

# PROGRAMM

DER

## POLYTECHNISCHEN SCHULE ZU RIGA

FÜR

DAS JAHR 18<sup>63</sup>|64.

# Programm

der

POLYTECHNISCHEN SCHULE

zu Riga

für

das Schuljahr 18<sup>63</sup>|<sub>64</sub>.

---

**Riga,**

gedruckt bei W. F. Häcker.

### Inhalt.

- I. „Die mechanische Wärmetheorie“, von Prof. G. Schmidt . . . . . Seite 1.  
II. Vollständiger Lehrplan des Rigaer Polytechnicums . . . . . „ 51.  
III. Programm für das Schuljahr 18<sup>63</sup>/<sub>64</sub> . . . . . „ 65.
- 



# I.

## Die mechanische Wärmetheorie.

Kurzer Abriss derselben

von

**Professor Gustav Schmidt.**

---

### Einleitung.

Die mechanische Theorie der Imponderabilien: Licht, Wärme, Electricität und Magnetismus, ist zuerst beim Licht vollkommen und mit glänzendem Erfolg durchgeführt worden, so dass die Theorie des Lichtes bezüglich ihrer Vollkommenheit der Theorie der allgemeinen Gravitation an die Seite gestellt werden kann. Im gegenwärtigen Augenblick befindet sich diese mechanische Theorie der Imponderabilien in ihrem zweiten Stadium; sie ist nämlich im Begriff, das zweite genannte Agens, die Wärme, auf rein mechanische Prinzipien zurückzuführen, und es fehlt auch nicht mehr an schwachen Versuchen, die Electricität und den Magnetismus ebenfalls nur als Bewegungserscheinungen der Moleküle aufzufassen, was sie ohne Zweifel sein werden.

Die mechanische Theorie der Wärme befindet sich indess erst in ihrem Kindesalter; kaum die wichtigsten Verhältnisse sind ergründet, und ein weiterer theoretischer Fortschritt ist kaum möglich, wenn die physikalischen Eigenschaften des Wasserdampfs nicht viel genauer erforscht werden, als dies bisher der Fall ist.

Die genauesten, von *Regnault* gefundenen Zahlen für Dichte, spezifische Wärme und latente Wärme des Wasserdampfes, lassen vom Gesichtspuncte der mechanischen Wärmetheorie leider noch viel zu wünschen übrig, und die Rectification dieser Zahlen ist im gegenwärtigen Augenblick wohl die wichtigste Aufgabe der Experimental-Physik.

Trotzdem aber, dass sich die mechanische Wärmetheorie noch in ihrer ersten Entwicklung befindet, hat sie doch schon ein ausserordentliches Licht über Begriffe, die bisher sehr dunkel waren, verbreitet, als: Expansivkraft, Temperatur, Elasticitätsmodul; und hat sie Thatsachen offenbart, die früher übersehen wurden, wie z. B. die Ueberhitzung des Wasserdampfes durch Compression und die theilweise Condensation desselben durch Expansion in einem wärmedichten Gefäss.

Die Theorie der Dampfmaschinen, der calorischen und Gasmaschinen kann rationeller Weise nur auf die mechanische Theorie der Wärme gestützt werden; und hiezu ist sie auch bereits geeignet. Wir glauben daher, dass eine thunlichst populär gehaltene Darstellung der mechanischen Wärmetheorie von allgemeinem Interesse sein werde.

### 1. Die Wärme ist kein Stoff.

Kein Tag des Lebens vergeht, ohne dass jeder Einzelne an die Thatsache erinnert wird, dass die Stoffe sich in einem Zustande befinden, den wir im gemeinen Leben als glühend, heiss, warm, kühl, kalt bezeichnen, und den wir auch im alltäglichen Leben präziser durch Angabe des Thermometergrades bezeichnen. Allein Wenigen fällt es ein, darüber nachzudenken, worin dieser Zustand eigentlich besteht, was denn in den Stoffen vorgeht, wenn wir sagen: „die Temperatur habe sich geändert.“

Jene, welche bisher darüber nachdachten, machten in der grossen Mehrzahl folgenden Schluss:

In den Poren der Körper befindet sich wohl ein Stoff, der Wärmestoff, welcher aus denselben herausgedrückt, und fühlbar wird, wenn man den Körper zusammendrückt, also seine Poren verkleinert, gerade so wie man an einem feuchten Schwamme wahrnimmt, dass er sich in dem Maasse feuchter anfühlt, als man ihn stärker zusammenpresst, und dass er schliesslich den ausgepressten Wassergehalt in Tropfenform an die Umgebung abgibt. Je mehr Wärmestoff im Verhältniss zum Volumen des Körpers vorhanden ist, desto höher erscheint die Temperatur.

So die herrschende Ansicht. Selbst in manchen chemischen Werken der neuesten Zeit findet man noch diesen veralteten Standpunct vertreten, und es wird als ein schlagender Beweis dafür angeführt, dass die Luft heiss wird, wenn man sie schnell zusammendrückt, denn, so sagt man, in den kleiner gewordenen Zwischenräumen zwischen den einzelnen, etwa als Kugeln gedachten Lufttheilchen, hat nicht mehr so viel Wärmestoff von gleicher Dichte Platz wie früher, die Wärmebindungsfähigkeit oder die Wärmecapacität ist kleiner geworden, daher ist jetzt ein relativer Ueberschuss an Wärmestoff vorhanden, derselbe ist dichter als früher, und deshalb erscheint die Luft heiss, und sucht der Ueber-

schuss an Wärmestoff an kältere Gegenstände abzufliessen, gerade so wie man sagen könnte, der Schwamm besitze bei jedem Volumen eine gewisse Wassercapacität, und wenn man ihn zusammendrückt, so wird seine Wassercapacität kleiner, und er erscheint feuchter oder gibt auch zugleich einen Theil seines Wassers an die Umgebung ab.

Nach dieser Ansicht wird also die Luft beim Zusammendrücken heiss, weil sie bei kleinerem Volumen eine kleinere Wärmecapacität besitzt.

Dieser Schluss ist total falsch, im Gegentheile hat *Regnault* experimentell nachgewiesen, dass ein und dieselbe Luftmenge dem Gewichte nach, unter allen Umständen die gleiche Wärmemenge benöthiget um unter constantem äusseren Druck um einen Grad erwärmt zu werden, dass also die Wärmecapacität der Gewichtseinheit Luft unveränderlich dieselbe sei, wie gross oder klein immer die Spannung, das Volumen und die Temperatur sei, und die mechanische Wärmetheorie zeigt, dass die Luft durch Verdichtung gerade deshalb wärmer wird, weil ihre Wärmecapacität unveränderlich ist.

Es ist dies ein interessantes Beispiel, dass selbst Naturforscher vom Fach durch einseitige Erfahrung sich irre leiten lassen können. So gewiss als es ist, dass alle naturwissenschaftliche Kenntniss auf dem Experimente beruht, so gewiss ist es auch, dass das Ergebniss von ganz richtig abgeführten Versuchen zu den grössten Fehlschlüssen verleiten kann, wenn man sich allein durch den Erfolg, ohne Zugrundelegung einer guten Theorie leiten lässt. Es ist dies oftmals vorgekommen und kommt noch täglich vor. Die Maschinenbaupraxis ist dadurch auch bereits vorsichtiger geworden, und schliesst nicht mehr gern unmittelbar aus dem Versuch auf die zweckmässigste Construction, sondern erst nach wissenschaftlicher Bearbeitung der Versuchsergebnisse durch einen Theoretiker.

Die Quelle des obigen Fehlschlusses ist die materielle Vorstellung der Wärme, welche genau ebenso verkehrt ist als wollte man sagen: Wenn ein Körper tönt, so ist die Ursache des Tönens das Vorhandensein eines Tonstoffs, und je mehr Tonstoff im Körper ist, desto stärker ist der Ton. Jedermann sieht hier die Thorheit des Ausspruches ein, weil er ausser dem Gehörsinn noch einen Billion-Mal feineren Sinn, den Gesichtssinn besitzt, welcher ihm gestattet, die wahre Natur des Tons als eine regelmässige Oscillation der kleinsten Theilchen zu erkennen. Würde der Mensch noch einen Sinn besitzen, der wieder Billion-Mal feiner ist als der Gesichtssinn, so würde er sich ebenso thatsächlich überzeugen, dass die Erscheinungen, die wir als Licht, Wärme, Electricität und Magnetismus auffassen, auch nur auf gewissen Bewegungen der Stofftheilchen beruhen. (Eine treffende Bemerkung des Herrn Directors *Dr. Ernst Nauck* in Riga.)

Nicht die blosse Existenz des Stoffes genügt, um uns denselben zur Erscheinung zu bringen, sondern es muss sich an demselben alles bewegen und regen, als ob er lebendig wäre, und diese Bewegungsweise der Moleküle pflanzt sich theils durch die atmosphärische Luft, theils durch das hypothetisch angenommene im ganzen Weltraum verbreitete Medium, welches den Namen „Aether“ erhielt, fort, bis auf unsere Sinnesorgane, und wird je nach der Kleinheit und Geschwindigkeit der Bewegung vorherrschend von einem Sinn wahrgenommen. Die langsamsten Molekularbewegungen empfindet das Ohr als Schall oder Ton, und nebenbei nimmt sie das Auge als Bewegung wahr. Die tönende Glocke kann ich durch die Berührung mit der Hand entladen, wie einen electrischen Körper, indem ich die Molekularbewegung, welche als Ton erscheint, durch die Berührung unterbreche. Weit kleinere und raschere Molekularbewegungen empfinden wir durch die Gefühlsnerven in doppelter Weise: 1) Verrathen sie uns die Existenz des Körpers, nämlich seine Eigenschaft einen bestimmten Raum einzunehmen, und 2) fühlen wir die Eigenschaft des Körpers eine bestimmte Temperatur zu besitzen. An einem warmen Ofen erkennen wir am deutlichsten diese doppelte Fähigkeit der Gefühlsnerven, welche wahrscheinlich auf der Existenz von zwei Sorten von Gefühlsnerven beruhen dürfte, den Tastnerven und den Wärmernerven.

Die kleinsten und schnellsten Molekularbewegungen empfindet endlich das Auge als Farbe. Der eiserne Ofen wird im Finstern erst dann gesehen, wenn die Molekularbewegungen desselben und folglich auch jene des angeregten Zwischen-Mediums, nämlich des Aethers, so schnell geworden sind, dass sie im Stande sind, sich durch die Flüssigkeiten des Auges fortzupflanzen.\*)

Jedenfalls findet jedwede Wahrnehmung nicht durch das Sinnesorgan selbst, sondern nur mittelst desselben im Gehirn statt, bis zu welchem sich die Nerven der Sinnesorgane verzweigen und mithin die empfangene Bewegung übertragen. Dies ist der Grundgedanke der mechanischen Theorie der Imponderabilien.

## 2. Entstehung der mechanischen Wärmetheorie.

Der Erste, welcher den Gedanken einer mechanischen Theorie der Wärme fasste, war Graf *Rumford*, zu Ende des vorigen Jahrhunderts. Er bewies seinen Forschersinn durch das Studium einer längst bekannten

---

\*) Nach *Dr. Nauck's* sehr wahrscheinlicher Ansicht hören aber deshalb die früheren langsameren Wärmeschwingungen keineswegs auf, sondern es treten nur die schnelleren Lichtschwingungen noch hinzu, wie bei einer Saite, die mehrere Töne zugleich gibt. Die Farben, welche ein glühender Körper bei steigender Hitze zeigt, sind Mischfarben aus Schwingungen verschiedener Wellenlängen.

Thatsache, nämlich der Erfahrung, dass die Körper sich durch Reibung erhitzen. Man war auch in dieser Beziehung schnell mit der Erklärung bei der Hand, dass durch das Reiben, so wie durch das Drücken ein Theil des Wärmestoffs aus dem Körper getrieben werde. Allein *Rumford* machte wissenschaftliche Beobachtungen; er untersuchte wie gross die entwickelte Wärmemenge sei, welche beim Kanonenbohren auftritt, und fand die überraschende Thatsache, dass die auftretende Wärmemenge proportional sei zu der mechanischen Arbeit, welche beim Bohren angewendet wurde. Je grösser die angewandte Arbeit, in demselben Verhältniss grösser war die entwickelte Wärmemenge. Hiermit war zum ersten Male der Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Arbeit geoffenbart, und einer der theoretisch wichtigsten Gedanken gefasst, oder mindestens vorbereitet, der mit dem Gedanken der atomistischen Theorie auf einer Stufe der Höhe steht, nämlich der Gedanke, dass Wärme nichts anderes sei, als Bewegung, welche durch mechanische Arbeit erzeugt werden kann. Um diesen Gedanken völlig fassen zu können, muss man sich vorerst klar machen, wie man Wärmemengen und wie man mechanische Arbeit misst.

### 3. Die Einheit der Wärmemengen und die Wärmecapacität.

Jede Grösse kann nur durch eine gleichartige Grösse gemessen werden, z. B. eine Länge nur durch eine Längeneinheit, ein Gewicht nur durch eine Gewichtseinheit, und ebenso eine Wärmemenge nur durch eine Wärme-Einheit, und eine Arbeitsmenge nur durch eine Arbeits-Einheit.

Als Wärme-Einheit oder Calorie nimmt man jene Wärmemenge an, durch welche eine Gewichtseinheit Wasser um eine Temperatureinheit, gewöhnlich um  $1^\circ$  des hunderttheiligen Thermometers erhöht wird. Braucht man z. B. bei einem gewissen Apparat 1 Quentchen Spiritus um 1 Pfund Wasser um 1 Grad Celsius zu erhöhen, so hat der Spiritus bei seiner Verbrennung gerade eine Wärme-Einheit oder eine Calorie an den Apparat abgegeben. Erfahrungsmässig braucht man sehr nahezu dieselbe Wärmemenge um 1 Pfund Wasser z. B. von  $70$  auf  $71$  wie von  $0$  auf  $1^\circ$  zu erwärmen. Um also 6 Pfund Wasser von  $15^\circ$  auf  $20^\circ$  zu erwärmen, also die Temperatur um  $5^\circ$  zu erhöhen, braucht man  $6 \times 5 = 30$  Wärme-Einheiten oder Calorien.

Kein Körper, mit Ausnahme des Wasserstoffgases, braucht so viel Wärme zu seiner Temperaturerhöhung wie das Wasser. Um z. B. ein Pfund Kohle um einen Grad zu erwärmen, braucht man nur  $\frac{1}{4}$  Calorie (also in obigem idealen Apparat  $\frac{1}{4}$  Quentchen Spiritus), bei Eisen nur  $\frac{1}{9}$ , bei Quecksilber sogar nur  $\frac{1}{10}$  Calorie. Mengt man also 30 Pfund Quecksilber von  $16^\circ$  mit einem Pfund Wasser von  $14^\circ$ , so bekommt das Gemenge gerade  $15^\circ$ , weil die 30 Pfund Quecksilber bei ihrer Abkühlung

um einen Grad eben so viel Wärme abgeben, als das eine Pfund Wasser braucht um um  $1^{\circ}$  erwärmt zu werden. Die angeführten Zahlen  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{10}$ , genauer  $0.2411$ ,  $0.1138$ ,  $0.0333$ , sind das Maass für die Wärmecapacität (specifische Wärme) des Stoffes, wenn die Wärmecapacität des Wassers gleich Eins angenommen wird.

Da man sich nur in praktischen Berechnungen des Landesmaasses, in wissenschaftlichen Rechnungen aber ausschliesslich des französischen Maasses bedient, weil es vermöge seiner consequent durchgeführten Decimaltheilung unter allen existirenden das einzige rationelle Maass ist, so sei noch erwähnt, dass wir im Nachfolgenden unter einer französischen Calorie diejenige Wärmemenge verstehen, welche erforderlich ist, um ein Kilogramm Wasser um einen Grad C. zu erwärmen. Sie ist im Verhältniss des Gewichtes, also im Verhältniss  $17:7$ , genauer  $2.44188:1$  grösser als die russische Calorie.

#### 4. Die Einheit der mechanischen Arbeit und die Pferdestärke.

Unter mechanischer Arbeit versteht man die Ueberwindung eines Widerstandes während eines bestimmten Weges. Schiebt man z. B. einen leeren Waggon von 9000 Pfd. Gewicht auf einer Eisenbahn, so braucht man nicht das Gewicht von 9000 Pfd. zu heben, es wird ja von der Bahn getragen, sondern man braucht nur einen gewissen Schub auszuüben, der aber hinreicht den einmal in Gang gebrachten Wagen mit der erlangten geringen Geschwindigkeit unveränderlich fortzubewegen, wobei man nur den Widerstand auf der Bahn und an den Achsen zu überwinden hat. Diesen Widerstand könnte man etwa messen, indem man untersucht, welches Gewicht man mit gleicher Anstrengung heben könnte, wenn man abermals horizontal schiebt, dabei aber auf ein um eine Rolle gehendes Seil wirkt, an dem das zu hebende Gewicht hängt. Man wird finden, dass die Schubkraft, mit der man auf den Wagen wirken muss, nicht mehr als etwa 45 Pfd. beträgt, also sehr leicht von 2 Arbeitern, wohl auch von einem ausgeübt werden kann. Hieraus ist ersichtlich, dass man jeden Widerstand, so wie die bei dessen Ueberwindung erforderliche gleich grosse wirksame Zug- oder Schubkraft messen kann durch dasjenige Gewicht, welches man mit gleicher Kraftäusserung heben kann. Man misst daher Kräfte nach Pfunden oder Kilogrammen.

Die Einheit der mechanischen Arbeit ist diejenige Arbeit, welche erforderlich ist, um einen Körper von 1 Pfd. Gewicht 1 Fuss hoch zu heben, und man nennt sie das Fusspfund. Im französischen Maass ist die Arbeitseinheit das Kilogramm-Meter, nämlich die Arbeit, welche in Hebung eines Kilogramms ( $\frac{1}{7}$  Pfund) auf einen Meter ( $\frac{23}{7}$  Fuss genauer  $3.28090$  Fuss russisch oder englisch) Höhe besteht. Demnach ist ein Kilogramm-Meter  $\frac{1}{7}$  mal  $\frac{23}{7} = \frac{231}{49}$  oder sehr

nahe 8 mal grösser als ein Fusspfund, d. h. ein Kilogramm-Meter ist gleich 8 Fusspfund russisch.

Mit dieser Arbeitseinheit können nun alle mechanischen Arbeiten gemessen werden. Schiebt also der Arbeiter den vorhin erwähnten Eisenbahnwagen auf eine Distanz von 60 Fuss, und übt er hierbei einen unveränderlich gleich gross bleibenden Druck, also eine constante Kraft von 45 Pfd. aus, so hat er bei dieser Verschiebung eine mechanische Arbeit von  $45 \text{ Pfd.} \times 60 \text{ Fuss} = 2700 \text{ Fusspfund}$  verrichtet.

Eine der häufigst benützten Kräfte ist die Anziehungskraft der Erde, und wenn wir von einem Körper sagen er habe 1 Pfd. Gewicht, so ist damit ausgedrückt, dass die Zugkraft, welche die Erde auf diesen Körper ausübt, eben die angenommene Einheit der Kräfte ist. Hat also ein Körper 3 Pfd. Gewicht, und man lässt ihn, gleichgültig ob schnell oder langsam, durch einen Weg von 10 Fuss vertikal niedergehen, so verrichtet die Anziehungskraft der Erde eine mechanische Arbeit von 30 Fusspfund. Der Sitz jener Kraft, die man Gewicht eines Körpers heisst, ist also nicht in dem Körper, sondern in dem ganzen Erdkörper, welcher anziehend auf den Körper wirkt.

Der Begriff der mechanischen Arbeit hängt gar nicht mit der Zeit zusammen. Ein und dieselbe mechanische Arbeit kann in kurzer oder langer Zeit verrichtet worden sein.

So ist zur Erbauung eines Palais eine gewisse Arbeitsmenge nothwendig gewesen, aber es kann diese Arbeitsmenge in einem oder in drei Jahren verrichtet worden sein.

In ersterem Falle hat man stärker gearbeitet als im zweiten Falle, nämlich in der Zeiteinheit eine grössere Arbeitsmenge verrichtet. Man ist übereingekommen, die bestimmte Arbeit von 75 Kilogramm-Meter verrichtet in einer Secunde eine Pferdestärke oder Pferdekraft zu heissen, weil ein sehr starkes Pferd wirklich in jeder Secunde eine Arbeit von 75 Kilogramm-Meter oder  $8 \times 75$ , d. i. 600 Fusspfund russisch, verrichten kann, nämlich mit einer Zugkraft von 150 Pfund in jeder Secunde 4 Fuss Weg zurücklegen kann.

Wenn also z. B. eine Kanonenbohrmaschine zwei Pferdestärken hat, so heisst das, die treibende Kraft z. B. das Wasserrad, welches die Kanone langsam dreht, gibt in jeder Secunde eine Arbeit von  $2 \times 600$  Fusspfund, also in einer Minute 72,000 Fusspfund, und z. B. in 5 Minuten 360,000 Fusspfund Arbeit an die Bohrmaschine ab. Man könnte also mit demselben Wasserrad, wenn es auf eine Aufzugmaschine wirkt, eine Last von 360,000 Pfunden in 5 Minuten einen Fuss hoch, oder 36,000 Pfund in 5 Minuten 10 Fuss hoch heben.

Diese mechanische Arbeit wird nun beim Bohren zu zweierlei Wirkung verwendet: 1) Zu der beabsichtigten Wirkung das Kanonenrohr auszu-

bohren, also kleine Metalle vom rohen Guss loszureissen, und 2) zu der nicht beabsichtigten Wirkung das Kanonenrohr zu erhitzen. Nach der Einsicht, die man jetzt gewonnen hat, erfordert die erstere mechanische Arbeit zufolge *Rumford's* Versuchen höchstens  $\frac{1}{4}$  der ganzen Arbeitskraft, und die zweite, d. i. die Erwärmungsarbeit mindestens  $\frac{3}{4}$ ; wahrscheinlich ist aber die mechanische Arbeit noch viel kleiner, und die Erwärmungsarbeit noch viel näher gleich der gesammten angewandten Arbeit. Berechnet man daher die Anzahl Wärme-Einheiten, welche die gleiche Temperaturerhöhung des Kanonenrohres durch Erwärmung mittelst einer Wärmequelle zu Stande brächten, so zeigt sich diese Anzahl Calorien proportional der gesammten angewandten mechanischen Arbeit.

### 5. Das mechanische Wärme-Aequivalent.

Obwol schon durch *Rumford's* Versuch nachgewiesen ist, dass Wärme mit mechanischer Arbeit in einem bestimmten Verhältniss aequivalent sei, so dauerte es doch noch lange Zeit, bis dieser einfache Satz zur vollkommenen Klarheit gelangte.

Zunächst untersuchte *Dulong* die Wärmemenge, welche durch die früher besprochene Compression der Gase erzeugt und bei der Abkühlung auf die frühere Temperatur nach Aussen abgegeben wird, und fand, dass unter allen Umständen die beim Comprimiren neu aufgetretene Wärmemenge genau proportional der angewandten mechanischen Arbeit sei, gleichgültig ob man den Versuch mit atmosphärischer Luft oder mit irgend einem anderen Gas macht, gleichgültig, ob die anfängliche Spannung und Dichte des Gases gross oder klein, gleichgültig, ob die anfängliche Temperatur hoch oder niedrig war. Immer ist der Zuwachs an vorhandener Wärmemenge proportional der angewandten mechanischen Arbeit.

