

Erscheinungen  
und  
**Wirkungen der Wärme.**

Von

DR. ADAM FREIHERRN v. BURG.

---

Vorträge, gehalten am 22. und 29. November 1876



## Hochverehrte Versammlung!

Der von mir am Schlusse des vorigen Vereinsjahres in der Generalversammlung ausgesprochene Wunsch, dass es mir vergönnt sein möge, die verehrte Versammlung auch in diesem Jahre beim Beginne unserer Vorträge wieder eben so zahlreich begrüßen und in dieser Saale willkommen heißen zu können, wird, wie ich mit Freude wahrnehme, im vollsten Masse erfüllt. Indem ich aber die geehrte Versammlung somit auf das freundlichste begrüße, lade ich dieselbe zugleich ein, an den diesjährigen lehrreichen Vorträgen mit demselben Eifer und der gleichen Nachsicht, wie bisher Theil zu nehmen; dabei wird mir die Ehre zu Theil, den Reigen dieser Vorträge, und zwar mit einem Gegenstande zu eröffnen, welcher wohl geeignet sein dürfte, in diesem Kreise das regste Interesse hervorzurufen. Ich beabsichtige nämlich, insoweit dies an zwei Abenden, auf welche ich, um Ihnen nicht ein gar zu unvollständiges Bild vorzuführen, meinen Vortrag ausdehnen muss, möglich ist, die für uns wichtigsten Erscheinungen der Wärme, ohne welche es bekanntlich weder eine Flüssigkeit, noch ein organisches Leben geben, sondern Alles todt, bewegungslos

und erstarrt sein würde, in Kürze und in möglichst populärer Weise zu besprechen.

Dabei bin ich mir des Wagnisses, diesen keineswegs leichten Gegenstand ohne alle erläuternde Experimente hinreichend verständlich machen zu wollen, vollständig bewusst, allein dazu würde ein ganzer Cyclus von Vorträgen, die doch hier einem einzelnen Gegenstand nicht eingeräumt werden können, nothwendig werden. Aus diesem Grunde muss ich mir aber auch von den verehrten Zuhörern für diesen Vortrag die Geduld und Aufmerksamkeit in erhöhtem Masse erbitten.

### Wesen und Ursache der Wärme.

1. Schon in meinem am 6. März 1872 über die Eigenschaft und Anwendung des Wasserdampfes in unserem Vereine gehaltenen Vortrage<sup>1)</sup> hatte ich Gelegenheit, die Anschauungen der ältern Physiker über das Wesen und die Ursache der Wärme in Kürze anzuführen und zu bemerken, dass sie zur Erklärung der Wärmeerscheinungen einen eigenen, äusserst feinen, unwägbaren Stoff, den Wärmestoff, nach Einigen auch Feuerstoff genannt, annahmen, welcher in den Zwischenräumen der Körperatome mehr oder weniger angehäuft sein sollte. Allerdings begreift man nach dieser Annahme oder Hypothese ziemlich leicht, wie durch Einschiebung dieses beständig nach Expansion strebenden materiellen Stoffes, als repulsives Princip, zwischen die Atome eines Körpers,

---

<sup>1)</sup> Siehe 12. Band der Vereinsschriften. S. 280 ff.

die Cohäsionskraft derselben geschwächt und dadurch nicht bloss eine Ausdehnung bewirkt, sondern bei hinreichender Erwärmung oder Erhitzung, der Zusammenhang derselben derart gelockert werden könne, dass feste Körper geschmolzen oder in den flüssigen, so wie diese wieder verdampfen oder in den gasförmigen Zustand übergehen.

2. Die Anhänger oder Vertheidiger dieser sogenannten materiellen Theorie kamen jedoch in der neuern Zeit, namentlich nach den Ausschlag gebenden sinnreichen Versuchen, welche Graf Rumford am Ende des vorigen Jahrhunderts im Münchner Militär-Gusshaus in der dortigen Kanonenbohrerei anstellte, <sup>1)</sup> in eine arge Klemme und waren gezwungen, sich schliesslich der neueren, aus dem Kampfe siegreich hervorgegangenen sogenannten dynamischen Theorie, nach welcher die Wärme nichts anderes als das Resultat einer Vibrationsbewegung der Körperatome, also die Erklärung aller Wärmephänomene auf mechanische Principien zurückzuführen ist, und heute als mechanische Wärmetheorie bezeichnet wird, anzuschliessen. <sup>2)</sup>

---

<sup>1)</sup> Diese Versuche wurden in der Londoner Royal Society am 25. Jänner 1798 in öffentlicher Versammlung gelesen und mitgetheilt.

<sup>2)</sup> Uebrigens sprach sich schon der englische Philosoph Locke zu Ende des 17. Jahrhunderts in demselben Sinne aus, indem er sagt: „Die Wärme ist eine sehr lebhafte Bewegung oder Erschütterung der unwahrnehmbaren kleinsten Theilchen eines Körpers, welche in uns diejenige Empfindung

3. Bevor ich in meinen Erörterungen über diese neuere Wärmetheorie fortfahre, will ich Sie, verehrte Anwesende, nur ganz kurz mit den erwähnten Rumford'schen Versuchen bekannt machen.

Rumford ging dabei darauf aus, Wärme durch Reibung zu erzeugen; er presste zu diesem Ende einen stumpfen Stahlbohrer mit circa 10.000 Pfund Druck gegen den Boden eines hohlen Cylinders aus Kanonenmetall und liess dabei letzteren in der durch Pferdekraft betriebenen Bohrmaschine in horizontaler Lage mit einer Geschwindigkeit von 32 Touren per Minute um seine Achse drehen. Zur Beobachtung der zunehmenden Temperatur wurde in die Mantelfläche des Cylinders zur Anbringung eines Thermometers ein kleines Loch eingebohrt.

