur erklärt werde, und diese Entdeckung leitete uns wieder zu dem noch höheren Satze, daß die Radiation der Wärme auch aus den inneren, zunächst unter der Oberfläche der Körper liegenden Elementen derselben hervorgehe. — Allein in der von Laplace uns überlieferten Hypothese findet sich keine jener unerwarteten Bestätigungen, keine jener neuen Wahrheiten, und obschon sie einige der vorzüglichsten Gesetze richtig darstellt, so sind doch seine Voraussetzungen nur größtentheils von diesen schon bekannten Gesetzen selbst entlehnt. So zieht er z. B. aus seiner Annahme, daß die Ausdehnung der Gase aus der Repulsion der Elemente des Wärmestoffes entsteht, den Schluß, daß der Druck bei jedem Gase dem Quadrate der Dichte und der Quantität des in ihm enthaltenen Wärmestoffes proportional ist¹⁰⁾. Aus der Annahme aber, daß

10) Ibid. S. 107 die Gleichung $P = 2\pi h \times \rho^2 c^2$.

die Temperatur in der inneren Radiation besteht, schließt er, daß diese Temperatur der ersten Potenz der Dichte und dem Quadrate der Quantität des Wärmestoffs proportional ist¹¹⁾, und daraus erhält er dann das Gesetz von Boyle und Mariotte, so wie auch jenes von Dalton und Gay-Lussac. Allein diese Ansicht des Gegenstandes erfordert wieder andere Voraussetzungen, wenn er zu der Lehre von der latenten Wärme gelangt, wo er dann auch, diese Wärme darzustellen, eine neue Größe¹²⁾ in die Rechnung einführen muß. Allein diese Größe hat keinen weiteren Einfluß auf seine Rechnungen, wie er denn auch seine Schlüsse auf keines von jenen Problemen anwendet, in welchen die latente Wärme vorzüglich beachtet wird.

Ohne daher hier über den Werth dieser Hypothese entscheiden zu wollen, dürfen wir doch sagen, daß ihr jene hervorstechenden charakteristischen Züge fehlen, welche wir in allen jenen großen Theorien wiedergefunden haben, die jetzt allgemein als wahre und über allen Zweifel erhabene Lehren betrachtet werden.

B e s c h l u ß.

Bemerken wir jedoch, daß die Wärme noch andere Stellungen und Wirkungen unter den übrigen Erscheinungen in der Natur besitzt, auf die man, wenn sie auf numerische Gesetze zurückgeführt werden sollen, bei der Errichtung einer wahren Theorie der Thermotik Rücksicht nehmen muß. Die Chemie wird uns wahrscheinlich in der Folge noch viele dieser Kombinationen an die Hand geben: die bereits bekannten werden wir in unserem vierzehnten Buche näher zu betrachten Gelegenheit erhalten. Doch kann man auch hier schon, als solche, das Gesetz von de la Rive und Marcet erwähnen, daß die spezifische Wärme aller Gase dieselbe ist¹³⁾, oder das von Dulong und Petit, daß die einzelnen Atome aller einfachen Körper dieselbe Wärmecapazität haben¹⁴⁾. Obschon wir bisher von den verschiedenen Verhältnissen der Gase und von der Bedeutung der Atome im

11) Ibid. S. 108, die Gleichung $q' II(a) = ec^2$.

12) Ibid. S. 113, nämlich die Größe i .

13) M. f. Annales de Chimie XXXV von d. J. 1827.

14) Ibid. X. S. 397.

chemiſchen Sinne noch nicht geſprochen haben, ſo wird man doch leicht einſehen, daß Sätze ſolcher Art ſehr allgemein und wichtig ſein können.

Auf dieſe Weiſe iſt demnach die Thermotik, ſo unvollkommen ſie jezt auch noch ſein mag, doch ein höchſt inſtruktiver Theil unſerer Ueberſicht der geſamten Naturwiſſenſchaft; ſie iſt eine von den Hauptangeln, auf welchen ſich das Thor zu jenen großen Kammern dreht, zu denen unſere Erkenntniß noch vordringen ſoll, und die uns biſher ganz verſchloſſen und unbekannt geblieben ſind. Denn, auf der einen Seite ſteht die Thermotik in enger Verwandtſchaft und Abhängigkeit von zwei der vorzüglichſten und vollſtändigſten unſerer Wiſſenſchaften, von der Mechanik und Optik; und von der anderen hängt ſie mit Erſcheinungen und Geſetzen ganz anderer Natur, mit denen der Chemie, innig zuſammen, mit Erſcheinungen und Geſetzen, die uns in eine neue Welt von Ideen und Relationen führen, wo klare und inhaltſvolle allgemeine Prinzipien, noch viel ſchwerer, als in den biſher betrachteten Wiſſenſchaften, zu erhalten ſind, und mit welchen auch der noch künftige Fortgang der menſchlichen Erkenntniß, wie es ſcheint, noch viel inniger verbunden ſein wird.

Ehe wir aber zu dieſen den vorhergehenden ganz fremden Betrachtungen übergehen, müſſen wir zuerſt ein anderes Feld durchwandern, das zwiſchen jenen und den biſher betretenen gleichſam in der Mitte liegt, das Feld der mechano-chemiſchen Wiſſenſchaften nämlich, mit welcher Benennung wir der Kürze wegen die Lehre von dem Magnetismus, der Electricität und dem Galvanismus bezeichnen wollen.

Ende des zweiten Theiles.