Dann folgte *H. S. Carnot* mit einer 1824 erschienenen, aber lange Zeit unbeachtet gebliebenen kleinen Schrift, in welcher er nachwies, dass man umgekehrt Wärme in mechanische Arbeit verwandeln kann, ein Prinzip, welches durch die der neuesten Zeit angehörigen calorischen und Leuchtgas-Maschinen, nicht minder aber auch durch die Dampfmaschine verwirklicht ist, — leider in sehr unbefriedigendem Grade.

Einem deutschen Physiker *Meyer* gebührt die Ehre, im Jahre 1842 (*Annalen von Wöhler und Liebig*) den Satz: „Wärme und Arbeit sind aequivalent“ in klarer Form ausgesprochen und in weiteren Kreisen verbreitet zu haben. Seine dies bezüglichen Versuche waren aber nicht genau genug, um die Verhältnisszahl zwischen Wärmeeinheit und Arbeits-einheit zweifellos festzustellen.

Zu dieser höchst schwierigen Arbeit verwendete der englische Physiker *Joule* einen Zeitraum von zehn Jahren, 1840 bis 1849. Das Ergebniss seiner vielen ausserordentlich genauen Versuche war, dass eine

Wärmeeinheit aequivalent sei mit 1390, wir wollen rund sagen 1400 Fusspfund Arbeit russisch oder englisch, d. h. dass sich 1400 Fusspfund Arbeit in eine Wärme-Einheit umwandeln, also ein Pfund Wasser um einen Grad C. erwärmen können, oder dass sich umgekehrt eine Wärme-Einheit in 1400 Fusspfund Arbeit umsetzen könne. Im französischen Maass ist eine Wärme-Einheit mit 423·5 Kilogramm-Meter aequivalent. \*)

*Joule* hat dies Resultat durch Messung der Wärme gefunden, welche durch Reibung von Wasser gegen Wasser hervorgerufen wird, und hatte zu diesem Behufe einen gusseisernen Wasserkasten, in welchem ein mehretagiges Flügelrad rotirte, dessen Flügel zwischen entsprechend ausgeschnittenen radialen Scheidewänden gerade passiren konnten. Die verticale Spindel des Rades trug eine Trommel, welche durch Abwicklung zweier mit 20 Pfund gespannter Schnüre in Rotation versetzt wurde. Die spannenden Gewichte hatten in dem Kellerraum, in dem der Versuch der gleichmässigen Aussentemperatur halber vorgenommen wurde, hinreichende Fallhöhe, um den Apparat 35 Minuten lang in Gang zu halten. Die Temperaturerhöhung des Wassers betrug allerdings nur etwas über  $\frac{1}{2}$  Grad Fahrenheit, allein das Thermometer hatte eine so grosse Kugel und so dünne Röhre, dass hundertel Grade F. noch direct gelesen und tausendtel geschätzt werden konnten. Alle Nebenverluste wurden aufs Umständlichste und Genaueste ermittelt, selbst auf den Widerstand der Luft beim Fall der Gewichte Rücksicht genommen, welcher Widerstand ungefähr  $\frac{4}{3}$  Loth für ein 20 Pfund-Gewicht betrug. — Eine grosse Reihe anderer Reibungsversuche mit festen Körpern controllirte das Resultat, aber die Wassereibungsversuche besitzen den grössten Grad von Genauigkeit. — *Hirn* in Colmar (Elsass) machte Versuche im Grossen an Dampfmaschinen, indem er die Wärmemenge bestimmte, welche der in die Dampfmaschine eintretende Dampf besitzt, und damit jene Wärmemenge verglich, welche der aus der Maschine austretende Dampf im Condensator abgibt. Die Differenz dieser Wärmemengen war abermals in dem von *Joule* bestimmten Verhältniss aequivalent mit der mechanischen Arbeit, welche am Dampfkolben verrichtet wurde, wenn man zu der an der Maschinenwelle gemessenen mechanischen Arbeit die durch Reibung verloren gehenden Arbeiten schätzungsweise addirte.

Derlei Versuche im Grossen können aber nie so genau sein, wie physikalische Versuche im Kleinen, bei denen sich die günstigsten Be-

\*) Nämlich eine französische Calorie circa =  $\frac{1}{7}$  russischen = 1400  $\times$   $\frac{1}{7}$  = 3400 Fusspfund, genauer 423·5 Kilogr. à 8 Fusspfund = 3388 Fusspfund. Ebenso sind genauer 423·5 Kilogr.-Meter = 3063 Fusspfd. englisch = 1390  $\times$  2·2046, weil ein Kilogramm = 2·2046 Pfd. engl. ist. Die Gleichheit der Zahl 1390 (nämlich des mechanischen Wärmeaequivalents) im russischen und englischen Maass beruht auf der Gleichheit des Fusses.

dingungen zur Erreichung grosser Genauigkeit viel leichter herstellen lassen. Wir nehmen also eine französische Wärmeeinheit aequivalent mit 423·5 Kilogramm-Meter, eine russische Wärmeeinheit aequivalent mit 1390 oder rund 1400 Fusspfund Arbeit an.

Diese Zahl ist also das mechanische Aequivalent einer Wärmeeinheit, und man nennt sie kurz das mechanische Wärmeaequivalent. Von der Grösse desselben kann man sich am besten auf folgende Weise eine Vorstellung machen. Man denke sich einen Wasserfall von 1390 Fuss (423·5 Meter) Höhe, und daraus ausgeschieden eine Parthie Wasser von 1 Pfd. Gewicht. Bei dem Fall dieser Wassermasse durch die Höhe von 1390 Fuss verrichtet die Anziehungskraft der Erde eine mechanische Arbeit von 1390 Fusspfund, welche Arbeit gerade hinreicht, um ein Pfund Wasser um einen Grad zu erwärmen. Das Wasser wird daher schliesslich, wenn es sich unten an den Klippen zerschellt und zerstäubt hat, und sodann wieder zusammensinkend, in denselben ruhigen Lauf gekommen ist, den es oben hatte, gerade um einen Grad wärmer geworden sein, weil das, was von einem Pfund gilt, auch von dem daneben herabfallenden zweiten Pfund, also von der ganzen Wassermasse gilt. Man darf also nicht fürchten, dass das Wasser durch Umsetzen von mechanischer Arbeit in Wärme gar so leicht kochend werden würde!

### 6. Prinzip der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit.

Nachdem nun die Thatsache der Aequivalenz von mechanischer Arbeit und Wärme festgestellt ist, handelt es sich um das Verständniss dieser Thatsache. Dieses ist durch das mechanische Fundamentalprinzip gegeben, welches bisher als das „Prinzip der lebendigen Kräfte“, „Prinzip der Thätigkeit der Kräfte“ (*Redtenbacher*), oder „Prinzip der Erhaltung der Kraft“ (*Helmholtz*) bezeichnet wurde, richtiger aber „Prinzip der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit“ genannt werden kann. So wie nämlich die Gesamtmasse unserer Planeten bei allen Umwandlungen ihrer einzelnen Theile doch in Summe unveränderlich ist, so ist auch die „Kraft“ in dem Sinne, in welchem *Helmholtz* in seiner meisterhaften populären Rede dieses vielfach gebrauchte Wort versteht, nämlich die „Arbeitsfähigkeit“ unveränderlich, wie durch wenige Beispiele sogleich erkannt werden wird.

Was ist z. B. eine Maschine? Man sagt im gemeinen Leben meist „eine Vorrichtung um Kraft zu ersparen“, um z. B. mit geringer Anstrengung schwere Lasten zu heben, Wasser zu pumpen u. dgl. Wie falsch diese Vorstellung sei, beweist einfach das Beispiel eines Haspels. Hat z. B. eine Haspelwelle 8 Zoll Durchmesser, und trägt sie ein Spillrad von 40 Zoll Durchmesser, so kann ein Mann, der an den Spillen (Griffen) mit einer Zugkraft von 20 Pfd. (nebst einem Ueberschuss zur

Ueberwindung der Nebenhindernisse) wirkt, allerdings eine 5 mal grössere Last von 100 Pfd. heben. Wenn er aber in einer Secunde den Umfang des Spillenrades um  $2\frac{1}{2}$  Fuss vorrückt, also  $20 \times 2\frac{1}{2} = 50$  Fusspfund Arbeit verrichtet, so hebt sich die Last, welche an dem 5 mal kleineren Umfang der Haspelwelle hängt, nur um den 5. Theil von  $2\frac{1}{2}$  Fuss, d. i. um  $\frac{1}{2}$  Fuss, so dass also das Product der Last in ihren Weg = 100 Pfd. =  $\frac{1}{2}$  Fuss abermals 50 Fusspfund beträgt. Der Mensch hat 50 Fusspfund Arbeit abgegeben, die gehobene Masse, welche entgegen der auf sie wirkenden Anziehungskraft der Erde im Betrage von 100 Pfd. verschoben worden ist, hat diese Arbeitsfähigkeit von 50 Fusspfund vermöge dieser Verschiebung in sich aufgenommen, denn wenn man sie (die Masse) denselben Weg wieder zurückmachen lässt, wie etwa die aufgezogenen Gewichte einer Pendeluhr, so wird durch die Zugkraft der Erde = 100 Pfd. während des Weges von  $\frac{1}{2}$  Fuss wieder die Arbeit von 50 Fusspfund entwickelt, was nicht möglich geworden wäre, wenn die Masse nicht um den  $\frac{1}{2}$  Fuss verschoben gewesen wäre. In diesem Sinne ist man berechtigt zu sagen, die von dem Menschen entwickelte mechanische Arbeit ist in der gehobenen Masse in Form von Arbeitsfähigkeit vermöge der Verschiebung angesammelt, und wird bei ihrem Niedergange wieder abgegeben.

Lässt man aber das Spillenrad weg, sattelt man auf die Haspelwelle eine Trommel von 24" Durchmesser oder 12" Halbmesser auf, an welcher die Last hängt, und wirkt der Arbeiter nur an dem Griff einer 12" langen Kurbel mit einem durchschnittlichen Druck von 20 Pfund, so kann er auch keine grössere Last als 20 Pfund heben, und hat die aufgesattelte Welle 48" Durchmesser, so kann er mit dem durchschnittlichen Druck von 20 Pfund nur 10 Pfund heben, allein während seine Hand in der Secunde den Weg von  $2\frac{1}{2}$  Fuss beschreibt, so macht jetzt die Last von 10 Pfund den Weg von 5 Fuss, weil die Trommel doppelten Halbmesser hat wie die Kurbel; es wird also in der gehobenen Masse abermals eine Arbeitsfähigkeit von 10 Pfd.  $\times$  5 Fuss = 50 Fusspfund angesammelt, welche man bei Rückführung in die frühere Lage zurück erhielt. Die Wahl des Trommeldurchmessers ist aber einzig und allein vom Zweck der Maschine abhängig. Die Maschine hat also nicht die Kraft vermehrt, sondern sie spielt nur die Rolle des Vermittlers, durch welchen eine disponible Arbeitsfähigkeit, nämlich jene des Menschen an der Kurbel, von diesem übernommen und an eine andere Masse übertragen wird.

So wird durch ein überschlächtiges Wasserrad die disponible mechanische Wirkung, welche das sinkende Wasser abgeben kann, indem es sich in eine tiefere Lage begibt, umgewandelt in die andere gewünschte mechanische Arbeit, welche die mit der Wasserwelle verbundenen Maschinentheile, z. B. die Steine einer Wassermühle zu verrichten haben.

Es gibt aber noch eine zweite Hauptform von angesammelter mechanischer Arbeitsfähigkeit, nämlich jene, welche in der Bewegung der Masse liegt. Denken wir uns eine sogenannte Kunstramme, wie solche zum Pilotteneinschlagen häufig gebraucht wird. Durch eine eiserne Winde mit Vorgelegerädern wird der zwischen Säulen geführte, und an einem leicht auszulösenden Haken oder einer Scheere hängende guss-eiserne Rammbar auf grössere Höhe langsam gehoben. Hierbei geben die Menschen an die Winde mechanische Arbeit ab, und der Klotz nimmt diese mechanische Arbeit vermöge der Verschiebung, entgegen der auf ihn wirkenden Anziehungskraft der Erde, in sich auf. Hat der Bär z. B. 300 Pfund Gewicht und wird er 10 Fuss hoch gehoben, so ist die im gehobenen Zustand in ihm angesammelte Arbeitsfähigkeit = 300 Pfd.  $\times$  10 Fuss = 3000 Fusspfund. Diese Arbeitsfähigkeit, und noch ein Zuschuss wegen Nebenhindernissen, ist von den an der Winde wirkenden Menschen abgegeben worden, welche ihrerseits die verlorne Arbeitsfähigkeit zeitweise durch den Ernährungsprocess ersetzen müssen. Man könnte nun die angesammelte Arbeit verwenden, um irgend einen andern Körper zu heben oder eine andere mechanische Arbeit zu verrichten, während der Rammbar wieder, der Anziehung der Erde folgend, niedersinkt und dadurch die in ihm angesammelte Arbeit allmählig abgibt wie das Wasser im Wasserrad oder das Gewicht an der Pendeluhr. Löst man ihn aber statt dessen aus und lässt man ihn frei fallen, so bleibt die mechanische Arbeit in ihm angesammelt, aber sie tritt in der zweiten Hauptform, nämlich als Bewegung der Masse auf. Der Bär erhält eine wachsende Geschwindigkeit und kömmt unten mit einer gewissen Endgeschwindigkeit an, vermöge welcher er Arbeit zu verrichten im Stande ist, so wie das bewegte Flusswasser am Mühlrad oder der Wind an der Windmühle. Die in ihm angesammelte Arbeitsfähigkeit ist aber jetzt nicht etwa gleich dem Gewicht multiplicirt mit der Geschwindigkeit, welche in unserm Beispiel  $\sqrt{2 \cdot 32 \cdot 10} = 25.3$  Fuss beträgt, sondern sie ist noch immer gleich 3000 Fusspfund wie früher, nämlich gleich dem Product aus dem Gewicht von 300 Pfund in diejenige Fallhöhe (= 10 Fuss), durch welche irgend ein frei fallender Körper (abgesehen von dem Hinderniss, welches die Luft darbietet) fallen muss, um die gegebene Endgeschwindigkeit von 25.3 Fuss zu erlangen.

Ist allgemein  $Q$  das Gewicht eines sich bewegenden Körpers,  $c$  seine Geschwindigkeit,  $g$  die Beschleunigung der Schwere, im Metermaass loco Pariser Sternwarte  $g = 9.80896$  Meter, im Landesmaass beiläufig  $g = 32$  Fuss, also  $h = \frac{c^2}{2g}$  diejenige Höhe, durch welche ein beliebiger Körper frei fallen musste, um die Endgeschwindigkeit  $c = \sqrt{2gh}$  zu bekommen, so nennt man  $h$  die Geschwindigkeitshöhe, und es ist die in dem

Körper vom Gewicht  $Q$  angesammelte Arbeitsfähigkeit  $= Q h = Q \frac{c^2}{2g}$   
 keineswegs aber  $= Q c$ .

So ist z. B. für eine 30pfündige Kanonenkugel von 1600 Fuss Geschwindigkeit pr. Secunde die Geschwindigkeitshöhe  $h = \frac{16.16.10000}{64} = 40,000$  Fuss, also ihre angesammelte Bewegungsarbeit  $= 30 \times 40,000 = 1,200,000$  Fussfund.

Die zwei angeführten Hauptarten von angesammelter Arbeit müssen durch passende Bezeichnungen unterschieden werden. Ich nenne jene Arbeitsfähigkeit, welche in einer Masse dadurch angesammelt wird, dass man sie entgegen der auf sie wirkenden Kraft verschiebt, die Verschiebungsarbeit, und jene Arbeitsfähigkeit, welche in einer Masse dadurch angesammelt wird, dass man sie, ohne dass eine Kraft der Bewegung entgegen wirkt, in wachsende Geschwindigkeit versetzt, die Bewegungsarbeit. Letztere nannte man bisher lebendige Kraft oder lebendige Potenz.

Beim Anheben des Bärs musste demselben mit dem ersten Ruck eine sehr kleine Bewegungsarbeit ausser der entsprechenden Verschiebungsarbeit ertheilt werden. Ist er aber einmal in der aufwärts gehenden Bewegung begriffen, so bedarf es dann weiter nur noch der Verschiebungsarbeit, um ihn ohne Aenderung seiner kleinen Geschwindigkeit weiter zu heben. Beim freien Fall setzt sich dann die Verschiebungsarbeit succesive in Bewegungsarbeit um, aber so, dass die Summe der noch angesammelten Verschiebungsarbeit und der schon angesammelten Bewegungsarbeit immer gleich ist der von den Arbeitern abgegebenen und durch die Winde auf den Bär übertragenen Arbeitsmenge.

Nun folgt aber eine neue Verwandlung der angesammelten mechanischen Arbeit, indem der bewegte Klotz auf die Pilotte fällt. Diese rückt z. B. um 0.1 Fuss in die Tiefe vor und überwindet dabei einen Widerstand von etwa 20,000 Pfd. Dies gibt eine Verschiebungsarbeit von  $20,000 \times 0.1 = 2000$  Fussfund. Es verbleiben also noch 1000 Fussfund Arbeit, und diese werden verwendet, um das Gerüst zu erschüttern, die Theilchen der Pilotte und des Bärs in vibrirende Bewegung zu setzen und Schall-schwingungen in der Luft zu erzeugen. Alles dieses nennt der Mechaniker Verlust an mechanischer Arbeit; der Physiker aber kann keinen Verlust anerkennen. Er findet nur, dass sich mechanische Arbeit in den Erdkörper zersplittert hat, und darin freilich nicht mehr nachweisbar, aber doch ganz gewiss vorhanden ist, in Gestalt von Verschiebung und Bewegung kleinster Theilchen. So allgemein aufgefasst, geht also keine mechanische Arbeit verloren, sie geht nur auf andere Massen über und nimmt andere Formen an, ohne in Summe weniger zu werden. Dies ist das Prinzip der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit.

## 7. Bewegungs- und Verschiebungs-Arbeit.

Ein anderes Beispiel bietet ein Eisenbahntrain. Die von der Dampfmaschine der Locomotive entwickelte Arbeit wird Anfangs nicht nur zur Ueberwindung aller Bewegungshindernisse verwendet (welche Arbeit auch in die Kategorie der Verschiebungsarbeit gehört), sondern es wird auch ein bedeutender Theil der mechanischen Arbeit verwendet, um in den gesammten Massen Bewegungsarbeit anzusammeln, und überdies wird ein kleiner Theil der mechanischen Arbeit verwendet, um alle Wägen (oder deren Kupplungsstangen) zu deformiren, also die Moleküle zu verschieben, und zwar wird der erste Wagen am stärksten, der zweite weniger, der letzte nur in seinen vorderen Theilen etwas deformirt. Gerade vermittelt der durch die Deformirung wachgerufenen Molekularkräfte, welche sich der Verschiebung widersetzen, pflanzt sich die Zugkraft von der Locomotive aus durch den ganzen Wagenzug fort und vertheilt sich gleichmässig auf die einzelnen Wagen. Die Deformirungs- oder Verschiebungsarbeit bleibt unverändert in dem Train angesammelt, so lange sich die Zugkraft der Locomotive nicht ändert.

Die einmal geleistete Bewegungsarbeit bleibt desgleichen unverändert in dem Train angesammelt, so lange sich der Bewegungszustand der trägen Massen nicht ändert. Bei dem currenten Gang hat man also keine andere Arbeit zu verrichten, als die Ueberwindung aller Reibungen, welche Hindernisse beständig die Geschwindigkeit zu schwächen trachten. Hört man auf Dampf zu geben, so werden die in dem Train angesammelten Arbeiten, nämlich die Bewegungsarbeit und die Verschiebungsarbeit, ganz allmählig wieder abgegeben und auf Ueberwindung der Bewegungshindernisse während einer Auslaufstrecke von etwa einer Werst verwendet, wenn man diese Strecke nicht durch Einschaltung eines künstlichen Hindernisses, den Bremsen, abkürzt.

Wird aber der Train plötzlich in seiner Bewegung gehemmt, so geht die angesammelte Bewegungsarbeit und Verschiebungsarbeit in sehr bedauerliche molekulare Bewegungs- und Verschiebungsarbeiten über, leider ohne dass etwas hiervon verloren ginge.

Es kann auch Bewegungsarbeit eines Körpers sich fast momentan auf einen oder mehrere andere Körper übertragen; z. B. eine aufgehängte elastische Kugel, welche central gegen eine gleich grosse ruhende Kugel stösst, theilt dieser ihre ganze Bewegungsarbeit mit und bleibt statt jener ruhig stehen. Entgegengesetzt bewegte, gleich grosse Kugeln tauschen ihre Bewegungsarbeiten aus. Stösst eine Billardkugel auf eine Gruppe anderer, so vertheilt sich ihre Bewegungsarbeit auf viele einzelne Massen.

Endlich kann sich Bewegungsarbeit in regelmässigen Perioden in Verschiebungsarbeit und wieder umgekehrt letztere in erstere umsetzen.

Dies ist der Fall bei allen oscillatorischen Bewegungen, z. B. bei der Bewegung der Erde um die Sonne.

Die Erde steht am 1. Januar n. St. in ihrem Perihelium, d. i. in der Sonnennähe, und hat da ihre grösste Geschwindigkeit, besitzt also ihre grösste Bewegungsarbeit. In dem Maasse, als sie sich entgegen der Anziehung der Sonne von dieser entfernt, wird Verschiebungsarbeit auf Kosten von Bewegungsarbeit verrichtet. Im Aphelium oder der Sonnenferne, am 1. Juni, ist das Maximum an Verschiebungsarbeit und das Minimum an Bewegungsarbeit vorhanden. Nun fällt die Erde wieder gegen die Sonne zu, gibt Verschiebungsarbeit ab und nimmt dafür Bewegungsarbeit auf, bis sie wieder in das Perihelium gelangt.

Genau dasselbe geschieht bei einem einfachen Pendel. Indem man dasselbe aus der Ruhelage bringt, sammelt man in dem Pendel Verschiebungsarbeit an, weil es eine Bewegung machen muss, bei der es entgegen der Anziehung der Erde gehoben wird. Losgelassen setzt sich diese Verschiebungsarbeit in Bewegungsarbeit um, welche nun gerade ein Maximum ist, wenn das Pendel in seiner Normallage angekommen ist. Desshalb geht es über dieselbe hinaus, dabei muss es aber gehoben werden, also setzt sich die Bewegungsarbeit wieder in Verschiebungsarbeit um u. s. f.

Gleiches gilt von einem an beiden Enden fest gehaltenen und kräftig gespannten, vollkommen elastischen Faden, an dem sich in der Mitte eine Kugel befindet. Bringe ich diese aus ihrer Normalposition und schiebe sie durch eine äussere Kraft seitwärts von der Verbindungslinie der Fadenendpunkte, so sammle ich in ihr Verschiebungsarbeit an, und überlasse ich sie dann dem Kräftespiel, so pendelt sie ebenfalls hin und her, Verschiebungsarbeit und Bewegungsarbeit beständig wechselnd.