Die Temperatur dieses 113 engl. Pfund wiegenden Cylinders wurde nach Verlauf von 30 Minuten, also nach 960 Umdrehungen, von 15·6 auf 54·5<sup>0</sup>C. erhöht und wurden dabei 837 Gran schuppenförmige Späne abgerieben.

Noch interessanter stellten sich diese Versuche heraus, als Rumford den Metalcyliner sammt Bohraparat in einen mit Wasser gefüllten hölzernen Kasten legte und darin umlaufen liess. Beim Beginn des Versuches hatte das den Cylinder umgebende Wasser im Gewichte von

---

hervorbringt, wonach wir denselben als warm bezeichnen, was also für unser Gefühl Wärme ist, ist in der Wirklichkeit nichts anders als Bewegung“.

18<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Pfund die Temperatur von nahe 16<sup>0</sup>C. und diese stieg nach Verlauf 1 Stunde auf 41·7<sup>0</sup>, nach 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden auf 60·6, nach 2 Stunden auf 81, nach 2 Stunden 20 Minuten auf 93·4<sup>0</sup> und nach 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden fing dasselbe an zu sieden. Die Wärme nahm daher ohne Versiegen der Quelle bei Fortsetzung dieser Versuche continuirlich zu, und Rumford konnte wohl mit Recht den Satz aussprechen, dass die Quelle der bei diesen Versuchen durch Reibung erzeugten Wärme geradezu unerschöpflich sei, und da dem Bohrapparate von aussenher keine Wärme zugeleitet wurde, so könne wohl das, was von einem isolirten Körper endlos hervorgebracht werden kann, unmöglich eine materielle Substanz sein, die sich ja nur zu bald erschöpfen müsste.

4. Nicht viel später als Rumford trat auch der berühmte englische Chemiker Humphry Davy gegen die ältere oder materielle Wärmetheorie auf; er wiederholte die Reibungsexperimente, wobei er selbst zwei Eisstücke in einem unter den Gefrierpunkt erkälteten luftleeren Raum dadurch zum Schmelzen brachte.

Dass auch Wärme durch Reibung des Wassers gegen feste Körper erzeugt werden könne, zeigte zuerst Dr. Mayer in Heilbronn im Jahre 1842, indem er Wasser durch Schütteln in einem Gefässe von 12 auf 13 Grad brachte; hienach hat auch der Seemannsglaube, dass das Meerwasser nach einem Sturme wärmer sei als zuvor, eine gewisse Berechtigung.

Bewegen sich feste Körper, wie z. B. Geschosse mit grosser Geschwindigkeit in der Luft, so wird durch die

stattfindende Reibung eine oft bis zur Glühhitze steigende Wärme erzeugt. So spricht schon Aristoteles von der Erwärmung der Pfeilgeschosse durch die Reibung der Luft; auch eine Büchsenkugel wird, während sie die Luft durchschneidet, durch Reibung erwärmt.

Die wahrscheinliche Theorie der Sternschnuppen ist die, dass dieselben kleine planetarische Körper sind, welche sich um die Sonne bewegen, jedoch durch die Anziehungskraft der Erde aus ihrer Bahn herausgerissen und durch die Reibung unserer Atmosphäre zum Weissglühen gebracht werden. Dr. Joule in Manchester lieferte den Beweis, dass die atmosphärische Reibung genügend sei, um bei dieser planetarischen Geschwindigkeit von vier bis acht geographischen Meilen in der Secunde, diese Wirkung hervorzubringen; zugleich ist er der Meinung, dass die Mehrzahl unserer Meteorsteine durch die entstehende Hitze zersprengt werden und dadurch der Erde ein verhängnissvolles Bombardement erspart bleibe.

5. Die Thatsache, dass durch Reibung Wärme erzeugt wird, erfahren und benützen wir im gewöhnlichen Leben fast alle Augenblicke. So wärmen wir z. B. unsere kalten Hände durch Aneinanderreiben derselben; auch erfrorenen Gliedern suchen wir auf diese Weise wieder Wärme zuzuführen. Beim Herabgleiten an einem Seile kann man sich leicht durch die Reibung an den Händen Brandwunden zuziehen. Beim Feuerschlagen mittelst Stein und Stahl werden die feinen abgeschlagenen Metallsplitter so stark erhitzt, dass sie sich entzünden und in

der Luft verbrennen <sup>1)</sup>). Unsere Streichhölzchen werden durch Reibung bis zur Entzündung erhitzt. Die Wilden verstehen es, sich dadurch Feuer zu verschaffen, dass sie zwei hiezu eigens ausgewählte Hölzer aneinander reiben. Auf der Drehbank kann man Holz durch Reibung mit Leichtigkeit zum Verkohlen bringen und dadurch ganz einfach die zur Verzierung dienenden dunklen Streifen oder Reifchen an Bechern u. dgl. erzeugen. Wasser lässt sich in Metallröhren, welche sehr schnell um ihre Achse rotiren und dabei einer starken Reibung ausgesetzt werden, nicht nur zum Sieden bringen, sondern selbst in Dampf verwandeln; in einer der letzten Pariser Weltausstellungen lieferte ein solcher Reibungsapparat den Dampf zum Betriebe einer ganz kleinen Dampfmaschine, allerdings mit unverhältnissmässig grossen Kosten.