Die Grösse der Verschiebungsarbeit bei Verschiebung von Molekülen, z. B. bei Verlängerung einer eisernen Stange oder eines Kautschukfadens durch eine allmählig wachsende ziehende Kraft, ist gleich dem Product aus dem mittleren Werth der veränderlichen, immer stärker werdenden ziehenden Kraft in den zurückgelegten Weg, d. i. in die Verlängerung. Diese mechanische Arbeit ist in dem deformirten Körper als Verschiebungsarbeit angesammelt, und kann zur Verrichtung einer anderen mechanischen Arbeit verwendet werden, wie diess z. B. der Fall ist beim Abschliessen eines Pfeiles mittelst der Armbrust. Die in der gespannten Saite angesammelte Verschiebungsarbeit wird hierbei in Bewegungsarbeit des Pfeiles umgesetzt.

### **8. Molekulare oder innere Arbeit.**

Betrachten wir nun näher die Verwandlung von Verschiebungsarbeit und Bewegungsarbeit eines Körpers als Ganzes in Verschiebungsarbeit und Bewegungsarbeit seiner kleinsten Theile, welche wir, insoferne der

Körper seine chemische Beschaffenheit nicht ändern soll, Moleküle heissen.

Lässt man z. B. ein Glas fallen, so gibt es, dem Zuge der Erde folgend, Verschiebungsarbeit ab, nimmt dafür Bewegungsarbeit auf und wird, unten angelangt, plötzlich in seiner Bewegung gehemmt. Die Bewegungsarbeit kann aber nicht verloren gehen. Sie setzt sich also zunächst um in Verschiebungsarbeit der Moleküle, diese werden dadurch auseinander gerissen, — das Glas bricht. Zugleich setzt sich ein anderer Theil der früher vorhanden gewesenen Bewegungsarbeit um in Bewegungsarbeit der Moleküle, — das Glas tönt.

Betrachten wir hingegen den Wasserfall noch einmal, so setzt sich die in dem herabgefallenen, also bewegten Wasser angesammelte Bewegungsarbeit ebenfalls zunächst in Verschiebungsarbeit um, indem das Wasser durcheinander wirbelt und in Millionen Tropfen zerrissen wird, nebenbei auch in Bewegungsarbeit, indem das Wasser „rauscht.“

Dann fallen aber die einzelnen Tropfen und die bei den Wirbelungen auseinander gerissenen Wassermassen wieder in eine zusammenhängende Masse zusammen, die Verschiebungsarbeit wird also wieder abgegeben und bei dem Zusammenstoss der Moleküle in jene Sorte von Bewegungsarbeit umgesetzt, welche wir als Wärme auffassen; vielleicht auch zum Theil in jene Sorte von Bewegungsarbeit, welche wir als Electricität auffassen.

Wärme ist also mit mechanischer Arbeit aus dem Grunde aequivalent, weil sie nichts anderes ist, als molekulare Bewegungsarbeit. Sie ist aber nur dann in einem bestimmten Verhältniss mit mechanischer Arbeit aequivalent, wenn nicht ein Theil der letzteren in die als Electricität erscheinende molekulare Bewegungsarbeit umgewandelt wird.

Die gesammte molekulare Arbeit, welche bei irgend einer Zustandsänderung abgegeben oder aufgenommen wird, und welche zum Theil molekulare Verschiebungsarbeit, zum Theil molekulare Bewegungsarbeit sein kann, führt in der mechanischen Wärmetheorie den Collectivnamen innere Arbeit. Durch Reibung kann innere Arbeit in allen Formen erzeugt werden. Man kann die Saite zum Tönen, das Zündhölzchen zum Leuchten bringen, man kann eine Siegellackstange warm und electricisch machen.

## 9. Aeussere Arbeit.

Jeder warme Körper ist ein Magazin von innerer Arbeit. Die in den Molekülen einer solchen Wärmequelle angesammelte Arbeit wird bei Berührung mit einem kälteren Körper theilweise auf diesen übertragen, und den Akt der Uebertragung innerer Arbeit von einem Körper auf einen anderen heisst man „erwärmen“. Bei dieser Uebertragung, also

beim Erwärmen, kann aber auch innere Arbeit, die uns als Wärme erscheint, in äussere Arbeit umgewandelt werden. Dies ist z. B. der Fall, wenn man Luft erhitzt und dabei das Volumen der Luft veränderlich ist. Hat man eine bestimmte Luftmenge in einem Gefäss durch einen Kolben abgeschlossen, dessen Gewicht und Reibung durch ein Gegengewicht balancirt ist, und über welchem die äussere atmosphärische Luft steht und auf den Kolben drückt, so kann man bei der Erwärmung der eingeschlossenen Luft dreierlei Umstände eintreten lassen:

- 1) Man kann den Kolben festhalten, also unter constantem Volumen erhitzen. Dabei steigert sich auf der inneren Seite der Druck.
- 2) Man kann den Kolben sich selbst überlassen, wobei der Druck auf der inneren Seite immer dem constanten Druck auf der Aussenseite gleich bleibt, aber das Volumen sich in dem Maasse vergrössert, als die Temperatur höher wird.
- 3) Kann man während der Erhitzung der eingeschlossenen Luft die auf dem Kolben ruhende Last durch Gewichtszulagen stetig vergrössern oder auch verkleinern.

In jedem dieser Fälle braucht man eine andere Wärmemenge, um ein und dasselbe Luftgewicht um einen Grad zu erwärmen, und im Nachfolgenden wird sich zeigen, dass der Unterschied der benötigten Wärmemengen genau proportional sei dem Unterschied der verrichteten äusseren Arbeiten.

### **10. Die absolute Temperatur und die in äussere Arbeit verwandelte Wärme.**

Von besonderer Wichtigkeit sind die zwei ersteren Fälle, nämlich die Erhitzung unter constantem Volumen und die Erhitzung unter constantem Druck. Bei der letzteren dehnt sich die Luft und jedes andere Gas für je 1° Cels. um  $\frac{1}{273}$ tel ihres Volumens bei 0° aus (genauer um 0.003666 =  $\frac{1}{273.155}$ ).

Hat man also in einem Gefäss 273 Cubikfuss Luft von 0° Temperatur und erwärmt dieselbe unter constantem äussern Druck nach und nach auf 1°, 2°, 3° bis 100°, so wird das Volumen der eingeschlossenen Luft respective 274, 275, 276 . . . 373 Cubikfuss. Würde man also die Temperaturen nicht vom Eispuñct an zählen, sondern von einem Puñct des Thermometers, der 273° unter Null liegt, so würde man die Temperaturen zwischen dem Eis- und Siedepuñct mit denselben Zahlen 273 bis 373 bezeichnen, wie die Volumen.

Diese von — 273° oder dem absoluten Nullpuñct an gezählten Temperaturen heisst man in der mechanischen Wärmetheorie die absoluten Temperaturen, und man kann daher das oben erwähnte *Gay-Lussac'sche* Ausdehnungsgesetz aller Gase so aussprechen:

Bei der Erwärmung unter constantem Druck verhalten sich die Volumen wie die absoluten Temperaturen.

Erwärmt man also 273 Cubikfuss Luft von  $0^{\circ}$  bei unverändertem Druck um  $1^{\circ}$ , so erhält man gerade 274 Cubikfuss, und wenn diese Luftmenge in einem Cylinder von 1 Quadratfuss Querschnitt enthalten ist, so nimmt sie darin Anfangs die Höhe von 273, später von 274 Fuss ein, folglich ist der die Luft abschliessende Kolben um einen Fuss gehoben worden. Ist hierbei die Spannung der eingeschlossenen Luft gerade so gross wie die der äusseren Luft, d. h. ist der Kolben nur durch den äusseren Luftdruck, nicht aber auch noch durch aufgelegte Gewichte belastet, so beträgt das Gewicht von den eingeschlossenen 273 Cubikfuss Luft von  $0^{\circ}$  in ganzer Zahl 24 Pfund russisch, und der Druck den der Kolben einerseits von der äusseren, andererseits von der inneren Luft erfährt, beträgt 2300 Pfund auf die Fläche von einem Quadratfuss. Beim Heben des Kolbens um einen Fuss während der Erwärmung um  $1^{\circ}$  wird also eine mechanische Arbeit von 2300 Fusspfd. verrichtet. Dabei hat man (erfahrungsgemäss) eine Wärmemenge von  $5\frac{2}{3}$  Calorien benöthiget. Macht man nun den Gegenversuch und erwärmt dieselbe Luftmenge von 273 Cubikfuss oder von 24 Pfd. wieder von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$ , aber bei fest gehaltenem Kolben, also ohne Verrichtung von äusserer Arbeit, so zeigt sich, dass man nur 4 Calorien benöthigt. Das Erwärmen ohne äussere Arbeitsverrichtung braucht also weniger Wärme, und es ist naheliegend den Schluss zu machen, dass der Mehrverbrauch von Wärme im ersten Falle, nämlich wenn der Kolben unter constantem Druck gehoben wird, gerade zur Verrichtung dieser äusseren Arbeit erforderlich ist. Der Mehrverbrauch an Wärme bei Arbeitsverrichtung mit constantem Druck ist  $5\frac{2}{3} - 4 = 1\frac{2}{3}$  Calorien. Damit wird eine äussere Arbeit von 2300 Fusspfund verrichtet, also trifft auf 5 russische Calorien  $3 \times 2300 = 6900$  Fusspfund, oder auf eine Calorie 1380, genauer 1390 Fusspfund Arbeit\*), genau so, wie es auch der *Joule'sche* Versuch ergab.

Diese von dem französischen Physiker *Person* gefundene Uebereinstimmung zeigt sich auch, wenn man nicht Luft, sondern irgend ein an-

---

\*) Im franz. Maass stellt sich die ganze Rechnung so: 273 Cub.-Meter Luft wiegen bei einer Atmosphäre Spannung und  $0^{\circ}$  Temperatur pr. Cub.-Meter 1.2932 Kilogr., also 353 Kilogramm und stehen unter einem Druck von 10334 Kilogr. auf die Fläche von einem Quadratmeter. Bei Erwärmung um  $1^{\circ}$  wird also eine mechanische Arbeit von 10334 Kilogramm-Meter verrichtet, und hierbei werden 83.9 Calorien benöthiget. Bei festgehaltenem Kolben braucht man aber zu derselben Erwärmung um  $1^{\circ}$  nur 59.5 Calorien, folglich ist der Mehrverbrauch von 24.4 Calorien verwendet worden zur Arbeit von 10334 Kilogr., also ist eine Calorie aequivalent mit  $\frac{10334}{24.4} = 423.5$  Kilogramm-Meter.

deres Gas oder auch den Wasserdampf einmal mit, und einmal ohne Arbeitsverrichtung erhitzt. Desgleichen zeigt sich diese Uebereinstimmung bei Dampfmaschinen. Bei diesen wird der Dampf in einem Kessel unter constantem Druck erzeugt. Beträgt der Druck im Kessel beispielsweise 3 Atmosphären, d. h. 3 mal so viel wie der äussere Luftdruck, hat er also einen Ueberdruck von 2 Atmosphären, so ist seine Temperatur  $134^{\circ}$  C. und man braucht 647 Wärmeeinheiten um aus einer Gewichtseinheit Wasser von  $0^{\circ}$  unter constantem Druck Dampf von  $134^{\circ}$  zu erzeugen. Dieser erzeugte Dampf schiebt den Dampfkolben vor sich her, verrichtet dabei äussere Arbeit, und wird dann fast plötzlich durch Herstellung der Communication mit dem Condensator der Dampfmaschine condensirt, indem man dem Dampf eine 20 mal grössere Menge kaltes Wasser, in fein vertheiltem Zustand entgegen spritzt. Dieses Wasser nimmt die in dem Dampf enthaltene innere Arbeit in sich auf und wird dadurch warm. Allein die von dem abfliessenden Wasser mitgenommene Wärmemenge beträgt nicht 647, sondern nur 602 Wärmeeinheiten, also sind 45 Calorien oder  $7\frac{1}{2}\%$  der ganzen angewandten Wärmemenge in mechanische Arbeit umgewandelt worden, und zwar in die Bruttoarbeit der Dampfmaschine, bestehend aus der Ueberwindung des nützlichen Drucks, des schädlichen Vorderdrucks, der Kolbenreibung und der anderen Widerstände. Abermals ist diese vom Dampfe erzeugte äussere Arbeit äquivalent mit der verloren gegangenen Wärmemenge nach dem bestimmten Verhältniss: Eine Wärmeeinheit = 1390 Fusspfund, beziehungsweise 423 Kilogramm-Meter.

Es versteht sich, dass die Anwendung von Expansion nur die Rechnung complicirt, nicht aber das Prinzip in Frage stellt.

## 11. Die Bewegung der Gasmoleküle.

Aus dem Umstand, dass der Mehrverbrauch an Wärme bei Arbeitsverrichtung genau dieser verrichteten äusseren Arbeit äquivalent ist, zieht die mechanische Wärmetheorie einen merkwürdigen, von Professor *Krönig* herrührenden Schluss, nämlich den, dass sich die Theilchen der Luft nicht, wie man bisher allgemein annahm, abstossen, sondern, dass sie im Gegentheil ganz indifferent gegen einander seien, weil die stattfindende Volumsvergrösserung gar keinen Theil der äusseren Arbeit verrichtet, wie es doch sein müsste, wenn sich die Lufttheilchen abstossen würden, wenn also in ihnen Verschiebungsarbeit angesammelt wäre, welche bei der Volumsvergrösserung abgegeben würde, so wie die Verschiebungsarbeit, welche in einer zusammengedrückten Spiralfeder angesammelt ist und abgegeben wird, wenn sie wieder in ihr früheres grösseres Volumen zurück-schnellt. Die Vergrösserung des Volumens oder die Verschiebung der Gasmoleküle bewirkt also durchaus keine Arbeit, die ganze innere Ar-

beitsfähigkeit der Gase besteht also nur in molekularer Bewegungsarbeit, hingegen ist die Verschiebungsarbeit der Gase gleich Null. Dies ist ein Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Hieraus ergibt sich nun die nachfolgende von *Krönig* und *Clausius* aufgestellte Hypothese über das Wesen der Körper im gasförmigen Aggregatzustand.

Jedes chemisch einfache, zusammengesetzte oder gemengte Gas besteht aus einzelnen wägbaren Körperchen, den Gasmolekülen, welche sich als solche gerade so verhalten, als wären sie vollkommen elastische Elfenbeinkugeln, die im Vergleich zu ihrer Grösse ungemein weit von einander entfernt, aber nicht in Ruhe sind, sondern in gänzlich regelloser Weise nach allen möglichen Richtungen in gerader Linie sich fortbewegen ohne sich gegenseitig anzuziehen oder abzustossen, bis sie an ein anderes derlei Molekül oder an die Gefässwand anprallen, und nach den Gesetzen des Stosses elastischer Körper ihre Geschwindigkeit austauschen oder von der Wand zurückgeworfen werden.

Sie unterliegen allerdings der allgemeinen Anziehung, aber diese hat auf ihre Bewegung nicht mehr Einfluss als etwa auf die Bewegung einer Flintenkugel in den ersten 10 Fuss Weges nach Verlassen des Laufes. (Der Stoss zweier Gasmoleküle aufeinander muss nicht nothwendiger Weise als ein wirklicher Stoss aufgefasst werden, bei welchem die äussersten das Molekül constituirenden Massentheilchen, seien es auch nur die Aetherhüllen, in Contact kommen, sondern die Bewegung kann, sobald die Moleküle in ihre Anziehungssphäre gekommen sind, auch eine planetarische sein, es kann etwa die gerade Linie in eine Hyperbel übergehen zu der sie Assymptote ist.)

## 12. Die Expansivkraft.

Die Expansivkraft des Gases ist bedingt durch die Stärke und die Anzahl der Stösse, welche in der Secunde auf die Flächeneinheit des Gefässes ausgeübt werden. Um sich hierüber eine klare Vorstellung zu machen, denke man sich einen Saal erfüllt mit Menschen, welche geübt sind grosse Elfenbeinkugeln mit bedeutender Kraft vertikal aufwärts zu werfen. Ueber ihnen sei nicht eine durch Säulen oder sonst wie in irgend einer beständigen Weise getragene Decke, sondern eine frei zwischen den vertikalen Wänden bewegliche Decke von leichter Construction, auf der Unterfläche mit Elfenbein belegt, welche nun dadurch in einer nahezu unveränderlichen Höhe erhalten wird, dass die Menschen beständig die Kugeln gegen die Decke werfen, und zwar unregelmässig, jeder so oft als möglich. Sind die Kugeln einmal in Bewegung, so kann man sich auch die Menschen durch einen vollkommen elastischen Fussboden ersetzt denken. Die Decke würde dann durch ihr Gewicht, d. h. durch die constante Kraft mit der sie von der Erde angezogen wird, zu fallen suchen,

und auch wirklich fallen, gleichzeitig aber auch durch die Stösse von unten immer wieder gehoben, so dass ein beweglicher Gleichgewichtszustand denkbar ist zwischen der unaufhörlich gleichmässig oder constant wirkenden Anziehungskraft der Erde gegen die schwebende Decke, und zwischen der nicht constant, sondern nur momentan wirkenden Abstossungskraft der elastischen Massen während der verschwindend kleinen Dauer des Stosses, oder eigentlich weit richtiger: zwischen der Verschiebungsarbeit, welche die Decke abgibt, indem sie sich ein klein wenig der Erde nähert, und zwischen der Verschiebungsarbeit, welche die Decke wieder aufnimmt, wenn die anfliegenden Moleküle ihre Bewegungsarbeit durch Deformirung der getroffenen Stelle abgeben.

Das Abprallen der Kugeln von der Decke ist genau zu vergleichen mit dem Abschliessen einer Kanonenkugel; das Geschütz, hier die Decke, bewegt sich entgegengesetzt von der nach abwärts prallenden Kugel.

Von einer eigentlichen Abstossungskraft scheint überhaupt niemals die Rede sein zu dürfen, sondern alle scheinbare Abstossung wird, so wie die radiale Abstossung, die wir Fliehkraft heissen, nur auf der molekularen Bewegung durch Trägheit oder wie beim Stoss auf den durch Deformirung wachgerufenen Anziehungskräften beruhen.\*)

Würde man z. B. von der Sonne aus versuchen die Erde mit Ketten gegen die Sonne hinzuziehen, so würde sich zeigen, dass die Erde mit einer grossen Kraft von der Sonne abgestossen wird, welche der bereits bewerkstelligten Verschiebung proportional ist, und welche nur allein aus der Trägheit resultirt.

### 13. Compression und Expansion.

Wird durch eine äussere Kraft unsere schwebende Decke entgegen den sie tragenden Stössen niedergedrückt, so erhöht sich sowohl die Anzahl der Stösse als die Bewegungsarbeit jedes einzelnen Moleküls, also aus beiden Gründen die Expansivkraft des bewegten Mediums.

Auf diesem Standpunkt angelangt, ist jetzt der Eingangs erwähnte Versuch erklärlich, welcher ergab, dass Luft durch Compression warm wird. Wenn nämlich die Gasmoleküle durchschnittlich so weit von einander entfernt sind, dass sie als indifferent gegeneinander betrachtet werden können, so ist zur Vergrösserung oder Verkleinerung dieser durchschnittlichen Distanz, also zur Volumsänderung, keine Arbeit erforderlich (die Verschiebungsarbeit ist gleich Null), also wird die ganze bei der Compression angewandte äussere mechanische Arbeit angewendet, um die

---

\*) „Grundzüge einer Molekular-Physik“ von Dr. S. Subic. Diese Ansicht wird auch in Riga von den Herren Dr. Kersting, Gottfriedt u. Werner vertheidigt. Vrgl. Nr. 15.

Bewegungsarbeit der Moleküle zu erhöhen, und diese erhöhte Bewegungsarbeit erscheint uns als Wärme.

Es wird also beim Comprimiren äussere mechanische Arbeit in innere Arbeit umgewandelt, also neue Wärme erzeugt, keineswegs aber eine schon früher vorhanden gewesene Wärme wie Wasser aus einem Schwamm ausgepresst.

Man kann durch äussere Arbeit ohne Anwendung von Wärme einen beliebig hochgespannten Hochdruckdampf erzeugen, indem man z. B. durch ein Wasserrad eine Dampfmaschine bethätigt, welche aus einem verschlossenen Gefäss den durch freiwillige Verdunstung des darin enthaltenen Wassers entstandenen Wasserdampf ansaugt und in einen Kessel comprimirt, in welchem beliebig hoher Druck bestehen kann, wenn der Abfluss aus demselben so regulirt wird, dass er dem von der Maschine gelieferten Zufluss gleich ist. Durch Compression des Wasserdampfes allein erhält man nämlich nicht einen Tropfen Wasser, sondern im Gegentheil überhitzten Dampf. Nur bei gleichzeitiger Wärmeentziehung tritt Condensation ein.

Auch dies ist eine erst von der mechanischen Wärmetheorie erkannte Wahrheit, und sie ist durch obigen Versuch bestätigt, welcher behufs der Abdampfung von Salzsoole von Herrn Sectionsrath *Rittinger* in Wien in ziemlich grossem Maassstabe versuchsweise ausgeführt wurde, mit der Modification, dass der Hochdruckdampf zur Erwärmung des Gefässes, in welchem die Soole verdampfte, verwendet, und zur Deckung der Wärmeverluste ein wenig unter dem Dampfessel geheizt wurde. Der von der Dampfmaschine gelieferte Dampf zeigte hierbei eine um 16° C. höhere Temperatur, als seiner Spannung bei gesättigtem Dampf zukommt, war also überhitzt\*).

Im Gegensatz zur Erwärmung durch Compression findet bei erzwungener Ausdehnung eines Gases Abkühlung statt. Während man nämlich den Kolben zurückzieht, oder, was damit gleichbedeutend ist, die auf dem Kolben ruhende Last verringert, überwältigen die von der Innenseite stattfindenden Stösse, oder die Expansivkraft des Gases den noch verbleibenden Kolbendruck während eines gewissen Weges, die Innenseite gibt also mechanische Arbeit nach Aussen ab, und die Menge dieser äusseren Arbeit wird geliefert von der inneren Bewegungsarbeit, diese wird also kleiner, das Gas wird kälter. Bei Wasserdampf ist hiermit, wenn er nicht überhitzt war, Condensation einer kleinen Menge des vorhandenen Dampfes verbunden. In dem Cylinder einer Expansions-Dampfmaschine findet daher immer eine kleine Condensation statt, wenn er nicht mit

---

\*) Näheres über diesen interessanten Abdampfapparat durch Wasserkraft siehe „Oester. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen“ Nr. 39 von 1857 und Nr. 50 von 1858.

einem Dampfmantel umgeben ist, in welchem bedeutend heisserer also höher gespannter Dampf enthalten ist, als im Cylinder selbst.

Die Menge des solcher Weise sich condensirenden Dampfes hat zuerst *Zeuener* in seinen „Grundzügen der mechanischen Wärmetheorie“ berechnen gelehrt.

Bei Expansion ohne Arbeitsverrichtung fällt jedoch der Grund der Abkühlung weg; sie tritt daher auch nicht ein, wenn man zwei Kessel, welche Luft von verschiedener Spannung aber gleicher Temperatur enthalten, mit einander in Communication setzt. Es gleichen sich da die Spannungen aus, ohne Temperaturveränderung, selbst dann, wenn das eine Gefäss gar keine Luft, sondern Vacuum enthielt, wie *Joule* und *Regnault* durch den Versuch nachgewiesen haben. Auch wenn man zwei, kein Wasser sondern nur Dampf von verschiedener Spannung und Temperatur enthaltende Kessel mit einander in Communication setzen würde, kann keine Condensation erfolgen, sondern nur eine Ausgleichung nach dem Prinzip der Durchschnittsrechnung. Mengt man z. B. ein 1 Cubik-Meter Dampf von einer Atmosphäre Spannung, also von 0·859 Kilogramm Gewicht und von 100 Grad, mit 1 Cubik-Meter Dampf von 5 Atmosphären, also von 2·853 Kilogr. Gewicht und von 152·2 Grad, so erhält das Gemenge von 2 Cubik-Meter und 3·172 Kilogramm Gewicht die Temperatur

$$\frac{0\cdot589 \times 100 + 2\cdot583 \times 152\cdot2}{3\cdot172} = 142\cdot5 \text{ Grad, und die Spannung wird}$$

das Mittel aus 1 und 5, also 3 Atmosphären. Dass dieser Vorgang eintritt, kann ich allerdings noch nicht durch einen Versuch bekräftigen, aber bestimmt voraussagen. Der erhaltene Dampf ist dann unter allen Umständen ein überhitzter, auch wenn man ihn ins Vacuum strömen lässt\*).

Es kann hier nicht der Ort sein, in eine mathematische Verfolgung dieser Lehren einzugehen, und insbesondere die so wichtige Frage über die mechanische Arbeit zu erörtern, welche bei Expansion des Wasserdampfes gewonnen wird. Alles in dieser Beziehung praktisch Wichtige findet man in meiner „Theorie der Dampfmaschinen“

\*) Allgemein lautet meine Behauptung folgender Maassen: Mengt man  $V$  Volumen Dampf vom Gewicht  $G$ , der Spannung  $p$  und Temperatur  $t$  mit  $V_1$  Volumen vom Gewicht  $G_1$  der Spannung  $p_1$  und Temperatur  $t_1$ , so erhält man  $V + V_1$  Volumen vom Gewicht  $G + G_1$  von der Spannung  $p' = \frac{p V + p_1 V_1}{V + V_1}$  und von der Temperatur  $t' = \frac{G t + G_1 t_1}{G + G_1}$ . Man kann auch die Ermittlung der Gewichte ganz umgehen, wenn man mit den absoluten Temperaturen  $T, T_1, T'$  rechnet. Es ist

$$T' = \frac{p V + p_1 V_1}{\frac{p V}{T} + \frac{p_1 V_1}{T_1}}$$

Freiberg 1861, die besten streng theoretischen Untersuchungen hingegen in *Zeuner's* „Grundzügen“. Manche differirende Ansichten finden ihre Erklärung in der leider nicht hinreichend grossen Genauigkeit, mit welcher man bisher die physikalischen Eigenschaften des Wasserdampfs untersucht hat, und in der grossen Schwierigkeit, ein Experiment anzustellen, in dem die Attraction der Gefässwände keinen störenden Einfluss äussert.

#### 14. Constitution der Materie.

Die gewöhnliche Vorstellung, die sich der Laie von der Materie macht, und die auch bis zu Anfang dieses Jahrhunderts in der Wissenschaft galt, besteht in der Annahme, dass die ihrem inneren Wesen nach ganz unbekannte Materie den Raum stetig erfülle (mit Ausnahme der Poren), dass sie aber dussungeachtet einer Ausdehnung und Zusammendrückung fähig sei, und dass zwischen den sich berührenden Theilchen gewisse Pressungen oder Spannungen bestehen, sobald der Körper durch äussere Kräfte afficirt wird.

Nach dieser Anschauung würde etwa eine aus Quadern erbaute Mauer eine recht gute Vorstellung von der Materie geben, und die horizontalen Mauerfugen würden einer vollkommenen Spaltungsrichtung der Krystalle entsprechen, während die vertikalen alternirenden Mauerfugen einer unvollkommenen Spaltungsrichtung entsprechen würden.

Diese Theorie heisst Contacttheorie und ist von *Navier*, *Poisson*, *Cauchy* und *Lamé* mit vollsändigem Erfolg mathematisch ausgebeutet worden, zur Erklärung aller roh mechanischen Erscheinungen. Alle Probleme über das Gleichgewicht und die Bewegung der Körper, alle Elasticitätsprobleme betreffend die Formänderung der Körper unter dem Einfluss von Kräften, alle Schallerscheinungen können vollständig unter Beibehaltung dieser rohsinnlichen Vorstellung erklärt werden. Allein die chemischen und die physikalischen Erscheinungen des Lichts, der Wärme, Electricität und des Magnetismus, insbesondere die verschiedene Brechbarkeit der farbigen Lichtstrahlen, können durchaus nicht aus dieser Vorstellung erklärt werden.

Der englische Chemiker *Dalton* hat das grosse Verdienst, die seit Anfang dieses Jahrhunderts herrschende atomistische Lehre zuerst in klarer Weise ausgesprochen zu haben.

Die Benennung „Atom“ rührt nach *Redtenbacher* zwar schon von *Leuzippus*, also aus hellenischer Zeit, allein sie war ein Wort ohne Begriff, wie etwa heutzutage „Lebenskraft.“ Nach *Dalton* bestehen die chemisch einfachen Körper, deren Zahl gegenwärtig 62 ist, aus nicht weiter theilbaren kugelförmigen, ganz unveränderlichen undurchdringlichen Körpern, „Atomen“, die in ein und derselben Substanz sämmtlich gleichartig sind und ein bestimmtes Gewicht, das „Atomgewicht“ haben. Das absolute

Atomgewicht kann nicht bestimmt werden, wohl aber das relative Gewicht der verschiedenen Atome, wenn man das Atomgewicht eines Stoffes als Einheit nimmt. Jedes Atom ist mit einer Wärmesphäre umgeben und berührt daher das Nachbaratom nicht. Eine Verkleinerung des Körpers wird durch Näherrücken der Atome bewirkt. Eine chemische Verbindung ist eine innige Nebeneinanderlagerung verschiedenartiger einfacher Atome. Das solcher Art aus Atomen zusammengesetzte Molekül hat wieder eine gemeinschaftliche Wärmesphäre, und ist von dem Nachbar-Molekül verhältnissmässig weit entfernt.

Die Spaltbarkeit der Krystalle beruht auf schichtenweise innigere Nebeneinanderlagerung der Moleküle. Eine chemische Zerlegung ist eine Zertheilung der Moleküle in ihre Atome, welche dann entweder selbstständige einfache Substanzen bilden, oder sich zu andern neuen Molekülen gruppieren.

*Dalton* erklärt also die Substanz als ein Doppelmedium, bestehend aus wägbaren Körperatomen und unwägbarern Wärmestoff, allein er spricht nichts von Kräften, welche die Vereinigung von Atomen zu Molekülen und die Trennung von Molekülen bewirken.

Er spricht auch noch nichts von einem positiven und negativen electrischen und magnetischen Fluidum, das seine Nachfolger der Materie angedichtet haben, und das bis auf den heutigen Tag leider noch beibehalten werden muss, weil die neue mechanische Theorie der Imponderabilien bisher erst das Licht und zum Theil die Wärme, aber noch lange nicht die Electricität und den Magnetismus so weit bewältigen konnte, um die als unbrauchbar erkannte Fluidumstheorie abzuschütteln.

Auf dem gegenwärtigen Standpuncte der Wissenschaft muss die atomistische Ansicht etwa in folgender Weise cultivirt werden: Die Substanzen bestehen aus nicht weiter theilbaren, ganz unveränderlichen Atomen von bestimmtem Gewicht und von bestimmter Form, möglicher Weise auch von Kugelgestalt, — und aus einem, wegen sehr grosser Feinheit unwägbarern, im ganzen Weltraum verbreiteten und auch aus getrennten materiellen Puncten bestehenden Stoff, dem Aether, als Vermittler des Lichtes. Wir kennen bis jetzt 62 verschiedene Atome, welche alle aufeinander und auf die Aetheratome anziehend wirken. Ob man zur Erklärung einer Gleichgewichtslage der Körperatome ohne Berührung eine Abstossung der Aetheratome unter sich annehmen müsse, oder ob alle Abstossung nur aus molekularen Anziehungskräften resultire, welche durch Verschiebung der Atome und Moleküle des Körpers, so wie der Aetheratome wachgerufen werden, ist im Augenblick noch eine Streitfrage. (Siehe Nr. 15.) — Jedes Körperatom ist mit einer Aetherhülle umgeben, welche nächst der Oberfläche des Atoms dichter ist, nach Aussen hin aber rasch an Dichte abnimmt.

Eine Anzahl derlei gleichartiger oder verschiedenartiger Atome, welche sich so innig aneinander lagern, dass die einzelnen Aetherhüllen in einander fließen, und die ganze Atomgruppe eine gemeinschaftliche Aetherhülle bekommt, heisst ein Molekül. *Redtenbacher* nennt eine solche Atomgruppe mit gemeinschaftlicher Aetherhülle eine Dynamide, d. h. ein Bewegliches, und einen aus Dynamiden bestehenden Körper ein Dynamidensystem, wenn diese Atomgruppen so weit von einander entfernt sind, dass der Raum zwischen zwei Dynamiden als grösstentheils ganz leer, d. h. nur mit dem Weltäther erfüllt, angesehen werden darf\*).

Muthmaasslich hat man zu unterscheiden: 1) Eielementige, 2) mehr-elementige Moleküle, je nachdem die einzelnen das Molekül bildenden Atome gleichartig oder ungleichartig sind.

So verbinden sich vielleicht 2 Atome Kohlenstoff zu einem stabförmigen Graphitmolekül, während sich vielleicht 6 ebensolche Kohlenstoffatome zu einem Diamantmolekül gruppieren, und die amorphe Zuckerkohle möglicher Weise die einzelnen Kohlenstoffatome repräsentirt, denn alle 3 Körper verbrennen geradezu zu Kohlensäure. Aehnliche Modificationen wie die Kohle zeigen Phosphor, Schwefel und Sauerstoff, und es ist überhaupt wahrscheinlich, dass die sämtlichen Elemente in jeder Aggregatsform nicht einfache Atome, sondern Moleküle sind, bestehend aus gleichartigen Atomen, so dass sich z. B. Schwefel nicht direct mit Sauerstoffgas verbindet, sondern erst nachdem das Gasmolekül in seine Atome aufgelöst worden ist.

Beispiele von mehrelementigen Molekülen gibt es unzählige, nämlich so viele, als der Chemiker zusammengesetzte Stoffe unterscheidet. So besteht z. B. Wasserdampf aus zwei Volumen Wasserstoffgas und ein Volumen Sauerstoffgas oder aus vier Volumen Wasserstoff (Hydrogen = H) und zwei Volumen Sauerstoff (Oxygen = O). Es sind also vielleicht 4 Atome H mit 2 Atomen O zu einem octaederförmigen Wassermolekül gruppirt, in welchem Falle jedes Atom O das Gewicht 16 hat, wenn jenes eines Atom H = 1 gesetzt wird, weil das Wasser dem Gewichte nach aus 8 Theilen Sauerstoff auf 1 Theil Wasserstoff, also aus 32 Sauerstoff auf 4 Wasserstoff besteht. Doch kann man natürlich nicht gewiss wissen, ob die Atome des Wassermoleküls gerade ein Octaeder formiren, und so lange noch, wie bisher in dieser Beziehung jeder Anhaltspunkt fehlt, ist es sehr natürlich, dass der Chemiker von aller Speculation absieht, und die thunlichst einfachsten Verhältnisse als maassgebend ansieht, folglich geradezu sagt, das Wasser besteht aus einem Atom H vom Gewicht 1 und einem Atom O vom Ge-

---

\*) Diese Darstellung entspricht dem Sinn seiner Definition eines Dynamidensystems, obwol er nicht von Atomgruppen (Molekülen), sondern nur von Atomen spricht.

wicht 8, und hat also die Formel  $H_4 O_2$ , nicht aber wie nach der Octaederhypothese die Formel  $H_4 O_2$  \*).

Die chemische Beschaffenheit eines Körpers oder Dynamiden-Systems, so wie auch sein Verhalten gegen einen Lichtstrahl, ist bedingt:

- 1) Durch die Bestandtheile des Moleküls, also durch die Anzahl und Natur der Atome aus dem es besteht.
- 2) Durch die Gruppierungsweise der Atome im Molekül.

Hingegen der Aggregatzustand, ob fest, flüssig oder gasförmig, und die sonstige physikalische Beschaffenheit der Körper, nämlich der Zustand der Wärme, Electricität und des Magnetismus ist bedingt durch die Bewegungsweise der Moleküle als Ganzes und durch die Bewegungsweise der Atome im Molekül.

Wir sprechen zuerst von der Ursache des Aggregatzustandes und der Temperatur.

### 15. Quelle und Vermittler der Molekularbewegungen.

Ebenso wenig als im Weltraum ein Körper absolut fest steht, sondern wie die Beobachtung zeigt, jeder Fixstern eben so gut eine fortschreitende oder oscillirende und nebstbei eine rotirende Bewegung besitzt wie unsere Sonne, welche sich gegen das Sternbild des Herkules hin bewegt, eben so wenig ist anzunehmen, dass die Moleküle der Körper jemals in eine Ruhelage kommen. Eine unaufhörliche Anregung zur Bewegung erhalten die Moleküle schon durch die Sonne. Wie es sich auch immer mit der Sonnen-Atmosphäre verhalten möge, über die wir noch keine klare Vorstellung haben, — so viel steht fest, dass von der Sonne aus Bewegung in die Masse des Weltäthers kommt, und diese Bewegung so heftig ist, dass trotz der ausserordentlich viel grösseren Masse der Körpertheilchen diese dennoch durch die Aetherbewegung selbst zur Bewegung angeregt werden, und dass diese Bewegung so heftig werden kann, dass Körper, welche sich in einem ziemlich labilen Gleichgewicht befinden, sogar eine chemische Zerlegung durch die Einwirkung des Lichtes erfahren.

Dass überhaupt im Weltraum eine feine Masse, der Aether, existirt, folgt nicht nur als logische Nothwendigkeit, weil es für Uebermittlung der Lichtbewegung einen stofflichen Träger geben muss, sondern es ist dies auch durch die Bewegung des *Enke'schen* und *Faye'schen* Kometen erwiesen, welche wegen Feinheit ihrer Masse an diesem Weltäther einen

---

\*) Um die angedeutete Speculation durch weitere Beispiele zu verdeutlichen, könnte man etwa dem Alkohol die Formel  $C_4 H_{12} O_2$  beilegen (wobei  $H = 1$ ,  $O = 16$ ,  $C = 12$ ), sich ebenfalls ein Octaeder denkend, mit 4 C und 2 O an den Ecken und 12 H in oder über den Seitenmittelpunkten. Ammoniak =  $N_2 H_6$  wäre vielleicht ein Rhomboeder u. s. w.

merklichen Widerstand finden. Die Masse des Aethers oder mindestens die Veränderungen derselben bei verschiedenen Prozessen ist jedenfalls so gering, dass die Anziehung, welche die irdische Aethermasse von der Erde erfährt, nicht durch unsere Wagen nachweisbar ist. Ob sich die Aetheratome wirklich gegenseitig abstossen, also ganz anderer Natur sind als die Atome der groben Materie, oder ob vielleicht auch der Aether als nichts anderes anzusehen sei, wie als die bei der Bildung der Himmelskörper übrig gebliebene kosmische Masse, die sich vielleicht durch fortgesetzte Bildung von Kometen und Aerolithen noch immer vermindert, ist gegenwärtig noch ganz und gar nicht zur Klarheit gekommen. Jedenfalls hat die letztere Ansicht, dass nämlich auch der Aether nicht anderer Natur sei, wie alle übrigen Stoffe mit einer eigenthümlichen Schwierigkeit zu kämpfen. Denn wie weit auch immer die Atome durchschnittlich von einander stehen mögen, so muss es doch als möglich, wenn auch als sehr unwahrscheinlich angesehen werden, dass irgend ein Mal zwei Aetheratome in geradem Stoss aufeinander prallen. Besteht nun zwischen ihnen nicht Abstossung, durch welche die Bewegungsarbeit in Verschiebungsarbeit umgewandelt, und nach Aufzehrung der Geschwindigkeit wieder die angesammelte Verschiebungsarbeit in Bewegungsarbeit umgesetzt wird, so müsste man entweder wie beim Stoss elastischer Körper, eine Deformirbarkeit der Aetheratome, also wohl schliesslich eine ins Unendliche gehende Theilbarkeit der Materie annehmen, die uns wo möglich noch unbegreiflicher wäre, als die Unbegrenztheit des Weltalls, und das Räthsel nicht lösen, sondern nur hinausschieben würde, oder aber man müsste annehmen, dass die aufeinander geprallten sich anziehenden Atome an einander haften bleiben, dass sich also unter diesen Umständen Bewegungsarbeit vernichten kann. Auch dies ist nicht denkbar, da sich derlei Vorgänge wiederholen würden, also auch im grossen Ganzen Verluste an Arbeit möglich sein müssten, in Widerspruch mit dem Prinzip der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit.\*)

Wird dem Aether Abstossung zugeschrieben, so kommen beim Stoss zweier Körperatome aufeinander diese gar nicht in Contact, sondern nur ihre sich deformirenden und abstossenden Aetherhüllen.

Dass aber selbst bei dieser Anschauung der gerade Stoss zweier als unveränderlich gedachter Körperatome mit deformirbaren Aetherhüllen noch immer sehr mystisch bleibt, ist nicht zu verkennen, weil die Aetherhülle auf das Körperatom nicht schiebend, sondern nur ziehend wirken kann. Das Räthsel liegt überhaupt im Begriff „schieben.“

---

\*) Diesen von Herrn *Dr. Kersting* in Riga aufgeworfenen Widerspruch vermag ich nicht zu beheben, und muss folglich vorläufig mit Widerstreben noch der Abstossungstheorie huldigen.

## 16. Das Licht und die strahlende Wärme.

Durch das Studium der Erscheinungen des Lichtes und der strahlenden Wärme ist ausser allem Zweifel gesetzt, erstens dass beide nur Gradunterschiede sind, welche aber von verschiedenen Sinnen aufgefasst werden, und zweitens dass die Bewegung der Aethertheilchen nicht in dem Sinne der Fortpflanzung, also nicht longitudinal nach der Richtung des Licht- oder Wärmestrahls, sondern senkrecht darauf, etwa so, als ob der Lichtstrahl ein langes, sehr stark gespanntes Seil wäre, auf welches man nahe dem einen Ende transversal darauf schlägt. Von der Anzahl solcher transversalen Oscillationen, welche ein einzelnes Aethertheilchen pr. Sec. macht, hängt die Farbe des Lichtes ab, gerade so wie von der Schwingungszahl einer Stimmgabel oder einer Saite die Höhe des Tons abhängt, den wir durch Vermittelung des Ohrs empfinden.

Jeder Sonnenstrahl besteht aus sehr vielen farbigen Strahlen, welche aus der Erscheinung des Regenbogens allgemein bekannt sind, bei welcher Erscheinung die einzelnen farbigen Strahlen durch die Brechung und Reflexion in den in der Atmosphäre schwebenden Wasserkügelchen getrennt werden.

Das Auge empfindet nur jene Schwingungen, welche langsamer als 800 und schneller als 400 Billionen Schwingungen per Secunde sind und unterscheidet diese Schwingungszahlen als Farben zwischen violett, durch blau, grün, gelb und orange hindurch bis roth. Noch langsamere Schwingungen als die rothen gibt es zwar, allein sie können die Flüssigkeiten des Auges nicht durchdringen, und erscheinen uns nur als Wärme, nicht als Licht. Die durchsichtigen Körper lassen nicht alle Strahlen gleich gut hindurch, und insbesondere gehen jene Strahlen, welche kleine Anzahl Schwingungen per Secunde machen, und welche uns vorzugsweise als Wärmestrahlen erscheinen, am ungestörtesten durch krystallisirtes wasserhelles Steinsalz, weniger gut durch Kalkspath, Glas, Bergkrystall oder Eis hindurch, und erwärmen ein dahinter stehendes empfindliches Thermometer auf bedeutende Entfernung in dem Moment, als ein vor den durchsichtigen Körper vorgestellter Schirm weggenommen wird. Erst nach längerer Zeit wird auch der bestrahlte durchsichtige Zwischenkörper warm. Offenbar hängt der Durchgang der Wärmebewegung von der Struktur des Körpers ab. Ist dieselbe der Art, dass jene Bewegungsweise des Aethers, welche man strahlende Wärme heisst, nicht durch den Körper ungehindert hindurchgeht, sondern in den Theilchen des Körpers, z. B. der Thermometerkugel verbleibt, so hat sich die strahlende Wärme, nämlich die Bewegungsarbeit des Aethers in mitgetheilte Wärme, nämlich in Bewegungsarbeit der Körpertheilchen umgesetzt, welche Bewegungsarbeit sich nun langsam von Atom zu Atom im Körper verbreitet und vertheilt. Eine ähnliche Umsetzung der Aether-

bewegung in Bewegung der groben Materie scheint vorzugehen, wenn letztere durch Bestrahlung selbstleuchtend, phosphorescirend wird, wie z. B. Flussspath, Diamant oder Eierschalen.

### 17. Mitgetheilte Wärme, Electricität und Magnetismus.

Die mitgetheilte Wärme der Körper besteht hiernach in der Bewegungsarbeit, welche in den Molekülen und Atomen der Körper und ihrer Aetherhüllen angehäuft ist, und es findet ein unaufhörlicher Austausch von dieser Bewegungsarbeit statt, indem jeder Körper, welcher einen Ueberschuss an innerer Bewegungsarbeit besitzt, d. h. wärmer ist, diesen Ueberschuss theils direct durch Strahlung, theils indirect mittelst der umgebenden Luft durch Mittheilung der Wärme auf andere kältere Körper überträgt.

Jeder Temperatur entspricht aber eine bestimmte Bewegungsweise, und absolute Ruhe ist gar nicht denkbar.

Welcher Art diese Bewegungen sind, die uns als Wärme erscheinen, und welche andere Bewegungen den Zustand der Electricität und des Magnetismus bedingen, ist freilich nicht bekannt. *Redtenbacher* vermuthete sogar, dass auch Wärme und Electricität, so wie Licht nur allein auf Bewegung des Aethers beruhe, und insbesondere, dass die Wärmebewegungen in radialen Pulsiren der Aetherhüllen, die Electricitätsbewegungen in Rotation der Aetherhüllen bestehe. Die herrschendere Meinung ist jedoch die, dass die Körpertheilchen selbst Antheil nehmen an denjenigen Bewegungen, welche uns als Wärme und Electricität erscheinen. Meine individuelle Meinung ist die, dass die rotirende Bewegung der Moleküle um ihre kleinste krystallographische Axe (nämlich die stabilste Rotation) die Erscheinungen der electricischen Vertheilung und des Magnetismus bedingen, ein electricischer Strom aber in Longitudinalschwingungen bestehe, welche vom positiven Pol als Verdichtungswelle, und vom negativen Pol als Verdünnungswelle ausgehen. Magnetisiren heisst dann, bei einer Mehrzahl von Molekülen die kürzesten Rotationsaxen annähernd parallel stellen, und die Rotationen um andere Axen verhindern. Die bisher herrschende Ansicht lässt nicht die Moleküle selbst rotiren, sondern nimmt an, dass um die feststehenden Moleküle electricische Ströme rotiren.