Alle von Reibung begleiteten Arbeiten, wie Feilen, Sägen, Bohren, Hobeln u. s. w. wärmen den zu bearbeitenden Gegenstand und erhitzen die Werkzeuge, wie z. B. den Bohrer oder Drehstahl in der Metallbohrerei oder Dreherei so stark, dass man diese durch beständiges Zuführen von Oel oder Wasser abkühlen muss, um das Weichwerden des Stahles zu verhüten. Die Zapfen schnell umlaufender Turbinen können auf 300 bis 400°, hölzerne Naben der Wagenräder bis zur Entzündung erhitzt

---

<sup>1)</sup> Davy fand, dass, wenn man ein mit einem Feuerstein versehenes Flintenschloss in einem luftleeren Raum abdrückt, zwar wegen Mangel des Sauerstoffes keine Funken entstehen, dagegen aber zeigen die abgesprengten Metalltheilchen bei der mikroskopischen Untersuchung Spuren der Schmelzung.

werden. Bei Eisenbahnzügen entsteht beim Anziehen der Bremsen, um erstere schneller zum Stehen zu bringen, oder bei Gefällen ihre Geschwindigkeit zu mässigen, durch die absichtlich hervorgerufene Reibung zwischen den Rädern und hölzernen oder eisernen Bremsklötzen eine so bedeutende Erhitzung, dass sich erstere an den Reibungsflächen, mit Entwicklung eines empireumatischen Geruches, verkohlen und zu rauchen beginnen, letztere dagegen Funken sprühen. Ein eiserner Radschuh wird, wenn er auf der Strasse durch längere Zeit als Hemmschuh fortgeschleift wurde, oft so heiss, dass man ihn nicht anrühren kann, ohne sich die Finger zu verbrennen. Beim Abreiben von weissem Zucker auf einem eisernen Riebeisen, schmelzen abgeriebene Theilchen des Zuckers und nehmen den Geschmack von gebranntem Zucker (Caramel) an. Beim Zuschleifen der Nähnadelspitzen wird der Stahl glühend und die abgeriebenen Theilchen verbrennen mit Funkensprühen. Das beim Adjustiren der Eisenbahnschienen vorkommende Abschneiden ihrer beiden Enden mittelst einer äusserst schnell umlaufenden Kreissäge, bringt ein für das Auge überraschend schönes Funkensprühen hervor. In dunklen Nächten kann man nicht selten unter den beschlagenen Hufen der Pferde, wenn sie in ihrem Laufe mit harten Steinen in Berührung kommen, Funken entstehen sehen, und es ist gewiss nicht unwahrscheinlich, dass schon so manche Pulvermühle, durch einen Arbeiter, der mit seinen nägelbeschlagenen Schuhen einen verhängnissvollen Funken hervorgerufen, in die Luft flog.

6. Aber nicht bloss durch Reibung, sondern auch durch Druck und Stoss wird Wärme erzeugt.<sup>1)</sup> Bringt man z. B. ein Stück Holz oder Blei zwischen die Platten einer hydraulischen Presse und setzt sie einem starken Drucke aus, so kann man an demselben ganz deutlich eine Erhöhung der Temperatur wahrnehmen.

Metalle werden beim Hämmern immer mehr und mehr erhitzt und unter günstigen Umständen selbst zum Glühen gebracht. Wenn kurze, rothglühend gemachte Stahlstücke, die nur einmal in's Feuer gebracht werden dürfen, unterm Hammer zu langen Stäben ausgestreckt werden, so kommt, nachdem für das Auge die Glühhitze verschwunden ist, diese doch immer wieder an jener Stelle, wo der Hammer aufschlägt, zum Vorschein, und es scheint dabei einem Zuschauer diese Rothglühhitze längs der Stange hin und her zu laufen. Münzen werden beim Prägen ebenfalls warm und selbst Wasser oder Quecksilber wird, wie sich nachweisen lässt, durch das Fallen von bedeutenden Höhen (wie z. B. beim Niagara-fall) erwärmt. Aus Joules Versuchen berechnet sich die Temperaturerhöhung einer bleiernen Flintenkugel, welche einen harten Gegenstand, wie z. B. eine eiserne Panzerplatte, mit einer Geschwindigkeit von 220 Fuss per Secunde trifft, nahe auf  $16.6^{\circ}\text{C.}$ , und da in diesem Falle die entwickelte Wärme im quadratischen Verhältniss der

---

<sup>1)</sup> Nach Rumfords Theorie ist die Wärme eine Art von Molekularbewegung, welche sowohl durch Reibung, Druck und Stoss, als auch durch Verbrennung erzeugt werden kann.

Geschwindigkeit zunimmt, so würde diese Kugel bei einer Geschwindigkeit von circa 1300 Fuss per Secunde, die beiläufige Geschwindigkeit einer Geschützkugel, wenn die durch den Anprall entwickelte Wärme, was jedoch nicht der Fall ist, in der Kugel vereint bliebe, zum Schmelzen gebracht. Hohlgeschosse explodiren auch in der That ohne Zunder, durch das blosses Aufschlagen auf harte Gegenstände, indem sich dadurch die eingeschlossene Sprengmasse entzündet. Mayer und Helmholtz berechneten die Wärmemenge, welche durch eine plötzliche Hemmung der Erde, die in ihrem Laufe jede Secunde 41 Meilen zurücklegt, entstehen müsste, und sie fanden, dass die durch diesen colossalen Anstoss erzeugte Wärme nicht nur hinreichen würde, um die Erde zu schmelzen, sondern auch, um sie zum grossen Theil in Dampf zu verwandeln.

Eines der augenscheinlichsten Beispiele, dass auch durch Compression der Luft Wärme erzeugt wird, liegt uns in dem sogenannten pneumatischen Feuerzeug vor, welches auch bereits hier in der geehrten Versammlung zur Anschauung gebracht wurde. Ein in einen hohlen Glascyylinder luftdicht passender Kolben oder Stempel, an welchem unten ein Stückchen Zündschwamm befestigt ist, wird nämlich schnell in den mit Luft gefüllten Cylinder hineingestossen und dabei die Luft derart zusammengepresst, dass die dadurch frei werdende Wärme hinreicht, um den Schwamm zu entzünden.

Zugleich möchte ich vorläufig schon hier darauf aufmerksam machen, dass so wie durch Comprimirung

der Luft, Wärme frei, diese also erhitzt, so wieder umgekehrt erfahrungsgemäss Kälte erzeugt oder Wärme gebunden wird, wenn sich die Luft ausdehnt. Dasselbe gilt natürlich auch für alle Gasarten.