Nach meiner Meinung gibt das *Bohnenberger'sche* Maschinchen den Schlüssel zum Verständniss des Magnetismus, und werden die betreffenden mathematischen Untersuchungen höchst schwierig sein.

### 18. Das Wesen der Gase.

Der Umstand, dass bei den Gasen die Verschiebungsarbeit = Null sei, d. h. dass zur Volumsveränderung an und für sich keine Arbeit be-

nöthigt wird, sondern alle beim Comprimiren angewandte äussere Arbeit in Gestalt von Wärme, also von Bewegungsarbeit, vorhanden ist, hat die *Krönig'sche* Vorstellung von dem Wesen der Gase hervorgerufen, nach welcher die Gasmoleküle sich wie Billardkugeln geradlinig fortbewegen, bis sie, oder vielmehr ihre elastischen Aetherhüllen, irgend wo anstossen. Durch die Anzahl und Stärke der Stösse soll die Expansivkraft bedingt sein. Professor *Clausius* in Zürich hat den Zusammenhang dieser lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung der Moleküle mit der Expansivkraft näher untersucht, und dabei gefunden, dass die innere Arbeit, welche wir Wärme heissen, nicht nur in der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleküle besteht, sondern auch in der vibrirenden Bewegung, welche die Atome eines Moleküls um ihre Gleichgewichtslage im Molekül machen, und zu welcher sie durch die Stösse immer wieder angeregt werden, wenn sie durch Abgabe ihrer Bewegungsarbeit an den Aether etwas an solcher verloren haben sollten.

Macht man, wie dies die von dem elsässischen Chemiker *Gerhardt* gegründete Schule thut, die Hypothese, dass alle Körper in gasförmigem Zustand bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur in gleichem Rauminhalt eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten, so ist, wie eine einfache Rechnung zeigt, die Bewegungsarbeit eines Moleküls irgend eines Gases bei beliebiger Spannung direct proportional der absoluten Temperatur.

Die absolute Temperatur eines Gases wird also gemessen durch die Bewegungsarbeit eines Moleküls in seiner fortschreitenden Bewegung.

Dies ist die erste Definition, die die Wissenschaft über den Begriff Temperatur zu geben vermochte, der bisher ein ganz und gar dunkler war. Vielleicht ist auch in den anderen Aggregatzuständen die Bewegungsarbeit eines Moleküls als Ganzes, also abgesehen von der Vibration der Atome des Moleküls, das Maass für die absolute Temperatur, wenn auch nach anderem Verhältniss.

## 19. Die Flüssigkeit und ihre Verdunstung.

Im gasförmigen Zustand ist die durchschnittliche Entfernung der Theilchen so gross, und die Bewegung so bedeutend, dass die Anziehung, welche die Moleküle von der ganzen Masse der Erde erleiden, nur eine Nebenrolle spielt, und die Anziehung je zweier Gasmoleküle in der mittleren Entfernung ganz verschwindend klein ist. Im tropfbarflüssigen Zustand ist die lebendige Kraft der Moleküle wahrscheinlich weit kleiner, es gewinnt daher die allgemeine Anziehung die Oberhand, und stellt sich

eine horizontale Oberfläche her. Ueberdies sind aber die Moleküle auch bedeutend näher als im gasförmigen Zustand, z. B. beim tropfbar flüssigen Wasser circa 12 mal näher (d. h. in  $\frac{1}{12}$ tel Distanz) als bei Wasserdampf von einer Atmosphäre Spannung. Vermöge dieser geringeren Entfernung macht sich auch schon die Anziehung der Nachbartheilchen geltend, und es bildet sich eine sogenannte Flüssigkeitshaut, daher rührend, dass die Oberflächentheilchen von sämtlichen Innentheilchen einen einseitigen Zug erfahren, also sich in vertikalem, und wegen der leichten Verschiebbarkeit, auch in horizontalem Sinn dichter lagern, als die Theilchen im Innern, welche von allen Seiten ziemlich gleichmässig angezogen werden. Diese dichtere Flüssigkeitshaut (welche z. B. daran ersichtlich ist, dass aufsteigende Luftblasen sie nicht leicht zu durchbrechen vermögen) gewährt einen nicht unbedeutenden Schutz gegen die noch immer bedeutenden Stösse der frei beweglichen Moleküle des Innern. Einen noch grösseren Schutz gewähren die Gasmoleküle, welche sich oberhalb der Flüssigkeit befinden, und Stösse gegen dieselbe nach abwärts ausüben, d. h. der äussere Druck der über der Flüssigkeit stehenden Gase behindert ebenfalls, so wie die von inneren Kräften bewirkte Flüssigkeitshaut die Verdunstung der Flüssigkeit. Aber beide Kräfte sind nicht im Stande zu verhindern, dass einzelne Theilchen der Oberfläche, welche zufällig von ihren unteren Nachbarn in gleichem Sinn nach Aussen gestossen werden, sich losreissen, die Flüssigkeit verlassen und als Dampf fortfliegen. Hierbei ist wohl zu beachten, dass die wegfliegenden Moleküle jenen Antheil der Bewegungsarbeit mitnehmen, welchen die stossenden Moleküle an das losgelöste Molekül abgegeben haben, um erstens das Oberflächenmolekül entgegen der Anziehung des Innern und der benachbarten Moleküle von diesen loszureissen (Verschiebungsarbeit) und um demselben zweitens die fortschreitende Bewegung zu ertheilen. Durch diesen Act der freiwilligen Verdunstung von der Oberfläche weg, wird also der rückbleibenden Flüssigkeit innere Bewegungsarbeit, d. i. Wärme entzogen, — sie kühlt sich durch das Verdunsten ab. Man fühlt dies, wenn man die Hand ins Wasser taucht und dieses an der Sonne verdunsten lässt.

Diese von *Krönig* gegebene Erklärung des Phänomens der Verdunstung, nämlich das Hinausschleudern eines Oberflächentheilchens entgegen der Anziehung, die es von den inneren und Nachbar-Molekülen erleidet, und entgegen dem äusseren Drucke, ist eben so gut denkbar, wie es sogar denkbar ist, dass ein Körper so heftig vertikal in die Höhe geworfen wird, dass er nicht mehr auf die Erde zurückfällt. Es bedarf nach meiner Rechnung hierzu nur einer Geschwindigkeit von  $1\frac{1}{2}$  Meilen per Secunde, also 23fache Geschwindigkeit einer 24pfündigen Kanonenkugel, welche das Rohr mit 500 Meter Geschwindigkeit verlässt. Wegen

des nicht in Rechnung gezogenen Luftwiderstandes müsste man noch etwas zugeben\*).

## 20. Gasmenge und Sättigung eines Raums mit Dampf.

Ist in dem Raum, in welchem Wasser verdunstet, schon ein Gas gewesen, z. B. in einem Zimmer atmosphärische Luft, bestehend aus Stickstoff und Sauerstoff, so fliegen die Stickstoff-, Sauerstoff- und Wassermoleküle unbekümmert um einander herum, und stossen jedes für sich auf die Gefässwände, also hier auf alle im Zimmer befindlichen Flächen. Ein vorhandenes Barometer zeigt daher die Summe der einzelnen Expansivkräfte an, welche aus den einzelnen auf den offenen Barometerschenkel stossenden Molekülen der verschiedenen Gase entspringen, und es bewirkt etwa der in grösserer Menge vorhandene Stickstoff  $22\frac{1}{2}$  Zoll, der Sauerstoff mit seiner selteneren Anzahl Stösse nur 6" und der vorhandene Wasserdampf etwa  $1\frac{1}{2}$  Zoll, in Summe 30 Zoll englisch Barometerstand. Da aber das Zimmer nicht hermetisch abgeschlossen ist, also diese Spannung eben so gross sein muss, wie die Spannung der nicht so feuchten äusseren Luft, so folgt hieraus, dass in dem Maasse, als in dem Zimmer mehr Wasser verdunstet, auch ein Theil der atmosphärischen Luft nach Aussen entweichen muss, dass also der Wasserdampf die Luft verdrängt.

Ist aber der Raum, in dem die Verdunstung statt findet, hermetisch abgeschlossen, so hat die Verdunstung eine Grenze. Denn es wird sich auch der Zufall ereignen, dass ein von den Wänden zurückprallendes Molekül gelegentlich die Richtung nach der Flüssigkeitsoberfläche hat,

---

\*) Die betreffende Rechnung ist sehr einfach: Ist  $r$  der Radius der Erde,  $G$  das Gewicht des vertikal geworfenen Körpers gemessen an der Oberfläche der Erde,  $K$  die Anziehungskraft der Erde, wenn der Körper den Abstand  $x$  vom Erdmittelpunct hat, so ist  $K = G \cdot \frac{r^2}{x^2}$  Zugleich ist nach der allgemeinen Kraftformel  $K = -G \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$ , folglich  $\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{gr^2}{x^2} = gr^2 \frac{d\left(\frac{1}{x}\right)}{dx}$  hieraus folgt  $2 \left(\frac{dx}{dt}\right) \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) dt = 2gr^2 d\left(\frac{1}{x}\right)$  oder  $d\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2\right] = 2gr^2 d\left(\frac{1}{x}\right)$ , woraus durch Integration  $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{2gr^2}{x} + C$ , oder weil  $\frac{dx}{dt}$  = der Geschwindigkeit  $v$  ist,  $v^2 = \frac{2gr^2}{x} + C$ . Ist  $c$  die Anfangs-Geschwindigkeit in der Entfernung  $r$  vom Mittelpunct, so ist  $c^2 = 2gr + C$  also  $v^2 - c^2 = \frac{2gr^2}{x} - 2gr$ . Für  $x = \infty$  folgt also  $v^2 = c^2 - 2gr$ , mithin bleibt  $v$  immer positiv, wenn  $c^2 > 2gr$  oder die Geschwindigkeitshöhe  $\frac{c^2}{2g}$  grösser als der Erdradius ist. Hieraus berechnet sich mit  $r = 6,370.286$  Meter und  $g = 9.81^m$ ,  $c =$  oder grösser als 11,177 Meter. Für den Mond ist  $r = 1,738.780$  Meter,  $g = 1.82$  Meter, also  $c = 2500$  Meter. Es ist also nicht unmöglich, dass Massen aus Mondvulkanen auf die Erde fallen.

diese durchbricht, im Innern seine überschüssige lebendige Kraft abgibt, und nun wieder als flüssiges d. h. als minder heftig bewegtes Molekül festgehalten wird. Je mehr Moleküle schon als Gas in dem Raum herumfliegen, desto mehr werden auch wieder gelegentlich in die Flüssigkeit zurückfliegen, und so stellt sich nach der *Krönig'schen* Hypothese der sogenannte Sättigungszustand eines Raumes als ein bewegliches Gleichgewicht dar, darauf beruhend, dass in jeder Secunde eben so viele Millionen Moleküle in den Raum hinausgeschleudert werden, als wieder aus dem Raum in die Flüssigkeit zurückfliegen.

Die bereits vorhandenen Gase (Luft u. dgl.) können durch ihre Stösse nur die Anzahl der pr. Sec. aus der Flüssigkeit hinausgeworfenen Moleküle, also die Geschwindigkeit der Verdampfung vermindern, keineswegs aber an dem Endresultat etwas verändern. Das Vacuum nimmt nicht mehr und nicht weniger Wasserdampf auf, als ein gleich grosser Raum der mit beliebig vielen, beliebig hochgespannten Gasen erfüllt ist, wenn nur der Wasserdampf keine chemische Verbindung mit ihnen eingeht, und die resultirende Expansivkraft aller Gase und Dämpfe, die in dem abgeschlossenen Raum vorhanden sind, ist die Summe aller einzelnen Expansivkräfte, welche aus der Vertheilung eines jeden einzelnen vorhandenen Gases auf den ganzen Raum entspringen. (*Dalton's* Gesetz.)

## 21. Absorption der Gase in Flüssigkeiten.

Aus der eben entwickelten Hypothese folgt nicht minder klar, dass auch im Innern der Flüssigkeiten alle jene Gase enthalten sein müssen, welche ober der Flüssigkeit vorkommen, jedoch nicht als Gas, sondern als Flüssigkeit, weil sie bei Durchbrechung der Oberfläche und Durchdringung der in langsamerer Molekularbewegung befindlichen Flüssigkeit denjenigen Theil an Bewegungsarbeit verlieren und an die Flüssigkeit abgeben, der den Gaszustand bedingte. Der Sauerstoff und Stickstoff der Luft, die Kohlensäure u. s. w. werden also alle als Flüssigkeiten, nicht als Gase, von den mit ihnen in Berührung stehenden Flüssigkeiten absorbirt, und zwar desto mehr, je grösser die Anziehung der Flüssigkeitsmoleküle gegen die flüssig gewordenen Gasmoleküle ist, also je grösser hiedurch der Schutz vor dem Wiederhinauswerfen der einmal hereingeflogenen Moleküle ist.

Die Absorption des von Flüssigkeit erfüllten Raumes ist also ebenso wie die Sättigung des Gasraums ein bewegliches Gleichgewicht, d. h. es ist nicht Ruhe, sondern es ist nur die Anzahl der pr. Sec. kommenden Theilchen der Anzahl der gehenden gleich, etwa wie in einem Ausstellungsgebäude. So ist in einer verschlossenen Selterwasserflasche Kohlensäure in bedeutender Menge als Flüssigkeit enthalten. Wird die Flasche entkorkt, so bewirken die in den äusseren kohlenensäure-freien Raum einseitig

hinausgeworfenen und nicht mehr zurück fliegenden Moleküle der Kohlensäure erstens das Schäumen, und zweitens, weil sie Bewegungsarbeit mitnehmen, die Abkühlung der zurückbleibenden Flüssigkeit.

## 22. Das Kochen.

Das Kochen einer Flüssigkeit findet dann statt, wenn die in der Flüssigkeit angesammelte Bewegungsarbeit im Stande ist, sogar auch die am Boden des Gefässes befindlichen Moleküle gelegentlich so heftig anzuregen, dass sie zunächst in Gemeinschaft mit mehreren Gleicherregten eine Dampfblase, d. h. einen ringsum von Flüssigkeit begrenzten Dampfraum bilden, und dann vermöge des Seitendrucks, welchen die Flüssigkeit auf die Blase äussert, und der in ihrer unteren Hälfte grösser ist als in der oberen, vertikal aufsteigen, die darüber stehende Flüssigkeitsschicht durchdringen, die Flüssigkeitshaut durchbrechen und in den Raum hinausfliegen.

Begreiflich muss hierbei die innere Bewegungsarbeit, also die Temperatur der kochenden Flüssigkeit um so grösser sein, je stärker der zu überwältigende äussere Druck ist.

Ein gefahrloses Kochen findet nur dann statt, wenn die Zufälligkeiten, welche einzelne Theile früher als andere zur Dampfblasebildung veranlassen, begünstigt werden, das ist insbesondere der Fall, wenn die Flüssigkeitshaut vielfach gestört wird. Bei gewöhnlichem Wasser bewirken die in demselben aufgelösten Gase, nämlich der Stickstoff und Sauerstoff der atmosphärischen Luft durch ihr vollständiges Entweichen vor und während des Kochens, dass die Oberfläche nie zur Ruhe kommen kann. Die Dampfblasen entwickeln sich daher bald dort bald da, und erhalten auch ihrerseits die Oberfläche der Flüssigkeit in so heftiger Bewegung, dass sich niemals eine grössere Parthie von Theilchen unter vollkommen gleichen Verhältnissen befinden kann, also auch keine Gefahr bringenden, sondern höchstens einzelne heftigere Stösse eintreten. Ist hingegen das Wasser vollkommen luftfrei, und die Oberfläche vollkommen ruhig, oder höchstens in einem leichten Wellenschlag begriffen, durch den die Attraction der Moleküle in der Flüssigkeitshaut nicht wesentlich beeinträchtigt wird, dann ist die Gefahr einer Explosion vorhanden, so wie plötzlich der Druck ober der Flüssigkeit abnimmt, z. B. wenn bei einem Dampfkessel das Sicherheitsventil geöffnet wird. Es kann dann nämlich die Dampfentwicklung nicht an irgend einer Stelle früher beginnen als an der andern, sondern sie erfolgt erst, wenn der Ueberschuss der inneren Bewegungsarbeit in der Flüssigkeit in Vergleich zu jener, welche mit der inneren Bewegungsarbeit des Dampfes oben in Gleichgewicht steht, so gross geworden ist, dass jener Ueberschuss hinreicht, um ein bedeutendes zusammenhängendes Stück der Flüssigkeitshaut loszutrennen, worauf diese losgelöste Parthie von Molekülen mit so grosser Geschwindigkeit in den

Dampfraum stürzt, dass durch die allgemeine Erschütterung irgend ein schwächerer Punkt der Gefässwand nachgibt, und der Kessel berstet, obwohl die so plötzlich entwickelte Dampfmenge vielleicht noch nicht einmal so gross ist, als die durch das geöffnete Sicherheitsventil abgeflossene Dampfmenge.

Meines Erachtens ist dies der Hauptgrund der oft so räthselhaften Kesselexplosionen, und können dieselben also nur durch solche Mittel vermieden werden, welche die localisirte Dampfbildung begünstigen, also durch im Wasser vorhandene Luft, durch Spitzen, durch künstliche Bewegung der Oberfläche.

### 23. Verdampfungswärme.

Die latente Wärme, welcher *Clausius* den Namen Verdampfungswärme beilegt, besteht in der inneren Bewegungsarbeit, welche die verdunstende oder verdampfende Flüssigkeit an die in die Gasform übertretenden Moleküle abgibt, und welche innere Arbeit durch eine äussere Wärmequelle beständig ersetzt werden muss, wenn die Flüssigkeit durch die Verdampfung nicht an Temperatur verlieren soll.

Diese Verdampfungswärme wird verbraucht:

- 1) Zur Verschiebungsarbeit beim Lossreißen von den Nachbarmolekülen.
- 2) Zur Ertheilung grösserer molekularer Bewegungsarbeit, besonders jenes Antheils, der auf die fortschreitende Bewegung entfällt.
- 3) Zur Verrichtung von äusserer Arbeit, nämlich zur Ueberwindung des äusseren Drucks durch einen der Volumsvergrösserung entsprechenden Weg.

Das Verdampfen ist also in allgemeinsten Auffassung analog dem Ingangsetzen eines Trains, bei welchem man ebenfalls innere Arbeit (Verschiebungs- oder Deformirungs- und Bewegungsarbeit), welche in dem Massensystem angehäuft, und zum späteren Verbrauch aufbewahrt wird, und eigentlich äussere Arbeit benöthigt, welche nicht in der bewegten und deformirten Masse des Zuges vorhanden, sondern zur Ueberwindung aller Reibungswiderstände (respectively zur Erzeugung von Wärme) verbraucht worden ist.

Da die auf äussere Arbeit verbrauchte Wärmemenge nicht als im Dampf enthalten angesehen werden kann, so versteht *Zeuner* unter innerer latenter Wärme diejenige Wärmemenge, welche in einer Gewichtseinheit Dampf verglichen mit einer Gewichtseinheit Wasser von gleicher Temperatur enthalten ist, und welche um die auf äussere Arbeit verbrauchte Wärme kleiner ist, als die ganze Verdampfungswärme. Er gibt hierfür die empirische Formel:

$$q = 575 - 0.788 t$$

Sie ist aus doppeltem Grund noch ziemlich unsicher, indem weder die ganze Verdampfungswärme, noch die auf äussere Arbeit verbrauchte Wärme mit hinreichender Verlässlichkeit bekannt sind, weil die betreffenden Versuche eine kaum zu bewältigende Schwierigkeit bieten, nämlich die grosse Complication der Erscheinung durch die Attraction der Gefässwände auf ein seinem Condensationspunct nahe stehendes Gas.

Wird der verdampfenden Flüssigkeit keine Wärme von Aussen zugeführt, so muss die ganze Verdampfungswärme von der Flüssigkeit selbst abgegeben werden, sie wird also sehr abgekühlt und kann durch erzwungenes rasches Verdampfen sogar fest werden, wie z. B. Wasser unter der Luftpumpe, welches bei rascher Luftverdünnung unter heftigem Kochen gefriert, oder flüssige Kohlensäure, welche man aus dem Compressionsapparat in atmosphärische Luft ausströmen lässt. Der ausströmende Theil wird gasförmig, der zurückbleibende bildet ein Eis.

#### **24. Die feste Aggregatform und das Schmelzen.**

Nimmt die innere Bewegungsarbeit noch weiter ab als im flüssigen Zustand, und gewinnt dadurch die Attraction der nächststehenden Moleküle die Oberhand über die Molekularbewegung, welche den gasförmigen Zustand herbeizuführen sucht und über die allgemeine Anziehung, deren maassgebender Einfluss den flüssigen Zustand characterisirt, so wird der Körper fest.

Bei vollkommener Ruhe kann man luftfreies im Vacuum eingeschlossenes Wasser auf  $10^{\circ}$  unter Null abkühlen. Bei einem kleinen Stoss bilden sich aber dann eine Menge einzelner Anziehungsmittelpuncte, es vereinigen sich Gruppen von Molekülen zu Elementarkrystallen, welche aber die verschiedensten Lagen haben, zwischen sich wegen ihrer eckigen Formen grosse Räume lassen und auch vielfach noch flüssiges Wasser eingeschlossen enthalten, das aber durch die Eisbildung sogleich auf  $0^{\circ}$  erwärmt wird, indem bei dem Aneinandertreten der Moleküle zu Krystallen Verschiebungsarbeit abgegeben und in Bewegungsarbeit verwandelt und von der Flüssigkeit aufgenommen wird.

Bei fortwährender Wärmeentziehung sinkt die Temperatur nicht unter Null, so lange noch ein Tropfen des flüssigen Wassers vorhanden ist, weil eben jeder Wassertropfen bei seiner Krystallbildung erstens Verschiebungsarbeit und zweitens einen Theil seiner Bewegungsarbeit abgibt, welche beide Arbeitsmengen durch den äusseren kalten Körper (die Kältemischung) aufgenommen werden müssen. Umgekehrt braucht man 79 Calorien, um ein Pfund Eis von  $0^{\circ}$  in Wasser von  $0^{\circ}$  zu verwandeln, weil hierbei Verschiebungsarbeit, nämlich Zertheilung der Krystalle in ihre Moleküle verrichtet werden muss.

Das Schmelzen des Eises ist also zu vergleichen mit dem Holzschnei-

den; das für das Holzschneiden ausgegebene Geld ist nur in dem Sinn in dem verkleinerten Holz gebunden oder latent enthalten, als ich vielleicht Jemanden finde, der mir bei Abkauf des Holzes auch den Kleinmacherlohn bezahlt.

Ebenso sind die beim Schmelzen des Eises benötigten 79 Calorien nicht als Wärme (d. i. als Bewegungsarbeit) im Wasser gebunden, sondern sie sind, zwar nicht ausschliesslich, aber vorherrschend, in Verschiebungsarbeit umgesetzt worden.