7. Ich habe oben angeführt, dass die sinnreichen Rumford- und Davy'schen Reibungsversuche zunächst dahin geführt haben, die materielle Wärmetheorie zu verlassen und sich der Vibrationstheorie zuzuwenden. Man wurde von der Richtigkeit dieser letzteren Theorie oder Hypothese noch mehr überzeugt, als man sich später mit dem genauen Studium der strahlenden Wärme beschäftigte, indem sich dabei eine vollkommene Analogie zwischen Licht- und Wärmestrahlen, sowohl hinsichtlich der fast momentanen, geradlinigen Fortpflanzung im Raume, als den Gesetzen über die Abnahme ihrer Intensität, der Brechung und ihrer Reflexion oder Zurückwerfung von Spiegelflächen herausstellte.

Man kann heute als vollkommen erwiesen ansehen, dass Licht- und Wärmestrahlen ihrem Dasein nach identisch sind, und der noch vorhandene Unterschied nur quantitativer Natur sein könne, woraus sofort auch folgt, dass die Licht- und Wärmeerscheinungen auf dasselbe Erklärungsprincip zurückgeführt werden müssen.

Nun besteht nach der jetzt allgemein angenommenen Theorie das Licht aus einer Schwingungsbewegung der einzelnen Theilchen oder Atome des leuchtenden Körpers. Da man ferner durch die feinsten und entscheidendsten Experimente der Lichtphänomene zu dem Schlusse geführt wurde, dass der Raum von einer un-

endlich elastischen Flüssigkeit, dem sogenannten Aether, erfüllt ist, durch welchen die Lichtimpulse ihren Weg nehmen, so werden die Schwingungen der erwähnten Atome dem Aether mitgetheilt und in demselben wellenförmig fortgepflanzt; diese Wellen treten durch die Pupille in das Innere des Auges ein und fallen hinten im Auge auf die Retina oder feine Netzhaut, eine Thatsache, die ebenso zweifellos mechanisch, wie das Brechen der Wellen der See am Strande ist. Die Bewegung des Aethers wird der Netzhaut des Auges mitgetheilt, von ihr aus durch den optischen Nerven zum Gehirn geführt und uns dadurch als Licht zum Bewusstsein gebracht.

In ganz ähnlicher Weise hat man sich auch vorzustellen, dass sich die kleinsten Theilchen oder Atome eines erhitzten Körpers in einem Zustande der Bewegung befinden, dass ferner diese Bewegung dem umgebenden Aether mitgetheilt und durch ihn mit einer Geschwindigkeit fortgepflanzt werde, die wir mit vollem Rechte jener des Lichtes gleichsetzen können. Diese Geschwindigkeit wurde sowohl durch astronomische, als auch in der neuesten Zeit durch Beobachtungen, die mit sehr sinnreich construirten optischen Apparaten gemacht wurden, in runder Zahl, zu 42.500 geographischen Meilen per Secunde gefunden.

Wir verdanken sonach, wenn wir an einem kalten Tage unsere erstarrten Hände der Einwirkung des Feuers aussetzen, das Gefühl der Wärme lediglich dem Anprall der Aetherwellen auf die Haut, diese setzen nämlich die Nerven in Bewegung und die dieser Be-

wegung entsprechende Empfindung ist das, was wir im gewöhnlichen Leben Wärme nennen.

### **Das mechanische Aequivalent der Wärme.**

8. Dass, so wie überhaupt zwischen Ursache und Wirkung überall ein bestimmtes Grössenverhältniss besteht, auch bei der Erzeugung von Wärme durch Reibung, Druck, Stoss oder überhaupt durch irgend einen mechanischen Kraftaufwand stets ein unveränderliches Verhältniss zwischen der producirten Wärme und consumirten oder aufgewendeten mechanischen Arbeit stattfinden müsse, haben schon in den Dreissiger Jahren Montgolfier und Séguin vermuthet und angedeutet, aber erst dem schon erwähnten Arzte in Heilbronn, Dr. Mayer, war es vorbehalten, zuerst diesen Gedanken durch seine im Jahre 1842 unternommenen Versuche zur praktischen Geltung zu bringen und das Verhältniss, welches zwischen Wärme und mechanischer Arbeit besteht, wenigstens annähernd anzugeben. Die genauere Bestimmung des mechanischen Aequivalentes jedoch verdanken wir vorzugsweise den sinnreichen Experimenten, welche der englische Physiker Joule in den Jahren von 1843 bis 1849 zu diesem Behufe durchführte.

9. Um Ihnen, hochverehrte Versammlung, von dieser Beziehung zwischen Wärme und Arbeit in Kürze einen Begriff zu geben, so denken Sie sich einen aufrecht stehenden hohlen Cylinder, in welchem ein luftdicht passender Stempel oder Kolben leicht auf- und abge-

schoben werden kann. Unter diesem Kolben befinde sich comprimirt Luft von einer gewissen Temperatur, welche durch ihr Bestreben, sich auszudehnen, den Kolben oder Stempel, der auch noch mit einem bestimmten Gewichte belastet sein kann, um eine gewisse Höhe fortschiebt oder hebt. Da sich die Luft dabei ausdehnt, so wird dieselbe (wie oben §. 6 bemerkt) kälter oder verliert einen Theil ihrer Wärme. Da nun aber durch das Fortschieben oder Heben des Kolbens mit dem darauf lastenden Gewichte eine gewisse mechanische Arbeit verrichtet wird und damit ein Wärmeverlust verbunden ist, so folgert man mit Recht, dass die verschwundene Wärme in Arbeit umgewandelt wurde, und zwar stellt man nach der mechanischen Wärmetheorie den Satz auf, dass die verschwundene oder verbrauchte Wärme genau der verrichteten Arbeit proportional sei.

Schiebt man, um gleichsam die Gegenprobe zu machen, jetzt den Kolben oder Stempel wieder auf den ersten oder ursprünglichen Stand zurück, so wird dabei die Luft comprimirt und dadurch erwärmt, und zwar nimmt in der Voraussetzung, dass durch die Cylinderwände keine Wärme verloren geht, die Luft genau wieder die frühere Temperatur an, die sie vor der Ausdehnung hatte; es wird daher die verrichtete Arbeit (um den Kolben hinabzuschieben und dabei die Luft zu comprimiren) wieder in Wärme umgesetzt.

Die Aequivalenz von Wärme und Arbeit besteht also in dem Satze, dass in allen Fällen, in welchen durch Wärme Arbeit entsteht, stets eine der Arbeit proportio-

nale Wärmemenge verschwindet oder verbraucht wird, so wie umgekehrt, durch Verrichtung einer eben so grossen Arbeit, wieder dieselbe Wärmemenge erzeugt werden kann.

10. Joule fand aus einer langen Reihe von Versuchen, die er mit einem kleinen Schaufelrad, welches er durch niedersinkende Gewichte um seine vertical stehende Achse in drehende Bewegung versetzte und dabei in einem mit Wasser gefüllten kupfernen Gefässe umlaufen liess, mithin das Wasser durch Reibung auf eine höhere Temperatur brachte, dass ein mechanischer Kraftaufwand von 772·7 Fussfund (als Mittel von 40 Versuchen) nothwendig sei, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1 Grad F. zu erhöhen. Mit nur geringen Abweichungen, die übrigens bei so heiklichen Versuchen in der Natur der Sache liegen, erhielt er dasselbe Resultat, als er das Wasser mit Quecksilber vertauschte und ferner auch gusseiserne Platten auf einander reiben liess.

Ich will hier nur kurz wiederholen, dass man zur Einheit jeder mechanischen Arbeit, die immer darin besteht, dass eine Kraft irgend eine Last hebt, zieht oder schiebt, diese daher im zusammengesetzten Verhältnisse der Kraft und des Weges steht, durch welchen dieser Widerstand überwunden wird, jene Arbeit oder Leistung nimmt, die in dem verticalen Heben eines Gewichtes von 1 Pfund auf die Höhe von 1 Fuss, oder bei Anwendung des Metermasses, von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter besteht; diese Arbeitseinheit wird im

erstern Falle Fusspfund, im letztern Kilogrammometer oder Meterkilogramm genannt.

Joule machte ausserdem die Beobachtung, dass auch beim Durchgang von Wasser durch enge Röhren Wärme erzeugt werde, und leitete daraus das mechanische Wärmeäquivalent zu 770 Fusspfund ab.

Er dehnte seine Versuche auch auf die durch Compression der Luft, sowie auf die in einem rotirenden Electromagnete frei werdende Wärme aus und er glaubt aus allen seinen Versuchen dieses Wärmeäquivalent mit 772 Fusspfund (englisches Mass und Gewicht) festsetzen zu können, eine Zahl welche jener von 422 Meterkilogramm entspricht.

In Ergänzung dieser denkwürdigen Joule'schen Resultate durch die neueren Versuche von Thomson und Hirn, ist man heute berechtigt, das mechanische Wärmeäquivalent mit 424 Meterkilogramme festzusetzen, also anzunehmen, dass wo immer durch mechanische Mittel Wärme erzeugt wird, jede erzeugte Wärmeeinheit (d. i. so viel Wärme als nöthig ist, um die Temperatur einer Gewichtseinheit Wasser um  $1^{\circ}$  C. zu erhöhen) sofort eine Arbeit von 424 Kilogrammometer verbraucht, so wie umgekehrt, wenn durch Wärme mechanische Arbeit erzeugt, d. i. Wärme in mechanische Kraft umgesetzt wird, jede Wärmeeinheit eine Arbeit von 424 Meterkilogramme verrichten, d. h. ein Gewicht von 424 K. auf eine Höhe von 1 Meter heben kann.

11. Die mechanische Wärmetheorie liefert einen neuen Beweis von der Wechselwirkung der Naturkräfte

und bestätigt den Satz, dass diese wohl ineinander umgewandelt, keineswegs aber vernichtet werden können.

Durch die falsche Meinung, dass die Kraft einer Maschine durch die blosse Reibung aufgezehrt oder vernichtet werden könne (da diese doch in diesem Falle gänzlich in Wärme umgesetzt wird) konnte wohl auch die eben so irrige Meinung entstehen, dass es möglich sein müsse aus dem Nichts, auf welches die Kraft der Maschine (wie man glaubte) reducirt würde, auch wieder umgekehrt, eine Kraft, und in Folge dessen ein mechanisches Perpetuum mobile zu erzeugen; ein Glaube, welchen die scharfsinnigsten Köpfe seit Jahrhunderten, wie natürlich vergebens, zu realisiren suchten.

Fällt z. B. ein Hammer auf ein auf einem Ambos liegendes Stück Blei, so wird dasselbe zusammengedrückt und dabei erwärmt; könnte man alle durch diesen Schlag oder Stoss erzeugte Wärme sammeln und ohne mechanischen Verlust wieder verwenden, so würde sie gerade hinreichen, um den Hammer wieder auf jene Höhe zu heben, von welcher er herabgefallen ist; die mechanische Kraft des in seiner Bewegung durch den Ambos plötzlich gehemnten Hammers ist also nicht verloren, sondern wurde in Wärme umgewandelt, d. i. die Bewegung theilte sich den Atomen des Bleies mit und gab sich den geeigneten Nerven als Wärme kund.