## 25. Molekularbewegungen fester Körper.

Ein fester Körper ist also ein Aggregat von einzelnen, vielleicht sehr verschieden grossen Krystallen, welche sich in mehr oder weniger regelmässiger oder in ganz unregelmässiger Stellung gegen einander befinden. In letzterem Falle erscheint der Körper als Ganzes nicht in der regelmässigen Form eines Krystalls.

Von den Molekularbewegungen eines festen Körpers kann man sich eine sinnliche Vorstellung machen, wenn man sich einen Glockenthurm denkt, in dem beim Läuten einer mächtigen Glocke folgende Bewegungen vorkommen: 1) vibriert der ganze Thurm sammt dem Glockenstuhl, 2) schwingt die Glocke gegen den relativ fest stehenden Glockenstuhl, 3) schwingen die einzelnen Moleküle der Glocke um ihre Gleichgewichtslage in derselben. Ebenso werden die einzelnen Elementar-Krystalle des Körpers folgende Bewegungen besitzen:

- 1) Können sie als Ganzes Oscillationen um ihre normale Lage machen, und nebstbei irgend wie schnell oder langsam rotiren;
- 2) können die Moleküle, aus denen die Krystalle bestehen, um ihre Gleichgewichtslage oscilliren und nebstbei rotiren, und
- 3) können die Atome, aus denen die Moleküle bestehen, abermals um ihre Gleichgewichtslage oscilliren und nebstbei rotiren.

Unter der Voraussetzung, dass die Atome bei weitem mehr Oscillationen machen als die Moleküle, und diese wieder bei weitem mehr als die Elementarkrystalle, ist es erlaubt, die Bewegungsarbeiten, welche allen diesen Bewegungen entsprechen, einfach zu addiren und zu sagen, dass die innere Bewegungsarbeit eines Körpers gleich sei der Summe der Bewegungsarbeiten der Elementarkrystalle, Moleküle und Atome.

In wiefern diese Bewegungen mit der Temperatur zusammenhängen, kann man noch nicht sagen. Ich vermuthe, dass die absolute Temperatur proportional ist der Bewegungsarbeit der in der Volumseinheit enthaltenen Elementarkrystalle als Ganzes, und dass diese ebenso gegen die dichtere vom Innern einseitig angezogenen Haut der festen Körper stossen, wie die Gasmoleküle gegen die Gefässwand. Mindestens lassen sich die

Gesetze der Deformirung innerhalb der Elasticitätsgrenze aus dieser Anschauung begreifen\*).

Die Elementarkrystalle können eine Aenderung ihrer Grösse und Lage erleiden, z. B. Lokomotivaxen werden durch die beständigen Stösse feinkörnig und brüchig, indem sich die ursprünglich grösseren schnigen Molekülgruppierungen in lauter kleine körnige Gruppen umändern.

Eine tiefere Einsicht in das Wesen des Aggregatzustandes ist uns vorläufig verschlossen. Das möglichst vollständige Enthüllen dieses Naturgeheimnisses ist eine der dringendsten Aufgaben der Naturwissenschaft.

## 26. Das chemische Gleichgewicht.

Die Chemie ist die Mechanik der Atome, oder vielmehr sie wird diess seiner Zeit werden, denn sie handelt von dem Gleichgewicht der Kräfte jener Atome, welche ein Molekül bilden. Die chemische Zerlegung eines Körpers, z. B. des Quecksilberoxyds durch blosses Erhitzen, beruht darauf, dass die Schwingungen der Atome in den Molekülen so heftig werden, dass eines oder mehrere der Atome nicht mehr in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren, wodurch das Molekül ganz oder theilweise in seine Atome aufgelöst wird.

Das chemische Gleichgewicht, nämlich das Gleichgewicht der Atome im Molekül, begründet die chemischen Eigenschaften der Substanz, und beruht ebenso sehr auf der bis jetzt noch vollständig unbekanntem Gruppierungsweise der Atome, wie auf der Natur und Zahl der Atome des Moleküls. Wie wichtig die Gruppierungsweise ist, zeigen die Mineralien, welche isomorphe Bestandtheile enthalten, z. B. der bekannte in dünnen

\*) Es sei  $E$  (Elasticitäts-Modul) die Kraft, mit welcher die äusserste Schicht einer parallelepipedischen Stange vom Innern angezogen wird, und zwar bezogen auf die Flächeneinheit,  $P$  der äussere Zug oder Druck pr. Flächeneinheit des Querschnitts,  $e$  die ursprüngliche Länge der Stange, wenn  $P = 0$  ist,  $\lambda e$  die Ausdehnung durch den Zug  $P$  oder die Zusammenziehung durch den Druck  $P$ , so ist, bei unveränderter Temperatur nach dem *Mariotte'schen* Gesetz für Gase:

$$\frac{E + P}{E} = \frac{e}{e + \lambda e} = \frac{1}{1 + \lambda} = 1 + \lambda; \quad E + P = E + \lambda E, \quad \text{also } P = \lambda E \text{ oder}$$

$\lambda = \frac{P}{E}$ , d. h. die verhältnissmässige Ausdehnung ist gleich dem Verhältniss der äussern und innern Kraft.

Ist ferner  $\delta$  der Längenausdehnungscoefficient für die Erwärmung um  $1^\circ$ , so ist nach dem *Gay-Lussac'schen* Gesetz für Gase unter constantem Druck  $E$  das Volumsverhältniss nach und vor der Erwärmung um  $t^\circ$  gegeben durch  $\frac{e + \delta t e}{e} = 1 + \delta t$ . Stellt man dann ohne Temperaturänderung das frühere Volumen her, so steigt der Druck auf  $E + P$  im Verhältniss  $\frac{E + P}{E} = 1 + \delta t$ , also ist die Ausdehnungskraft fester Körper durch Wärme, oder die Zusammenziehungskraft durch Abkühlung  $P = E \delta t$  per Flächeneinheit.

Blättchen spaltbare Glimmer, in welchem sich Moleküle, welche Eisenoxyd enthalten, in ganz willkürlicher Anzahl mit solchen, welche statt des Eisenoxyds die aequivalente Menge Thonerde enthalten, zu einem einzigen Krystall gruppieren. Im Ankerit und Chrysolith gruppirt sich eine unbestimmte Anzahl von Molekülen, welche Talk- oder Kalkerde enthalten, mit solchen, welche statt derselben die aequivalente Menge Eisenoxydul enthalten, ebenfalls zu einem einzigen Krystall. Man sagt daher, Eisenoxyd sei mit Thonerde, und Eisenoxydul mit Kalk und Talkerde isomorph.

Bestehen hingegen zwei Moleküle A und B aus genau denselben Atomen, ist aber die Gruppierungsweise der Atome in A und B eine andere, so sind diese Moleküle mindestens dimorph, nämlich in zwei verschiedenen Krystallsystemen auftretend, oder aber sie sind noch viel wesentlicher verschieden, — isomerisch, wie z. B. Stärke, wasserfreier Rohrzucker, Gummi und Holzfaser, welche aus derselben Anzahl von Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatomen bestehen, oder die vielerlei verschiedenen Kohlenwasserstoffe, welche alle ein Atom Kohlenstoff (6 Gewichtstheile) auf ein Atom (1 Gewichtstheil) Wasserstoff enthalten, also wohl nur verschiedene anders gruppirte Multipla derselben Elemente sind.

## 27. Das Weltall und das Atom.

Ueberblickt man den ganzen Bau eines festen Körpers, so zeigt er eine grosse schon oft hervorgehobene Analogie mit dem ganzen Weltall als einheitliches Ding gedacht. Die Elementarkrystalle des Weltalls sind die verschiedenen Milchstrassensysteme. Jenes System, zu welchem unser Sonnensystem gehört, stellt sich uns dar wie ein linsenförmiger Körper. Der Schwerpunct der Linse liegt in der Plejadengruppe, und unser Sonnensystem ist ein näher dem Schwerpunct als dem Linsenrand liegendes Molekül dieses Elementarkrystalls. Wir sehen daher nach der Richtung des Linsenrandes (nämlich in der Milchstrasse) auffallend mehr Sterne als darauf senkrecht.

Die Atome des Moleküls sind die Planeten sammt ihren Trabanten. Die Kometen und Aeroliten erfüllen den Raum zwischen den Atomen des Sonnensystems, repräsentiren also den Aether.

Alle diese Massen ziehen sich nur an, aber da sie überdies Bewegung nach anderer Richtung besitzen, so gehört ein Zusammenstoss zu den Seltenheiten, und kommt nur bei sehr grosser Massenverschiedenheit häufiger vor (Aerolithenfälle); von grösseren Massen ist noch kein Beispiel eines Zusammenpralls bekannt. Die Atome unseres Sonnensystems repräsentiren das chemische Gleichgewicht, sie machen einfache elliptische Oscillationen, wie ein Pendel, welches in seiner äussersten Stellung einen seitlichen Stoss erhält. Die Oscillationszahl eines Nebenkörpers (Mondes) ist immer

grösser als die Oscillationszahl des Hauptkörpers (Planeten), und jeder Körper hat ausser seiner oscillatorischen auch eine rotirende Bewegung.

An diese Organisation im Grossen schliesst sich sodann die im Kleinen in Elementarkrystalle chemische Moleküle und Atome an.

Ist es erlaubt, der Phantasie die Zügel schiessen zu lassen, so kann man sich, ohne in einen Widerspruch zu gerathen, vorstellen, dass auch alle Atome selbst wieder krystallförmige Aggregate sind, von kugelförmigen materiellen Puncten, welche unter sich vollkommen gleichartig sind, jedoch durch die verschiedene Anzahl und durch die verschiedene Gruppierungsweise die 62 verschiedenen Atome liefern, welche wir nicht zu zerlegen im Stande sind.

Das Atomgewicht ist dann die Anzahl der materiellen Puncte im Atom, und die Masse eines Körpers ist die Anzahl materieller Puncte im ganzen Körper.

Dies ist sogar die einzige verständliche Definition des in der Mechanik so ausserordentlich wichtigen Begriffs Masse, wenigstens ist für mein Fassungsvermögen die Definition: Masse ist die Menge des Trägen, oder die Menge der Materie oder die Summe der materiellen Theilchen vollkommen unverständlich, wenn darunter nicht „Anzahl“ gleichartiger Puncte verstanden wird, und die ebenfalls gebrauchte Definition „Anzahl der Atome“ ist falsch.

Ist dem aber so, sind alle Atome gewissermaassen polymerische Gebilde aus ein und demselben Grundstoff, dann kann auch noch „aus Häckerling Gold“ gemacht werden, sobald der Chemie die Zerlegung der Atome gelingen wird. Es wäre dies nicht wunderbarer, als die Verfertigung eines Diamanten aus Kohle, die, wenn auch nur in kleinem Maassstab, mittelst des electrischen Stroms wirklich zu Stande gebracht worden ist.

Von diesem Gesichtspunct hat die Frage ob der Dualismus zwischen sich anziehenden materiellen Puncten und sich abstossenden Aetherpuncten wirklich in der Natur besteht, oder ob die Aetherpuncte nur die nicht zu Atomen gruppirten in relativ sehr grosser Entfernung stehenden materiellen Puncte sind, ein neues erhöhtes Interesse. Fällt der Dualismus, so gibt es dann nur einen Stoff.

## Mathematischer Anhang.

Sind  $V_1$   $V_2$  die Volumina eines Gases bei gleicher Spannung aber verschiedener absoluten Temperatur:

$$T_1 = \frac{1}{\alpha} + t_1$$

$$T_2 = \frac{1}{\alpha} + t_2$$

wo  $\alpha$  der Ausdehnungscoefficient der Gase ist;

$$\alpha = 0.003666 = \frac{1}{272.77} \text{ *)},$$

so ist nach dem *Gay-Lussac'schen* Gesetz:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \dots \dots (1)$$

Ist  $t_1 = 0^\circ$  und  $t_2 = 100^\circ$ , so ist  $\frac{V_2}{V_1} = 1 + 100 \alpha$  oder wegen

$$\alpha = \frac{11}{3000}, \quad 100\alpha = \frac{11}{30} = \frac{110}{300}, \quad \frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{110}{300} = \frac{410}{300}.$$

Aus diesem Grunde habe ich in der „Theorie der Dampfmaschinen“ für den wissenschaftlichen Gebrauch eine neue Thermometertheilung vorgeschlagen, nämlich die Bezeichnung des Eispunktes mit 300 und des Siedepunctes mit 410.

Dieses 110theilige natürliche Thermometer gewährt folgende Vortheile:

- 1) Verhalten sich die Volumina wie die natürlichen Temperaturen.
- 2) Ist der Eispunkt mit einer runden Zahl (300) bezeichnet, was beim Fahrenheit-Thermometer nicht der Fall ist, und noch weniger bei der Rechnung mit absoluten Temperaturen des 100theiligen Thermometers, wo dem Eispunkt die Zahl 272.77 zukömmt.

---

\*) Nach *Regnault* ist für atmosphärische Luft  $\alpha = 0.003670$ , Wasserstoffgas 3661, Stickstoffgas 3676, Kohlenoxydgas 3669, Kohlensäuregas 3710, Mittel 0.003677. Den permanenten Gasen kommen, wie man sieht, etwas wenigere Werthe zu. Das Mittel aus atmosphärischer Luft und Wasserstoff gibt den oben angenommenen Werth  $0.003666 = \frac{11}{3000}$ .

3) Ist der Ausdehnungscoefficient für einen Grad des natürlichen (110-theiligen) Thermometers eine runde Zahl, nämlich  $\frac{1}{300}$ .

4) Ist die Reduction vom Celsius-Thermometer auf das natürliche Thermometer äusserst einfach, z. B.  $62^{\circ}\text{C} = 62 + 6 \cdot 2 = 68^{\circ}\cdot 2$  des natürlichen Thermometers, folglich die natürliche Temperatur =  $368^{\circ}\cdot 2$ .

Sind ferner  $V_1, V_2$  die Volumina eines Gases bei gleicher Temperatur, aber verschiedener Spannung  $p_1, p_2$  per Flächeneinheit, so ist nach dem *Mariotte'schen* Gesetz:  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \dots \dots (2)$

Aus (1) und (2) ergibt sich das combinirte *Gay-Lussac-Mariotte'sche* Gesetz:  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1}$  oder  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \dots \dots (3)$

Ist  $G$  das Gewicht des Gases in den 2 verschiedenen Zuständen und beziehungsweise  $v_1, v_2$  das Volumen der Gewichtseinheit oder das specifische Volumen, so wie  $\sigma_1, \sigma_2$  das Gewicht der Volumseinheit, oder das specifische Gewicht, so ist

$$V_1 = G v_1, V_2 = G v_2$$

und

$$G = V_1 \sigma_1, G = V_2 \sigma_2,$$

also

$$\sigma_1 = \frac{1}{v_1}, \sigma_2 = \frac{1}{v_2} \dots \dots (4)$$

und nach (3)

$$\frac{p_1 G v_1}{T_1} = \frac{p_2 G v_2}{T_2} \text{ oder } \frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}.$$

Der Quotient  $\frac{p v}{T}$  ist unabhängig vom Gewichte  $G$ , und unabhängig von Spannung, Volumen und Temperatur, also eine reine Constante, die nur von der chemischen Beschaffenheit des Gases abhängt.

Bezeichnet man diese Constante des *Gay-Lussac-Mariotte'schen* Gesetzes mit  $C$ , so ist

$$\frac{p v}{T} = C \dots \dots (5)$$

Die mechanische Bedeutung der Constanten  $C$  ergibt sich auf folgende Weise\*):

In einem Cylinder vom Querschnitt  $a$  nimmt eine Gewichtseinheit Gas von der Spannung  $p$  und der absoluten Temperatur  $T$  das Volumen  $v$ ,

\*) Aus „Mechanik der Gase“ XXXIX. Band des Jahrgangs 1860 der Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Classe der kais. österr. Akademie der Wissenschaften, vom Verfasser.

also die Höhe  $\frac{v}{a}$  ein, und trägt eine Kolbenbelastung =  $ap$ . Wird die Temperatur bei constanter Belastung  $ap$  um  $1^\circ$  erhöht, auf  $T^1 = T + 1$ , so wird das Volumen  $v^1 = v \left( \frac{T + 1}{T} \right) = v + \frac{v}{T}$ , also die Höhe =  $\frac{v^1}{a} = \frac{v}{a} + \frac{v}{aT}$ .

Der Kolben ist also gehoben worden um  $\frac{v^1}{a} - \frac{v}{a} = \frac{v}{aT}$ , folglich beträgt die verrichtete mechanische Arbeit  $A = ap \cdot \frac{v}{aT} = \frac{p v}{T} = C$ .

Die Constante  $C$  des *G.-L.-M.* Gesetzes ist also gleich der äusseren Arbeit, welche die Gewichtseinheit eines Gases verrichtet, wenn dieses unter einem beliebigen aber constantem Druck  $p$  pr. Flächeneinheit um  $1^\circ$  erwärmt wird.

Bei dieser Erwärmung unter constantem Druck bedarf man für eine Gewichtseinheit Gas der durch die specifische Wärme ausgedrückten Anzahl Calorien. Bei constantem Volumen braucht man hingegen nur die kleinere Wärmemenge, welche zur Erwärmung ohne Arbeitsverrichtung erforderlich ist. Bezeichnet man die letztere oder rationelle Wärmecapacität nach *Redtenbacher* mit  $\mathfrak{C}$ , die erstere, oder Wärmecapacität bei constantem Druck mit  $\mathfrak{C}^1$ , so ist  $\mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C}$  die zur äussern Arbeit pr. Gewichtseinheit verbrauchte Wärmemenge, also wenn  $k$  das mechanische Wärmeäquivalent ist,

$$(6) \dots k (\mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C}) = A = C.$$

Der numerische Werth der Constanten  $C$  kann bei permanenten Gasen aus dem Zustand bei  $0^\circ$  und bei einer Atmosphäre Spannung bestimmt werden. Ist nämlich die atmosphärische Spannung  $\mathfrak{A} = 10334$  Kilogr. per Quadratmeter,  $T_0 = \frac{1}{\alpha} = 272.77$  die absolute Temperatur, und  $\sigma_0$  das zugehörige Gewicht von einem Cubik-Meter, also das Volumen von einem Kilogramm:

$$v_0 = \frac{1}{\sigma_0} \text{ so ist auch}$$

$$(7) \dots C = \frac{p v}{T} = \frac{\mathfrak{A} v_0}{T_0} = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\sigma_0}$$

womit aus (5)

$$(8) \dots \frac{p v}{T} = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\sigma_0}$$

und aus (6)

$$k (\mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C}) = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\sigma_0}$$

folglich

$$k = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\sigma_0 (\mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C})} \dots (9)$$

Diess ist die von *Person* abgeleitete Gleichung. Allgemeiner aber ist aus (6), wenn  $C = \frac{P \cdot v}{T} = \frac{P}{\sigma T}$  eingesetzt wird:

$$k = \frac{P}{(\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) \sigma T}$$

auch gültig für ein coercibles Gas, welches bei  $0^\circ$  und einer Atmosphäre Druck nicht bestehen kann.

Das Gewicht  $\sigma$  von 1 Cubik-Meter ist gleich dem Gewicht  $\lambda$  von 1 Cub.-Meter Luft von gleicher Temperatur und Spannung, multiplicirt mit der relativen Dichte des Gases für Luft = 1. Nennt man diese relative Dichte  $\delta$ , so ist  $\sigma = \lambda \delta$ , also

$$k = \frac{P}{(\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) \lambda \delta T}$$

Für atmosphärische Luft ist aber

$$\frac{P}{\lambda T} = \frac{\mathfrak{A}}{\lambda_0 T_0} = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\lambda_0},$$

folglich allgemein für jedes Gas

$$k = \frac{1}{(\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) \delta} \cdot \frac{\mathfrak{A} \alpha}{\lambda_0} \cdot \dots \dots (10)$$

wo  $\lambda_0 = 1.2932$  Kilogramm das Gewicht von einem Cubik-Meter Luft von  $0^\circ$  C. und einer Atmosphäre Spannung ( $\mathfrak{A} = 10334$  Kilogr. per Quadrat-Meter) bezeichnet. Führt man in dieser Gleichung statt der relativen Dichte  $\delta$  das Moleküllgewicht  $q$  ein\*), wozu bekanntlich eine Gleichung von der Form

$$\delta = n q \dots \dots (11)$$

dient, so folgt  $k = \frac{1}{(\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) q} \cdot \frac{\mathfrak{A} \alpha}{n \lambda_0} \dots \dots (12)$

folglich die für die äussere Arbeit per ein Molekühlvolumen (vom Gewicht  $q$  Kilogramm) und per  $1^\circ$  erforderliche Wärmemenge:

$$q (\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) = \frac{\mathfrak{A} \alpha}{k n \lambda_0} \dots \dots (13).$$

Nach den Versuchen ist

$$\frac{\mathfrak{A} \alpha}{\lambda_0} = \frac{10334.0 \cdot 0.003666}{1.2932} = 29.296$$

$$n = 0.034635 \text{ (nach Fresenius),}$$

$$k = 423.5 \text{ nach Joule,}$$

hiermit folgt:  $q (\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) = 1.9972.$

Man darf wohl vermuthen, dass hierdurch ein einfaches Naturgesetz ausgedrückt ist:

$$q (\mathcal{C}^1 - \mathcal{C}) = 2 \dots \dots (14)$$

d. h. die für die äussere Arbeit per ein Molekühlvolumen und per  $1^\circ$  verbrauchte Wärmemenge beträgt 2 Calorien, gleich-

\*) Aus oben citirtem „Beitrag zur Mechanik der Gase.“

gültig wie gross die Spannung und Temperatur des Gases gewesen sein mag. Dieses von mir gefundene empirische Gesetz habe ich den Satz über die äussere Arbeit genannt; er bildet das Gegenstück zu dem Satz, dass die Verschiebungsarbeit = Null sei.

Setzt man die angenommene Gleichung (14) in (6), (7) und (13) ein, so folgen die Gleichungen:

$$C = \frac{2}{q} k \dots \dots (15)$$

$$\frac{p v}{T} = \frac{2}{q} k \dots \dots (16)$$

$$k = \frac{A \alpha}{2 n \lambda_0} = \frac{14 \cdot 648}{n} \dots \dots (17)$$

Die Gleichung (16) drückt das *Gay-Lussac-Mariotte'sche* Gesetz aus, wenn unter  $q$  das Moleküllgewicht verstanden wird, welches dem nach der Volumtheorie für alle Gase constanten Molekühlvolumen von  $H_2$ ,  $HCl$ , oder  $NH_3$  entspricht, wonach z. B. für Wasserdampf =  $H_2 O_2$  das Moleküllgewicht  $q = 18$  ( $H = 1$ ,  $O = 8$ ) zu setzen ist.