Die durch Ueberwindung einer die Bewegung hemmenden Reibung erzeugte Wärme ist in allen Fällen das genaue Mass der Kraft, welche angewendet wurde, um die Reibung zu überwinden. Diese Wärme ist nämlich

einfach die ursprüngliche Kraft in einer andern Form, und wenn wir diese Umwandlung vermeiden wollen, so müssen wir die Reibung verhindern, oder wo diess absolut unmöglich, wenigstens so viel als thunlich vermindern. Aus diesem Grunde befeuchten wir den Schleifstein mit Oel oder Wasser, bestreichen das Sägeblatt mit Fett, und schmieren die Achsen unserer Eisenbahnräder mit Oel, Talg oder sonstigen Fettstoffen ein.

Ein Eisenbahnzug wird beim Einfahren in eine Station einfach dadurch zum Stehen gebracht, dass die ganze bewegende Kraft, welche der Zug unmittelbar vorher besass, durch Anwendung der Bremsen in Wärme umgesetzt oder verwandelt wird.

Wenn der Schreiner oder Zimmermann ein Stück Holz durchsägt, so gebraucht er die Muskelkraft seines Armes in der Absicht, die Bestandtheile des Holzes in ihrem Zusammenhange durch die Zähne der Säge zu trennen. Findet dabei aber starke Reibung an der breiten Fläche des Sägeblattes statt, so wird ein Theil seines Kraftaufwandes zur Erzeugung von Wärme verwendet und der eigentlichen Bestimmung entzogen, es ist nämlich die Leistung des Werkzeuges eine geringere, oder die Kraftanstrengung eine grössere, als wenn die Säge ohne Reibung arbeitete. Gleichwohl entspricht das Gesamtergebnis der producirten Arbeit genau der aufgewendeten Muskelkraft, denn die Kraft, welche der Säge als trennendes Werkzeug nicht zu Gute kommt, geht durchaus nicht verloren, sondern wird in Wärme verwandelt. Könnte man die durch die Reibung entstandene

Wärme vollständig sammeln und zur Bewegung der Säge verwenden, so würde die aufgewendete Muskelkraft des Arbeiters genau so zum Zersägen des Holzes verwendet, als wenn keine Reibung vorhanden wäre.

Wenn ich mich hier bei der mechanischen Wärmetheorie vielleicht etwas zu lange aufhielt, so mag mich das Bestreben entschuldigen, Ihnen hochverehrte Anwesende, durch die angeführten Beispiele ein Princip zu erläutern, welches das ganze materielle Universum regiert.

### Ausdehnung der Körper durch Wärme.

12. Ich habe bereits in meinem vorhin erwähnten Vortrag über Wasserdampf angeführt, dass die drei Aggregatzustände, unter welchen uns alle Körper erscheinen, nämlich ob fest, flüssig oder gasförmig, lediglich von dem Verhältniss abhängen, in welchem sich die anziehenden und abstossenden Kräfte zwischen den Atomen des betreffenden Körpers, d. i. der Cohäsions- und der durch die Wärme hervorgerufenen Repulsionskraft, gegeneinander befinden, und dass bei festen Körpern die Cohäsionskraft, bei gas- oder luftförmigen Körpern die durch Wärme erzeugte abstossende oder Repulsionskraft die überwiegende sei, dagegen bei tropfbar flüssigen Körpern zwischen beiden dieser Kräfte das Gleichgewicht bestehe.

Auch habe ich darauf aufmerksam gemacht, dass sich alle Körper in der Regel um so mehr ausdehnen,

je mehr Wärme ihnen zugeführt wird, indem dadurch die Körperatome immer mehr von einander entfernt werden; dabei scheinen die im innern wirkenden Molekularkräfte eine unbegrenzte Energie zu besitzen, da durch diese ausdehnende Kraft jeder auch noch so grosse Widerstand überwunden wird. Was die eben so energisch auftretende zusammenziehende Kraft beim Erkalten des Körpers betrifft, so habe ich im genannten Vortrag als ein Beispiel auf den Fall aufmerksam gemacht, in welchem es gelungen ist, durch diese Kraft das der Länge nach gesprungene Gewölbe des Schiffes jenes alten Klosters, welches heute für die Sammlung der Werkzeuge und Gegenstände der Industrie des Conservatoire des arts et métiers zu Paris dient, durch Zusammenziehen der gewichenen Seitenmauern mittelst durchgezogener eiserner Schliessen, welche zuerst erhitzt wurden und sich hierauf zusammenzogen, wieder vollständig zu schliessen.

13. Gestatten Sie mir, hochverehrte Versammlung, mit wenigen Worten auf den ebenfalls angeführten merkwürdigen Ausnahmefall zurückzukommen, welcher sich bei der Ausdehnung des Wassers durch Wärme und namentlich beim Gefrieren desselben ergibt.

Denken Sie sich eine mit Wasser vollgefüllte und dicht verschlossene Flasche in eine Kälte erzeugende Mischung (wie etwa von gestossenem Eis mit Salz gemengt) gesetzt. Die Wärme des Wassers wird an diese Kältemischung abgegeben, das Wasser erkalte und zieht sich dabei zusammen. Dieses Zusammenziehen geht sehr langsam und steht, sobald das Wasser die Temperatur

von  $4^{\circ}$  C. erreicht hat, vollends still, worauf eine leichte Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung beginnt, d. h. das Wasser fängt an, obschon die Temperatur fortwährend sinkt, sich auszudehnen und zwar um so schneller, je kälter dasselbe wird; diese Ausdehnung dauert fort bis das Wasser bis  $0^{\circ}$ , d. i. unmittelbar vor dem Gefrieren, nahezu dasselbe Volumen wie bei  $8^{\circ}$  Wärme besitzt. In dem Momente als das Wasser erstarrt oder zu Eis wird, tritt durch den Uebergang in den festen Aggregatzustand gleichsam eine sprungweise Volumsveränderung ein und dasselbe dehnt sich um beinahe  $\frac{1}{10}$  jenes Volumens aus, welches das Wasser bei  $0^{\circ}$  einnahm. Aus diesem Grunde ist auch das Eis specifisch leichter geworden und schwimmt, wie bekannt auf dem Wasser <sup>1)</sup>. Führt man diesem bis  $0^{\circ}$  oder selbst unter Null erkalteten Wasser <sup>2)</sup> wieder Wärme zu, so ist die Reihenfolge der Veränderungen die umgekehrte. Das Wasser zieht sich anfangs zusammen, bis es bei  $4^{\circ}$  C. seine grösste Dichtigkeit erreicht, und erst von da an tritt eine regelmässige Ausdehnung ein.

Die ausdehnende Kraft, mit welcher sich die genannte Molekularveränderung beim Starrwerden des Wassers vollzieht, ist absolut unwiderstehlich. Man bringt dieses Factum gewöhnlich dadurch zur Anschauung,

---

<sup>1)</sup> Für luftfreies Eis von  $0^{\circ}$  wurde das specifische Gewicht (jenes des Wassers = 1 gesetzt) von 0.916 bis 0.918 gefunden.

<sup>2)</sup> Unter gewissen Umständen und Vorsichten kann man das Wasser selbst bis  $10^{\circ}$  unter Null flüssig erhalten.

dass man starke eiserne Flaschen (oder Bombenkugeln) vollständig mit Wasser füllt, die Oeffnung verschraubt und sie so dem Froste aussetzt; durch die mit der Eisbildung verbundene Ausdehnung des Wassers werden diese sofort zersprengt oder zum Bersten gebracht.

14. Aus diesem Naturgesetze lassen sich nun leicht auch jene Erscheinungen erklären, welche öfter bei unsern Wasserleitungsröhren vorkommen, wenn sie gegen Frost nicht gehörig geschützt sind; sie bekommen eben auch durch das Gefrieren des Wassers Risse, die sich gewöhnlich erst im Frühjahr bei Thauwetter, wo diese zu rinnen anfangen, zu erkennen geben.

Eben so werden nicht selten poröse Steine gelockert und an den Berglehnen — was namentlich für manche Eisenbahnen die nachtheiligsten Folgen hat — zum Abrutschen gebracht. Die Zellen mancher im Saft befindlichen Pflanzen werden zerrissen; die Ackerkrumme zertheilt u. s. w. Ueberhaupt ist die gewaltsame Ausdehnung des gefrierenden Wassers das wirksamste Mittel der Zerstörung und Verwitterung auf unserer Erdoberfläche.

15. Die eben angeführte Anomalie, welche in dem Ausdehnungsgesetze beim Wasser stattfindet, spielt im Haushalte der Natur bei der Eisbildung unserer Seen eine höchst merkwürdige Rolle.

Denken Sie sich, geehrte Versammlung, einen See unter einem heitern Winterhimmel und betrachten Sie den Vorgang, welcher ohne die erwähnte Anomalie eintreten würde. Das Wasser an der Oberfläche des Sees

würde kalt, zöge sich zusammen, wird dadurch schwerer und sinkt vermöge grösseren specifischen Gewichtes nach abwärts, während dessen Platz von dem untern, leichtern Wasser eingenommen wird. Nach einer Weile wird auch diese Wasserschichte kälter und sinkt ebenfalls. Auf diese Weise bildet sich eine Circulation, durch welche das kältere, also dichtere Wasser, stets hinabsinkt und das wärmere, also leichtere Wasser, an die Oberfläche steigt. Denken wir uns nun diesen Kreislauf auch dann noch fortgesetzt, nachdem sich bereits an der Oberfläche Eiskrusten gebildet haben. Das Eis würde sinken, sobald es sich gebildet hat, und dieser Process so lange fort-dauern, bis alles Wasser des Sees in den festen Zustand übergegangen wäre. Die Folge davon würde der Tod jedes lebenden Wesens im Wasser sein. Aber gerade hier tritt die Natur aus ihrem gewöhnlichen Geleise heraus, gestattet, dass sich das Wasser durch die Abkühlung unter  $4^0$  ausdehnt und das kalte Wasser, da es dadurch leichter geworden, über dem wärmeren schwimmt. Später wird diese obere Schichte in Eis verwandelt und bildet, ohne zu sinken, über die in der Tiefe des Sees lebenden Wesen ein schützendes Dach.<sup>1)</sup>

Eine ähnliche Ausnahme von der Regel, dass Wärme Ausdehnung und Kälte Zusammenziehung bewirkt, finden wir, wie beim Wasser, auch beim geschmolzenen

---

1) John Tyndall: Die Wärme. Nach der 2. Auflage übersetzt von H. Helmholtz und G. Wiedemann. Drittes Capitel.

Wismuthmetall, welches sich beim Erstarren bedeutend ausdehnt.<sup>1)</sup>

16. Ich möchte Sie schliesslich noch auf einige Erscheinungen aufmerksam machen, die in unserem Haushalte öfters vorkommen und ihren Grund nur in der Ausdehnung und Zusammenziehung durch Wärme und Kälte haben.

Giessen wir z. B. in ein kaltes Glasgefäss eine heisse Flüssigkeit, so wird die innere Glasschichte ausgedehnt und presst die äussere noch kalte Schichte derart, dass das Glas bei seiner spröden Beschaffenheit leicht springen kann, und zwar um so eher, je dicker das Glas ist; ähnliche Erfahrungen machen wir leider oft genug mit unsern Lampengläsern, wenn diese zu dick sind; daher müssen wir diese vor ihrem Gebrauche erst langsam erwärmen.

---

<sup>1)</sup> In der Regel ziehen sich geschmolzene Metalle beim Erstarren zusammen, d. h. sie schwinden; aus diesem Grunde muss man in den Giessereien die Gussformen um diesen Theil (um das Schwindmass) grösser machen als das kalte Gussstück sein soll.

Um noch auf einige weitere hieher gehörige Ausnahmen aufmerksam zu machen, so mag bemerkt werden, dass wohl Wärme beim Zusammendrücken der Metalle, dagegen Kälte entwickelt wird, wenn Metalldraht gespannt d. i. ausgedehnt, jedoch dabei dünner wird.