Die Gleichung (17) gibt den Werth von  $k$  aus dem Werth von  $n$ , der sich am genauesten aus der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft ergibt. Besteht nämlich ein Volumen Luft aus  $x$  Vol. Sauerstoff und  $1 - x$  Vol. Stickstoff, und ist die Dichte des Sauerstoffgases =  $\delta_1$ , jene des Stickstoffs =  $\delta_2$ , so ist die als Einheit angenommene Dichte der Luft:

$$x \delta_1 + (1 - x) \delta_2 = 1 \dots \dots (18)$$

$$\text{Nun ist } \left. \begin{array}{l} \delta_1 = n q_1 \\ \delta_2 = n q_2 \end{array} \right\} \dots \dots (19)$$

worin für Sauerstoffgas =  $O_4$  ( $O = 8$ ),  $q_1 = 32$ , und für Stickstoffgas =  $N_2$  ( $N = 14$ ),  $q_2 = 28$  einzusetzen ist. Hiermit folgt aus (18):

$$32 n x + 28 n (1 - x) = 1$$

$$4 n x + 28 n = 1$$

$$n = \frac{1}{4(x + 7)}$$

$$\frac{1}{n} = 4(x + 7) \dots \dots (20)$$

Nach *Bunsen* ist der Sauerstoffgehalt der Luft = 20·93%, nach *Regnault* und *Reiset* 20·96 Volumsprocente, im Mittel 20·95, also  $x = 0\cdot2095$ , folglich

$$\frac{1}{n} = 4\cdot7\cdot2095 = 28\cdot838$$

$$n = 0\cdot034677 \dots \dots (21)$$

$$\text{wonach } \left. \begin{array}{l} \delta = 0\cdot034677 q \\ q = 28\cdot838 \delta \end{array} \right\} \dots \dots (22).$$

Da nach der Gleichung (20) ein grosser Fehler von  $x$  nur einen geringen Einfluss auf den Werth von  $n$  hat, so wird letztere Zahl auf diese

Weise genauer als auf jede andere Art bestimmt, da der mögliche Fehler in  $x$  sehr klein ist.

Zur Controlle des Werthes von  $n$  folgen hier die nach (22) berechneten und die beobachteten Dichten der wichtigsten Gase, sammt dem nicht absolut, sondern in Procenten angegebenen Fehler, der der Einzelbeobachtung zugeschrieben werden muss, nachdem sein durchschnittlicher Werth nur  $\pm \frac{1}{2}$  Procent beträgt, folglich die Richtigkeit des Gesetzes  $\delta = n q$  für alle permanenten und coerciblen Gase ausser Zweifel gestellt ist.

**Tabelle der Gasdichten  $\delta$ .**

Beobachter der Dichte.	Name der G a s a r t.	Formel nach der Volum- theorie *).	Mole- kül- gewicht.	Berech- nete Dichte $\delta$ .	Beobach- tete Dichte $\delta$ .	Fehler der Beobach- tung.	
						+	-
						Procente.	
Regnault . .	Wasserstoff . . . . .	H <sub>2</sub>	2	0·0693	0·0692		0·2
„	Sauerstoff . . . . .	O <sub>4</sub>	32	1·1096	1·1056		0·4
„	Stickstoff . . . . .	N <sub>2</sub>	28	0·9710	0·9713	0·1	
„	Schwefel**)	S <sub>12</sub>	192	6·6580	6·6540		0·1
„	Chlor . . . . .	Cl <sub>2</sub>	71	2·4621	2·4400		0·9
„	Jod . . . . .	J <sub>2</sub>	254	8·8080	8·7160		1·0
Mitscherlich	Brom . . . . .	Br <sub>2</sub>	160	5·5483	5·5400		0·2
Regnault . .	Phosphor . . . . .	P <sub>4</sub>	124	4·3000	4·3260	0·6	
„	Arsen . . . . .	As <sub>4</sub>	300	10·4031	10·3700		0·3
Mitscherlich	Quecksilber . . . . .	Hg <sub>2</sub>	200	6·9354	7·0300	0·9	
Regnault . .	Wasserdampf . . . . .	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	18	0·6242	0·6220		0·4
Biot . . . .	Chlorwasserstoff . . . . .	H Cl	36·5	1·2657	1·2474		1·4
Gay-Lussac	Schwefelwasserstoff . . . . .	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	34	1·1790	1·1912	1·0	
Regnault . .	Cyanwasserstoff . . . . .	H Cy	27	0·9363	0·9479	1·3	
„	Stickoxydul . . . . .	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	44	1·5257	1·5270	0·1	
Bérard . . .	Stickoxyd . . . . .	N O <sub>2</sub>	30	1·0403	1·0386		0·2
Cruikshank .	Kohlenoxyd . . . . .	C <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	28	0·9710	0·9678		0·3
Regnault . .	Kohlensäure . . . . .	C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	44	1·5257	1·5290	0·2	
Berzelius . .	Schweflige Säure . . . . .	S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	64	2·2193	2·2470	1·2	
Davy . . . .	Ammoniak . . . . .	N H <sub>3</sub>	17	0·5895	0·5900	0·1	
Gay-Lussac	Schwefelkohlenstoff . . . . .	C <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	76	2·6354	2·6447	0·3	
Regnault . .	Methylen . . . . .	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	16	0·5548	0·5590	0·8	
„	Elayl . . . . .	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub>	28	0·9710	0·9670		0·4
„	Phosphorchlorür . . . . .	P Cl <sub>3</sub>	137·5	4·7681	4·7420		0·6
Summa						6·6	6·4

Durchschnittlicher Fehler der Beobachtung  $\pm 0·54$  %

\*) Eigentlich sollten alle diese Formeln noch verdoppelt werden, aber man zieht vor, die wenigen Ausnahmen, welche die Verdoppelung erheischen, mit einem Bruch zu schreiben: Ammoniumsulfhydrat =  $\frac{1}{2}$  (N H<sub>3</sub> S<sub>2</sub>), Chlorammonium =  $\frac{1}{2}$  (N H<sub>4</sub> Cl), Phosphorchlorid =  $\frac{1}{2}$  (P Cl<sub>3</sub>).

\*\*) Nach Deville hat das Schwefelgas bei 1040° eine geringere Dichte, welche der Formel S<sub>4</sub> entspricht.

Nach Formel (22) berechnet sich das Gewicht von einem Cubikmeter bei 0° und einer Atmosphäre:

$$\sigma_0 = \delta \lambda_0 = 1 \cdot 2932 \delta = 0 \cdot 044844 q, \sigma_0 = \frac{q}{22 \cdot 30}$$

folglich das Molekülvolumen irgend eines Gases, welches bei 0° und einer Atmosphäre Spannung bestehen kann:

$$(23) \dots \dots q v_0 = \frac{q}{\sigma_0} = 22 \cdot 30 \text{ Cub.-Meter,}$$

wenn das Molekülgewicht  $q$  als Kilogramm bedeutend angesehen wird. (Nach *Fresenius* wäre  $q v_0 = 22 \cdot 326$ ).

Mit dem gefundenen Werth von  $n$  folgt nun nach Gleichung (17) das mechanische Wärmeäquivalent:

$$(24) \dots \dots k = \frac{14 \cdot 648}{0 \cdot 034677} = 422 \cdot 4 \text{ km,}$$

statt des beobachteten Werthes 423·5.

Das *Gay-Lussac-Mariotte'sche* Gesetz lautet also nach (16)

$$\frac{p v}{T} = \frac{844 \cdot 8}{q} \dots \dots (25)$$

und speciell für Wasserdampf, wofür  $q = 18$ :

$$\left. \begin{aligned} \frac{p v}{T} &= 46 \cdot 93 \\ \sigma &= 0 \cdot 02130 \frac{p}{T} \end{aligned} \right\} \dots \dots (26)$$

während für atmosphärische Luft nach Gleichung (8)

$$\left. \begin{aligned} \frac{p v}{T} &= 29 \cdot 296 \\ \sigma &= 0 \cdot 03413 \frac{p}{T} \end{aligned} \right\} \dots \dots (27).$$

Schliesslich führe ich das *Dulong-Petit'sche* Gesetz für die Wärmecapacität  $\mathcal{C}^1$  unter constantem Druck in der von mir gefundenen Form an\*). Nennt man das Product aus dem Molekülgewicht  $q$  in die Wärmecapacität  $\mathcal{C}^1$  kurz die Molekülcapacität, so ist nach den vorliegenden Beobachtungen

$$q \mathcal{C}^1 = \frac{q}{\Sigma} \Sigma (n) \dots \dots (28),$$

d. h. die Molekülcapacität gleich  $\frac{q}{\Sigma}$  von einer Summe, welche sich durch Addition aller Zahlen  $n$  ergibt, die den einzelnen in der Verbindung vorkommenden Atomen entsprechen.

Die Charakteristik  $n$  eines jeden Atoms ist eine ganz unveränderliche, aber in jedem Aggregatzustand andere Zahl, welche der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen ist. Das Zeichen — bedeutet „unbekannt.“

\*) Jahrbuch der k. k. Montan-Lehranstalten, Bd. X. 1860. Prag 1861.

### Tabelle für die Charakteristik n.

A für feste, B für flüssige, C für gasförmige Verbindungen.

Element.	Zeichen.	Q	A	B	C	Element.	Zeichen.	Q	A	B	C
Aluminium . . . . .	Al	13·6	4	—	—	Mangan . . . . .	Mn	27·6	4	—	—
Antimon . . . . .	Sb	120·3	8	—	4	Molybdän . . . . .	Mo	46·0	4	—	—
Arsen . . . . .	As	75·0	8	16	4	Natrium . . . . .	Na	23·0	8	—	—
Baryum . . . . .	Ba	68·6	4	—	—	Nickel . . . . .	Ni	29·0	4	—	—
Blei . . . . .	Pb	103·0	4	—	—	Phosphor . . . . .	P	31·0	8	16	4
Bor . . . . .	B	11·0	4	—	—	Quecksilber . . . . .	Hg	100·0	4	—	—
Brom . . . . .	Br	80·0	7	—	6	Sauerstoff . . . . .	O	8·0	2	2·5*)	2
Calcium . . . . .	Ca	20·0	4	—	—	Scheel . . . . .	W	92·0	4	—	—
Chlor . . . . .	Cl	35·5	7	7	6	Schwefel . . . . .	S	16·0	3	—	2
Chrom . . . . .	Cr	62·2	4	—	—	Silber . . . . .	Ag	108·0	8	—	—
Eisen . . . . .	Fe	28·0	4	—	—	Silicium . . . . .	Si	14·5	4	—	2
Fluor . . . . .	Fl	19·0	7	—	6	Stickstoff . . . . .	N	14·0	8	—	4
Jod . . . . .	J	127·0	7	—	6	Strontium . . . . .	Sr	43·8	4	—	—
Kalium . . . . .	K	39·0	8	—	—	Titan . . . . .	Ti	25·0	4	8	2
Kobalt . . . . .	Co	30·0	4	—	—	Wasserstoff . . . . .	H	1·0	4	8	2
Kohlenstoff . . . . .	C	6·0	3	—	2	Wismuth . . . . .	Bi	104·0	4	—	—
Graphit-Kohlenst.	Cgr	33·0	4	—	—	Zink . . . . .	Zn	32·5	4	—	—
Kupfer . . . . .	Cu	31·7	4	—	—	Zinn . . . . .	Sn	58·0	4	8	2
Magnium . . . . .	Mg	12·0	4	—	—	Zircon . . . . .	Zr	22·4	4	—	—

Nur gültig für Verbindungen, nicht für einfache Stoffe.

\*) Der Bruch deutet darauf hin, dass O = 16 angenommen werden muss.

Es ist z. B. für schwefelsaures Natron = NaO, SO<sub>3</sub> das Molekulargewicht q = 71, die Charakteristik für ein Na . . . . . 8  
 ein S . . . . . 3  
 vier O à 2 . . . . . 8  
 Summa . . . . . 19

also  $q \mathcal{C}^1 = \frac{6}{7} \cdot 19$ , somit  $\mathcal{C}^1 = \frac{114}{77} = 0 \cdot 229$  (beobachtet 0·231). Die grössten vorkommenden Fehler betragen, mit nur zwei Ausnahmen (Musivgold und Chromoxyd), 5 bis 11 %. Der Durchschnittswerth des Fehlers ist etwa 3 %.

Für Wasser = H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> ist q = 18, und  $\Sigma(n) = 16 + 5 = 21$ , somit  $q \mathcal{C}^1 = \frac{6}{7} \cdot 21 = 18$  und  $\mathcal{C}^1 = 1$ .

Für Wasserdampf  $\Sigma(n) = 8$ , somit  $q \mathcal{C}^1 = \frac{6}{7} \cdot 8 = \frac{48}{7}$ ,  $\mathcal{C}^1 = \frac{48}{7 \cdot 18}$   
 $= \frac{6}{21} = 0 \cdot 381$ .

Nach *Regnault* ist für Wasserdampf  $\mathfrak{C}^1 = 0.475$ , also um 0.094 oder um 25 % des berechneten Werthes grösser, allein es deutet Alles darauf hin, dass dieser Beobachtungswerth wirklich noch um so viel zu gross ist; — früher hatte man gar  $\mathfrak{C}^1 = 0.847$  gefunden. Bei der grossen Zahl der meist von *Regnault* gemachten Bestimmungen der Wärmecapacität der Gase ist die Uebereinstimmung eine weit befriedigendere.

Wir finden also für Wasserdampf:

$$\mathfrak{C}^1 = 0.381 \dots (29)$$

und nach (14)

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C} &= \frac{2}{18} = 0.111, \text{ also} \\ \mathfrak{C} &= 0.270 \\ \frac{\mathfrak{C}^1}{\mathfrak{C}} &= 1.41 \end{aligned} \right\} \dots (30).$$

Dies sind die Zahlen, die ich meiner Theorie der Dampfmaschinen zu Grunde gelegt habe.

Berechnen wir endlich noch die Wärmecapacitäten der atmosphärischen Luft.

Die Luft besteht aus

$$\begin{array}{r} 20.95 \text{ Volumen Sauerstoff à } 1.1096 = 23.25 \text{ Gewichtstheilen} \\ 79.05 \text{ „ Stickstoff à } 0.9710 = 76.75 \text{ „} \\ \hline 100.00 \text{ Theile.} \end{array}$$

Der Sauerstoff hat die spezifische Wärme  $\frac{6}{7} \cdot \frac{2}{8} = \frac{3}{14}$ , der Stickstoff hat die spezifische Wärme  $\frac{6}{7} \cdot \frac{4}{14} = \frac{12}{49}$ .

Demnach ist die spezifische Wärme der Luft

$$\mathfrak{C}^1 = \frac{1}{100} (23 \cdot 25 \cdot \frac{3}{14} + 76 \cdot 75 \cdot \frac{12}{49})$$

$$(31) \dots \mathfrak{C}^1 = 0.2378 \text{ (beobachtet } 0.2377).$$

Ferner ist für atmosphärische Luft  $\delta = 1$ , also nach (22)

$$q = 28.838,$$

somit nach (14)

$$\mathfrak{C}^1 - \mathfrak{C} = \frac{2}{28.838} = 0.0693,$$

also wegen  $\mathfrak{C}^1 = 0.2378$  die rationelle Wärmecapacität der Luft:

$$(32) \dots \mathfrak{C} = 0.1685.$$

Aus (31) und (32) folgt

$$(33) \dots \frac{\mathfrak{C}^1}{\mathfrak{C}} = 1.411 \text{ (beobachtet } 1.41).$$

Nachdem also die beobachteten Werthe von  $\mathfrak{C}^1$  und  $\frac{\mathfrak{C}^1}{\mathfrak{C}}$  so genau sind, so ist begreiflich, dass dieselben in die *Person'sche* Gleichung (9) eingesetzt, ebenfalls sehr nahe auf die von *Joule* beobachtete Grösse des mechanischen Wärmeäquivalents führen.

## II.

# Vollständiger Lehrplan

für

sämmtliche Abtheilungen und Course des  
Rigaer Polytechnicum.

Ex bibl. univ. Tart.

### Vorbemerkungen.

#### § 1.

Die polytechnische Schule zu Riga lässt der technischen Fachbildung einen allgemeinen elementar-mathematischen und naturhistorischen Vorbereitungsкурс vorangehen, der fortgesetzt werden soll, bis die mittleren Lehranstalten der Baltischen Provinzen und namentlich die Realgymnasien eine zulängliche Vorbildung für das Polytechnicum erzielen.

#### § 2.

Dem Vorbereitungsкурс folgen dann zunächst in zwei Gruppen combinirte Fachcours, welche eine allgemeine technische Bildung bezwecken; erst im letzten Jahre gehen die Fachschulen, behufs der speciellen Fachbildung, auseinander.

#### § 3.

Zur ersten Gruppe gehören die Fabrikanten (mechanischer und chemischer Zweige), Landwirthe und Feldmesser, welche, nach einem gemeinschaftlichen technischen Jahrescours, sich im zweiten Jahre für die speciellen, ins Detail gehenden Fachstudien von einander trennen.

## § 4.

Die zweite Gruppe begreift die Maschinenbauer, Architekten, Ingenieure und Geodäten in sich, die zwei gemeinschaftliche technische Curse durchmachen und erst im dritten Jahre zur speciellen Fachbildung übergehen.

## § 5.

Diese Einrichtung gewährt einerseits den Vortheil eines sehr wesentlichen Ersparnisses an Lehrkräften, Schulräumen etc., andererseits bietet sie dem Schüler Gelegenheit, sämmtliche technischen Fächer kennen zu lernen, um zu erfahren, zu welchem derselben er vorzugsweise Lust und Begabung besitzt; sie trägt also nicht unerheblich dazu bei, eine unpassende oder voreilige Wahl des Lebensberufs zu verhindern.

## § 6.

Die polytechnische Schule bezweckt ihrem Organisationsplane gemäss eine gründliche theoretisch-practische Vorbereitung ihrer Schüler für den practischen Beruf in einem zwei- oder resp. dreijährigen Lehrgange. Um aber besonders begabten Zöglingen die Möglichkeit zu gewähren, in dem erwählten Fache einen höheren Grad wissenschaftlicher Ausbildung zu erlangen, hat die Schule noch dahin abzielende Supplementar-Curse (nach Absolvirung der Fachschulen und bestandener Abgangs-Prüfung) in Aussicht genommen. Dergleichen Supplementar-Curse sollen eingerichtet werden:

- a) für Landwirthe,
- b) „ Fabrikanten chemischer Zweige,
- c) „ Maschinenbauer,
- d) „ Architecten,
- e) „ Ingenieure.

## § 7.

Die landwirthschaftliche Abtheilung des Polytechnicums repräsentirt, dem Organisationsplane gemäss, keine specifisch-agronomische Fachschule, sondern beschränkt sich zunächst auf den Unterricht in den für den rationellen Landwirthen heutzutage unentbehrlichen naturwissenschaftlichen und technischen Vorkenntnissen. Der Supplementar-Curs ist daher nur für den Fall in Aussicht genommen, dass durch reichlicher zu strömende Subventionen sich die ursprünglich nicht im Plane gelegene Creirung einer besonderen landwirthschaftlichen Professur mit einer landwirthschaftlichen Versuchsstation, ermöglichen lassen sollte.

## § 8.

Eine Trennung der Geodäten in Feldmesser und Geodäten im engeren Sinne ist durch die Erwägung motivirt, dass die gewöhnlichen

geodätischen Arbeiten nur sichere Kenntnisse in der niederen Mathematik voraussetzen; daneben sollen die Feldmesser auch im Bonitiren geübt werden. Dagegen sollen die Geodäten im engeren Sinne, nach einem von der höheren Mathematik als Grundlage ausgehenden Lehrplane, zur Lösung der höheren geodätischen Probleme befähigt werden.

#### § 9.

Die Handelsschule bleibt ausserhalb der beiden ad § 2 erwähnten Gruppen und geht einen ganz selbstständigen Lehrgang, der nur in einzelnen Fächern (Chemie, Maschinenlehre, Technologie) mit den anderen Cursen zusammenfällt.

#### § 10.

Der nachstehende Lehrplan beschränkt sich auf die zur methodischen Organisation des Lehrstoffes unumgänglich nothwendigen Fächer: der Vorbereitungs- und Fachstudien. Für jeden Schüler ist demnach der Lectionsplan seiner Abtheilung und seines Jahresurses obligatorisch.

#### § 11.

Nebenbei wird aber die freie Benutzung der allgemein bildenden Lehrfächer (Religion, Sprachen und Literatur etc.) den Schülern besonders anempfohlen und die Frequentation dieser facultativen Fächer, soweit es ohne Beeinträchtigung der obligatorischen Fachstudien geschehen kann, möglichst begünstigt.

#### § 12.

Neben dem Vorbereitungscourse und den Fachschulen bestehen beim Rigaer Polytechnicum noch Wintercourse für Handelslehrlinge und Handwerker. Der Wintercurs für Handelslehrlinge bezweckt jungen Kaufleuten, die durch Umstände verhindert sind, den umfassenden Lehrgang der Handelsfachschule durchzumachen, die Möglichkeit zu bieten, ihre Freistunden, in drei auf einander folgenden Wintern, durch Aneignung einer elementaren Berufsbildung zu verwerthen. Der Wintercurs für Handwerker ist durch die gesteigerten Anforderungen der Neuzeit an den Handwerkerstand hervorgerufen. Er zerfällt, den Fähigkeiten der Schüler entsprechend, in eine obere und untere Abtheilung, welchen sich später, sobald das Bedürfniss darnach sich herausstellt, eine Meisterclassen anschliessen soll.

#### § 13.

Sämmtliche nachstehend skizzirten Lehrpläne sind nicht als eine unabänderliche Norm anzusehen, sondern bleibt die jederzeitige Modification derselben, nach Maassgabe der gemachten Erfahrungen, vorbehalten.

# Lehrpläne.

## A. Vorbereitungs-Curs.

	<i>Wöchentliche Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Niedere Mathematik und Rechnen . . . . .	10.	10.
Physik und elementare Mechanik . . . . .	6.	6.
Freihandzeichnen . . . . .	6.	6.
Linearzeichnen . . . . .	6.	6.
Zoologie . . . . .	4.	—
Botanik . . . . .	—	4.
	<hr/>	<hr/>
	32.	32.

Für Diejenigen, die später in die Handelsschule überzugehen beabsichtigen, wird die Mathematik in abgekürztem Vortrage gegeben und eine geringere Stundenzahl auf den Zeichnenunterricht verwandt, die dadurch gewonnene Zeit aber durch Sprachen und Kalligraphie ausgefüllt, so dass sich für die betreffenden Schüler folgende Modification des Vorbereitungs-Curses ergibt:

	<i>Wöchentliche Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Niedere Mathematik und Rechnen . . . . .	4.	4.
Physik und elementare Mechanik . . . . .	6.	6.
Zoologie . . . . .	4.	—
Botanik . . . . .	—	4.
Kalligraphie . . . . .	1.	—
Deutsche Sprache . . . . .	2.	2.
Englische „ . . . . .	2.	2.
Französische „ . . . . .	2.	2.
Russische „ . . . . .	2.	2.
Zeichnen . . . . .	6.	6.
	<hr/>	<hr/>
	29.	28.

## B. Fachschulen.

### 1. Fachschule für Kaufleute.

Erster Curs.	<i>Wöchentliche Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Deutsche Sprache . . . . .	2.	2.
Englische „ . . . . .	2.	2.
Russische „ . . . . .	2.	2.
Französische „ . . . . .	2.	2.
Kaufmännische Arithmetik . . . . .	4.	4.
Handelscorrespondenz . . . . .	2.	2.
Handelwissenschaft I. . . . .	2.	2.
Handels-Geographie und Geschichte . . . . .	3.	3.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	29.	29.

Zweiter Curs.	<i>Wöchentliche Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Englische Sprache . . . . .	4.	4.
Russische „ . . . . .	4.	4.
Französische „ . . . . .	4.	4.
Kaufmännische Arithmetik . . . . .	2.	2.
Handelscorrespondenz . . . . .	3.	3.
Handelwissenschaft II. . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
Mineralogie und Geologie . . . . .	3.	3.
Technologie und Waarenkunde . . . . .	4.	4.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Handels-, Wechsel- und Seerecht . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	34.	34.

# I. Erste combinirte Gruppe.

## 2. Fachschule für Fabrikanten mechanischer und chemischer Zweige.

Erster Curs.	Wöchentliche Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Situationszeichnen . . . . .	—	8.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	4.	4.
Physik . . . . .	4.	4.
	29.	34.

Zweiter Curs.	Wöchentliche Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Mechanische Technologie I. . . . .	5.	5.
Entwerfen von Fabrikeinrichtungen, Feuerungs- anlagen u. s. w. . . . .	10.	10.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
Arbeiten im chemischen Laboratorium . . . . .	6.	6.
	32.	36.

Supplementar-Curs für Fabrikanten chemischer Zweige.	Wöchentliche Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Chemische Technologie II. . . . .	4.	4.
Arbeiten im physikalischen Laboratorium . . . . .	4.	—
Arbeiten im chemischen Laboratorium . . . . .	22.	26.
	30.	30.

### 3. Fachschule für Landwirthe.

#### Wöchentl. Stundenzahl.

#### Erster Curs.

	Winter.	Sommer.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Situationszeichnen . . . . .	—	8.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	4.	4.
Physik . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	29.	34.

#### Wöchentl. Stundenzahl.

#### Zweiter Curs.

	Winter.	Sommer.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie und Bodenkunde . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Mechanische Technologie I. . . . .	5.	5.
Thierphysiologie . . . . .	5.	—
Pflanzenphysiologie . . . . .	—	5.
Bau- und Maschinenzeichnen . . . . .	4.	4.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
Arbeiten im Laboratorium . . . . .	6.	6.
	<hr/>	<hr/>
	31.	35.

#### Wöchentl. Stundenzahl.

#### Supplementar - Curs.

	Winter.	Sommer.
Acker- und Wiesenbau . . . . .	4.	4.
Waldbau . . . . .	—	2.
Agriculturchemie . . . . .	4.	4.
Arbeiten im chemischen u. physikal. Laboratorium	6.	8.
Meteorologie . . . . .	2.	2.
Vieh- und Thierheilkunde . . . . .	4.	—
Landwirthschaftliche Baukunde . . . . .	2.	2.
„                    Maschinenkunde . . . . .	4.	2.
Entwerfen von landwirthschaftlichen Gebäuden .	8.	—
Feldmessen und Situationszeichnen . . . . .	—	8.
	<hr/>	<hr/>
	34.	32.

#### 4. Fachschule für Feldmesser.

Erster Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Situationszeichnen . . . . .	—	8.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	4.	4.
Physik . . . . .	4.	4.
	29.	34.

Zweiter Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie und Bodenkunde . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Practische Geometrie, Feldmessen u. Situations- zeichnen . . . . .	16.	16.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
	27.	31.

## II. Zweite combinirte Gruppe.

#### 5. Fachschule für Maschinenbauer.

Erster Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Höhere Mathematik . . . . .	6.	6.
„ „ Repetitorium . . . . .	5.	—
Darstellende Geometrie, Vortrag . . . . .	3.	—
„ „ Constructionen . . . . .	6.	—
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Geodätische Uebungen und Situationszeichnen .	—	8.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Theoretische Mechanik . . . . .	—	8.
„ „ Repetitorium . . . . .	—	5.
Physik . . . . .	4.	4.
	31.	35.

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
<b>Zweiter Curs.</b>		
Allgemeine Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Maschinenbau I. . . . .	5.	3.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	30.	32.

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
<b>Dritter Curs.</b>		
Mechanische Technologie I. . . . .	5.	5.
Maschinenbau II. . . . .	5.	3.
Construiren von Maschinen . . . . .	16.	20.
Bauconstruction . . . . .	4.	4.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
	<hr/>	<hr/>
	34.	36.

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
<b>Supplementar-Curs.</b>		
Analytische Mechanik . . . . .	4.	—
Maschinenbau III. . . . .	4.	—
Mechanische Technologie II. . . . .	4.	—
Mathematische Physik . . . . .	2.	—
Entwerfen von Maschinen . . . . .	10.	16.
Wege- und Wasserbau I. . . . .	6.	6.
Situationszeichnen und Trianguliren . . . . .	—	8.
Modelliren in Holz . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	34.	34.

## 6. Fachschule für Architekten.

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
<b>Erster Curs.</b>		
Höhere Mathematik . . . . .	6.	6.
„ „ Repetitorium . . . . .	5.	—

Darstellende Geometrie (Vortrag) . . . . .	3.	—
„ „ Construiren . . . . .	6.	—
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Geodätische Uebungen und Situationszeichnen . .	—	8.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Theoretische Mechanik . . . . .	—	8.
„ „ Repetitorium . . . . .	—	5.
Physik . . . . .	4.	4.
	<hr/>	
	31.	35.

*Wöchentl. Stundenzahl.*

	Winter.	Sommer.
<b>Zweiter Curs.</b>		
Allgemeine Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Maschinenbau I. . . . .	5.	3.
Maschinenzeichnen . . . . .	4.	4.
Bauzeichnen . . . . .	6.	6.
	<hr/>	
	30.	32.

*Wöchentl. Stundenzahl.*

	Winter.	Sommer.
<b>Dritter Curs.</b>		
Civilbau I. . . . .	5.	5.
Baustatik . . . . .	4.	—
Geschichte der Baukunst . . . . .	2.	2.
Steinschnitt und Perspective . . . . .	3.	—
Bauconstruction . . . . .	10.	16.
Ornamentik . . . . .	2.	2.
Modelliren in Holz, Thon und Gyps . . . . .	6.	6.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
	<hr/>	
	36.	35.

*Wöchentl. Stundenzahl.*

	Winter.	Sommer.
<b>Supplementar-Curs.</b>		
Civilbau II. . . . .	6.	—
Mechanische Technologie I. . . . .	5.	5.
Wege- und Wasserbau I. . . . .	5.	5.

Entwerfen von Gebäuden . . . . .	12.	20.
Situationszeichnen und Trianguliren . . . . .	—	8.
Modelliren . . . . .	8.	—
	<hr/>	<hr/>
	36.	38.

### 7. Fachschule für Ingenieure.

Erster Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Höhere Mathematik . . . . .	6.	6.
„ „ Repetitorium . . . . .	5.	—
Darstellende Geometrie (Vortrag) . . . . .	3.	—
„ „ Constructionen . . . . .	6.	—
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Geodätische Uebungen und Situationszeichnen . .	—	8.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Theoretische Mechanik . . . . .	—	8.
„ „ Repetitorium . . . . .	—	5.
Physik . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	31.	35.

Zweiter Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Allgemeine Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie . . . . .	—	8.
Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Maschinenbau I. . . . .	5.	3.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	6.	6.
	<hr/>	<hr/>
	32.	34.

Dritter Curs.	Wöchentl. Stundenzahl.	
	Winter.	Sommer.
Wege- und Wasserbau I. . . . .	5.	5.
Civilbau I. . . . .	4.	4.
Baustatik . . . . .	4.	—
Mechanische Technologie I. . . . .	5.	5.
Mathematische Physik . . . . .	2.	—

Construiren von Strassen, Brücken-Anlagen, Wasserbauten etc. etc. . . . .	10.	16.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.

---

34.	34.
-----	-----

*Wöchentl. Stundenzahl.*

**Supplementar-Curs.**

	Winter.	Sommer.
Wege- und Wasserbau II. . . . .	6.	—
Entwerfen von Strassen, Brücken, Wasserbauten etc.	16.	20.
Steinschnitt und Perspective . . . . .	3.	—
Geodäsie . . . . .	4.	—
Situationszeichnen und Trianguliren . . . . .	—	8.
Ornamentik . . . . .	2.	—
Modelliren . . . . .	—	6.
Methode der kleinsten Quadrate . . . . .	—	3.

---

31.	37.
-----	-----

**8. Fachschule für Geodäten.**

*Wöchentl. Stundenzahl.*

**Erster Curs.**

	Winter.	Sommer.
Höhere Mathematik . . . . .	6.	6.
„ „ Repetitorium . . . . .	5.	—
Darstellende Geometrie (Vortrag) . . . . .	3.	—
„ „ Construiren . . . . .	6.	—
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Geodätische Uebungen und Situationszeichnen . .	—	8.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Theoretische Mechanik . . . . .	—	8.
„ „ Repetitorium . . . . .	—	5.
Physik . . . . .	4.	4.

---

31.	35.
-----	-----

*Wöchentl. Stundenzahl.*

**Zweiter Curs.**

	Winter.	Sommer.
Allgemeine Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Mineralogie . . . . .	4.	—
Geologie und Bodenkunde . . . . .	—	8.

Chemische Technologie I. . . . .	3.	3.
Maschinenbau I. . . . .	5.	3.
Maschinenzeichnen . . . . .	4.	4.
Bau- und Situationszeichnen . . . . .	6.	6.
	<hr/>	
	30.	32.

*Wöchentl. Stundenzahl.*

<b>Dritter Curs.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Astronomie . . . . .	4.	4.
Methode der kleinsten Quadrate . . . . .	—	3.
Höhere Geodäsie . . . . .	4.	—
Mathematische Physik . . . . .	2.	—
Situationszeichnen und Trianguliren . . . . .	16.	20.
Nationalöconomie . . . . .	2.	2.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
	<hr/>	
	30.	31.

**C. Winter-Curs für Handelslehrlinge.**

<b>Erster Winter.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Deutsche Sprache . . . . .	2.
Russische „ . . . . .	2.
Englische „ . . . . .	2.
Französische „ . . . . .	2.
Kalligraphie . . . . .	1.
Kaufmännisches Rechnen . . . . .	3.
	<hr/>
	12.

<b>Zweiter Winter.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Deutsche Correspondenz und schriftliche Comptoirarbeiten . . . . .	2.
Französische „ . . . . .	2.
Englische „ . . . . .	2.
Russische „ . . . . .	2.
Handels-Geographie und Geschichte . . . . .	1.
Kaufmännisches Rechnen . . . . .	2.
Buchhaltung . . . . .	1.
	<hr/>
	12.

<b>Dritter Winter.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Handelscorrespondenz . . . . .	1.
Handelswissenschaft . . . . .	2.
Handels-, Wechsel- und Seerecht . . . . .	2.
Waarenkunde . . . . .	2.
Handels-Geographie und Usancenkunde . . . . .	1.
Kaufmännisches Rechnen . . . . .	2.
Buchhaltung . . . . .	2.
	<hr/> 12.

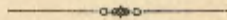
## D. Handwerker-Fortbildungs-Classe.

<b>Untere Abtheilung.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Mathematik und Rechnen I. . . . .	4.
Bauconstructionslehre . . . . .	4.
Zeichnen und Modelliren . . . . .	12.
Geschäftsaufsätze . . . . .	2.
	<hr/> 22.
<b>Obere Abtheilung.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Mathematik und Rechnen II. . . . .	4.
Bauconstructionslehre . . . . .	4.
Zeichnen und Modelliren . . . . .	12.
Geschäfts- und Buchführung . . . . .	2.
	<hr/> 22.

Der Verwaltungsrath der polytechnischen Schule zu Riga:

**Präses Otto Mueller.      Director Prof. Nauck.**

Secretair H. v. Stein.



### III.

## Programm

der

polytechnischen Schule zu Riga

für das Jahr 18<sup>63</sup>/<sub>64</sub>.

### Umfang der Lehrthätigkeit im Allgemeinen.

#### § 1.

Die polytechnische Schule zu Riga hat für das zweite Jahr ihrer Wirksamkeit es sich zur Aufgabe gestellt, nächst Wiederholung der im verflossenen Schuljahre abgehaltenen Course — des Vorbereitungs-Curses für die Fachschulen und der Winter-Course für Handelslehrlinge und Handwerker — auch den ersten Curs derjenigen Fachschulen zu absolviren, zu welchen sich genügend vorbereitete Candidaten melden, ferner für diejenigen Schüler, welche die ersten Course der Handelslehrlings- und der Handwerker-Fortbildungs-Classe mit Erfolg durchgemacht haben, die zweiten Course dieser Abtheilungen des Polytechnicums folgen zu lassen.

### Spezielle Lehrgegenstände.

#### I. Vorbereitungs-Curs.

#### § 2.

Der Vorbereitungs-Curs wird folgende Gegenstände umfassen:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Niedere Mathematik und Rechnen . . . . .	10.	10.
Physik und elementare Mechanik . . . . .	6.	6.

Freihandzeichnen . . . . .	6.	6.
Linearzeichnen . . . . .	6.	6.
Zoologie . . . . .	4.	—
Botanik . . . . .	—	4.
	32.	32.

Anm. Für Diejenigen, die später in die Handelsschule überzugehen beabsichtigen, wird die Mathematik in abgekürztem Vortrage gegeben und eine geringere Stundenzahl auf den Zeichnen-Unterricht verwandt, die dadurch gewonnene Zeit aber durch Kalligraphie und Sprachen ausgefüllt, so dass sich für die betreffenden Schüler folgende Modification des Vorbereitungs-Curses ergibt:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Mathematik und Rechnen . . . . .	4.	4.
Zoologie . . . . .	4.	—
Botanik . . . . .	—	4.
Physik und elementare Mechanik . . . . .	6.	6.
Zeichnen . . . . .	6.	6.
Kalligraphie . . . . .	1.	—
Deutsche Sprache . . . . .	2.	2.
Englische „ . . . . .	2.	2.
Französische „ . . . . .	2.	2.
Russische „ . . . . .	2.	2.
	29.	28.

## II. Handelsschule.

### § 3.

Der erste Curs der Handels-Fachschule begreift folgende Unterrichtsgegenstände in sich:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Deutsche Sprache . . . . .	2.	2.
Russische „ . . . . .	2.	2.
Englische „ . . . . .	2.	2.
Französische „ . . . . .	2.	2.
Kaufmännische Arithmetik . . . . .	4.	4.
Handelscorrespondenz . . . . .	2.	2.
Handelwissenschaft Th. I. . . . .	2.	2.

Handels-Geographie und Geschichte . . . . .	3.	3.
Buchhaltung . . . . .	2.	2.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	29.	29.

### III. Fachschulen für Fabrikanten, Landwirthe und Feldmesser.

#### § 4.

Der erste Curs der drei Fachschulen für Fabrikanten, Landwirthe und Feldmesser umfasst gleichmässig folgende Gegenstände:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Populäre Mechanik und Maschinenlehre . . . . .	4.	4.
Allgemeine Baukunde . . . . .	4.	4.
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Situationszeichnen . . . . .	—	8.
Maschinenzeichnen . . . . .	6.	6.
Bauzeichnen . . . . .	4.	4.
Physik . . . . .	4.	4.
	<hr/>	<hr/>
	29.	34.

### IV. Fachschulen für Maschinenbauer, Architecten, Ingenieure und Geodäten.

#### § 5.

Auch diese vier Schulen haben den ersten Curs gemeinschaftlich; die Lehrgegenstände sind:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>	
	Winter.	Sommer.
Höhere Mathematik . . . . .	6.	—
Repetitorium der höheren Mathematik . . . . .	5.	—
Darstellende Geometrie . . . . .	3.	—
Constructionen . . . . .	6.	—
Practische Geometrie . . . . .	3.	—
Geodätische Uebungen und Situationszeichnen . . . . .	—	8.
Allgemeine Chemie . . . . .	4.	4.
Theoretische Mechanik . . . . .	—	8.
Repetitorium der Mechanik . . . . .	—	5.
	<hr/>	<hr/>
	31.	29.

## § 6.

Der in den §§. 2 bis 5 angeführte Unterricht ist für die betreffenden Schüler obligatorisch; ausserdem findet ein nicht obligatorischer Unterricht statt:

- a) in der Religion (lutherischer, orthodox-griechischer und römisch-katholischer Confession), da im Allgemeinen der Abschluss des Religions-Unterrichts beim Eintritte in die Schule vorausgesetzt wird;
- b) in den Sprachen (deutsch, russisch, englisch und französisch), die nur in der Handelsschule und für diejenigen Schüler des Vorbereitungs-Curses obligatorisch sind, welche später in die Handelsschule einzutreten beabsichtigen;
- c) in der Kalligraphie, die nur im Vorbereitungs-Curse für die späteren Handelsschüler obligatorisch ist.

Dispensationen von einzelnen obligatorischen Unterrichtsgegenständen hängen von der Lehrer-Conferenz ab.

## Aufnahmebedingungen.

## § 7.

Jeder Bewerber um die Aufnahme als Schüler in die polytechnische Schule hat spätestens 3 Tage vor Beginn des Schuljahres dem Director der Schule eine schriftliche — falls er noch nicht selbstständig ist, von seinen Eltern oder Vormündern zu unterzeichnende — Anmeldung zu überreichen, in welcher Name und Heimathsort des Candidaten, so wie die Abtheilung, in welche er einzutreten wünscht, anzugeben sind. Ueberdiess muss der Candidat:

- 1) für den Vorbereitungs-Curs das 16., für eine der Fachschulen aber das 17. Lebensjahr zurückgelegt haben und zum Nachweise dessen einen Taufschein beibringen;
- 2) durch ein ärztliches Attestat nachweisen, dass er geimpft ist;
- 3) die Adresse seiner Eltern oder Vormünder, so wie seine Wohnung am Sitze der Anstalt aufgeben;
- 4) seine Vorstudien durch geeignete Attestate documentiren;
- 5) eine Aufnahmeprüfung bestehen, von welcher jedoch diejenigen befreit werden, die ein Abiturienten-Examen an Gymnasien und anderen diesen gleichstehenden Lehranstalten absolvirt haben, wobei jedoch vorausgesetzt wird, dass sofern an diesen Lehranstalten kein Zeichnenunterricht stattfindet, durch Privatunterricht einige Uebung im Zeichnen erlangt worden ist.

## § 8.

Bei der im Punct 5 des vorhergehenden Paragraphen gedachten Aufnahmeprüfung wird verlangt:

## 1) für den Vorbereitungs-Curs:

- a) hinreichende Kenntniss der deutschen Sprache, um dem Unterricht folgen zu können;
- b) allgemeine Kenntniss der Geographie und Geschichte;
- c) hinreichende Kenntnisse in der niederen Mathematik (der absolvirten Secunda der Gymnasien entsprechend), insbesondere Fertigkeit im practischen Rechnen;
- d) einige Uebung im Freihand- und Linearzeichnen.

Anm. Bei denjenigen, die später in die Handelsschule eintreten wollen, werden zur Aufnahme in den Vorbereitungs-Curs auch allgemeine Vorkenntnisse in der russischen, französischen und englischen Sprache verlangt.

## 2) Für die Aufnahme in die Fachschulen werden diejenigen Vorkenntnisse vorausgesetzt, welche durch das Lehrziel des allgemeinen Vorbereitungs-Curses festgestellt sind.

## § 9.

Nach befriedigend bestandener Aufnahmeprüfung hat der Candidat das Schulgeld mit 120 Rbln. jährlich beim Director einzuzahlen und erhält alsdann einen Aufnahmeschein, mit dem er sich beim Vorstande der von ihm erwählten Fachschule, zur Eintragung in die von jeder Fachschule über ihre Schüler zu führenden Listen meldet. Rückersatz des einmal bezahlten Schulgeldes findet nicht statt.

Anm. Hospitanten haben 4 Rbl. S. jährlich für jede wöchentliche Vortragsstunde zu entrichten und erhalten vom Director eine Karte, mit der sie sich beim betreffenden Docenten melden.

**V. Wintercurs für Handelslehrlinge.**

## § 10.

Der Wintercurs für Handelslehrlinge beginnt im October und dauert bis zum März, beschränkt sich auf zwei Stunden täglich und umfasst folgende Gegenstände:

a) im ersten Course:	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Deutsche Sprache . . . . .	2.
Russische „ . . . . .	2.
Englische „ . . . . .	2.

Französische Sprache . . . . .	2.
Kaufmännisches Rechnen . . . . .	3.
Kalligraphie . . . . .	1.
	<hr/>
	12.

## b) im zweiten Course:

	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Handelsgeographie und Geschichte . . . . .	1.
Buchhalten . . . . .	1.
Deutsche Correspondenz und schriftliche Comptoir-Arbeiten	2.
Französische Correspondenz . . . . .	2.
Englische „ . . . . .	2.
Russische „ . . . . .	2.
Kaufmännisches Rechnen . . . . .	2.
	<hr/>
	12.

## § 11.

Die Zulassung zu den Winterkursen für Handelslehrlinge ist an kein bestimmtes Alter gebunden. Verlangt wird zum Behufe der Aufnahme nur die Einwilligung des Prinzipals und ein Impfattestat. An Vorkenntnissen wird vorausgesetzt:

- a) hinreichende Kenntniss der deutschen Sprache, um dem Unterrichte folgen zu können;
- b) Fertigkeit im practischen Rechnen.

## § 12.

Das Schulgeld für den Winterkurs beträgt 25 Rbl. und ist nach bestandener Aufnahmeprüfung beim Director einzuzahlen. Mit dem von Letzterem erteilten Aufnahmescheine hat der Schüler sich beim Professor der Handelswissenschaften zu melden.

**VI. Winterkurs für Handwerker.**

## § 13.

Der Kurs der Handwerker-Fortbildungs-Classe dauert ebenfalls vom October bis März und umfasst in 3 bis 4 täglichen Stunden folgende Gegenstände:

<b>Untere Abtheilung.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Mathematik und Rechnen I. . . . .	4.
Bauconstructionslehre . . . . .	4.
Zeichnen und Modelliren . . . . .	12.
Geschäftsaufsätze . . . . .	2.
	<hr/>
	22.

<b>Obere Abtheilung.</b>	<i>Wöchentl. Stundenzahl.</i>
Mathematik und Rechnen II. . . . .	4.
Bauconstructionslehre . . . . .	4.
Zeichnen und Modelliren . . . . .	12.
Geschäfts- und Buchführung . . . . .	2.
	<hr/> 22.

#### § 14.

Die Schüler der Handwerker-Fortbildungs-Classe können an allen oder nur an einzelnen Unterrichtsgegenständen Theil nehmen; doch sind sie gehalten die einmal gewählten Unterrichtsstunden regelmässig zu besuchen.

#### § 15.

Das Schulgeld für den Winterkurs der Handwerker beträgt 6 Rbl. für das Jahr und ist beim Director einzuzahlen.

### Schul-Local.

#### § 16.

Das provisorische Schul-Local befindet sich im Kaul'schen Hause an der Ecke der Suworow- und der Elisabethstrasse.

### Beginn des Unterrichts.

#### § 17.

Das Schuljahr 18<sup>63</sup>/<sub>64</sub> beginnt am 2. September 1863.

Der Verwaltungsrath der polytechnischen Schule zu Riga:

**Präses O. Mueller.      Director Prof. Nauck.**

Secretair H. v. Stein.