Auch werden Kautschukstreifen, wenn sie ausgedehnt werden, warm und ziehen sich, wenn sie in diesem ausgedehnten Zustande erwärmt werden, nach Joule's Versuchen zusammen.

Stellen wir ein kaltes Glas auf einen heissen Ofen, so kann, weil jetzt die äusseren Schichten zuerst erwärmt und ausgedehnt werden, dasselbe eintreten, wenn man sich nicht durch das Unterlegen eines sich langsam und gleichförmig erwärmenden Körpers, wie etwa Papier, dagegen zu schützen sucht.<sup>1)</sup>

### Das Thermometer.

17. Obschon ich in meinem Vortrage über Wasserdampf auch über das Thermometer gesprochen habe, so möchte ich doch der Wichtigkeit wegen, welche dasselbe im gewöhnlichen Leben besitzt, hier nochmals in Kürze darauf zurückkommen. Ich brauche dabei kaum zu wiederholen, dass wir den Wärmegrad der verschiedenen Gegenstände keineswegs durch das Gefühl richtig zu beurtheilen im Stande sind, denn oft kommt dem Einen etwas, wie z. B. ein Zimmer warm vor, welches ein Anderer kalt findet. Ja selbst ein und dasselbe Individuum findet einen guten Keller im Sommer kalt, im Winter warm. Das laue Wasser, wird ihm beim Prüfen mit der Hand, kalt oder warm vorkommen, je nachdem er

---

<sup>1)</sup> Auf demselben Principe beruht die Erscheinung der sogenannten Bologneser Fläschchen, welche, nachdem sie geblasen, schnell abgekühlt werden. Dadurch erhalten die inneren gegen die äussern Schichten eine so unnatürliche Spannung, dass ein in das Fläschchen geworfenes Quarzkörnchen, wodurch das Glas nur unmerklich geritzt wird, hinreicht, um den Boden herauszusprengen.

unmittelbar vorher diese Hand in ein warmes oder kaltes Wasser getaucht hat.

Um daher für die Vergleichung der verschiedenen Wärmegrade einen richtigeren Massstab als es unser Gefühl ist, zu erhalten, wurden eben die Thermometer erfunden.

Das erste, jedoch noch sehr ungenaue Thermometer, da es zugleich ein Barometer war, wurde von dem holländischen Landmann Drebbel um das Jahr 1638 construirt. Das später, gegen Ende des 17. Jahrhunderts, von der Florentiner Akademie del Cimento ausgegangene Weingeist-Thermometer hatte bereits die Form und Einrichtung unserer heutigen Thermometer.

In Beziehung auf das Thermometer sagt Goethe wohl nicht mit Unrecht:

„Das Thermometer beschäftigt Jedermann, und wenn er schmachtet oder friert, so scheint er in gewissem Sinne beruhigt, wenn er nur sein Leiden nach Réaumur oder Fahrenheit dem Grade nach ausdrücken kann.“

Da das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt, so kann man die durch die Wärme entstehende Ausdehnung eines Körpers als einfachstes Mittel dazu benützen, um den Grad seiner Erwärmung, d. i. dessen Temperatur zu bestimmen oder zu messen; die hiezu dienenden Instrumente sind eben unsere Thermometer.

Ich habe in dem genannten Vortrage darauf hingewiesen, dass man sich in der Regel, wegen der sehr gleichmässigen Ausdehnung, welche das Quecksilber

besitzt, <sup>1)</sup> des Quecksilberthermometers bedient und dass dabei der Fundamentalabstand zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers entweder, wie beim Réaumur'schen Thermometer in 80, oder wie beim Celsius'schen, welches man jetzt durchgehends bei wissenschaftlichen Untersuchungen benützt, in 100 gleiche Theile oder Grade getheilt wird. <sup>2)</sup> Bei dem bis jetzt noch in England allgemein gebräuchlichen Fahrenheit'schen Thermometer, bei dessen Scala ein durch eine Kältemischung erzeugter künstlicher Nullpunkt angenommen wird, der um  $17\frac{7}{9}^{\circ}\text{C.}$  unter dem natürlichen Gefrierpunkt des Wassers, oder Schmelzpunkt des Eises liegt, wird der genannte Fundamentalabstand weder in 80, noch 100, sondern in 180 gleiche Theile oder Grade getheilt, und dadurch muss auf dieser Scala der Schmelzpunkt des Eises mit 32, und der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet werden. <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Das Quecksilber dehnt sich von 0 bis  $100^{\circ}\text{C.}$  vollkommen regelmässig um  $\frac{1}{55.5}$  seines bei  $0^{\circ}$  besitzenden Volumens, also nahezu 7mal stärker als das dasselbe einschliessende Glas aus.

<sup>2)</sup> Man kann Quecksilberthermometer construiren, die aufwärts bis  $360^{\circ}$  d. i. nahe an den Siedepunkt ( $+400^{\circ}\text{C.}$ ) und abwärts bis  $-35^{\circ}$  oder nahe bis zum Gefrierpunkt des Quecksilbers ( $-40^{\circ}\text{C.}$ ) zeigen.

<sup>3)</sup> Es verdient bemerkt zu werden, dass der zu Danzig im Jahre 1686 geborne und später nach Holland ausgewanderte Physiker Fahrenheit, jene Kälte, welche er in dem sehr strengen Winter des Jahres 1709 in Danzig erlebte, für die grösstmögliche hielt und diese daher seiner Thermometerscala zu Grunde legte.

Nach diesen Angaben fällt es nicht schwer, die eine dieser 3 Thermometerscalen in die andere zu verwandeln.<sup>1)</sup>

Da er diese Kälte irrthümlicher Weise für die absolut grösste ansah, so nannte er diesen Punkt den absoluten Nullpunkt.

Heute versteht man unter dem absoluten Nullpunkt jenen, welcher die Temperatur bezeichnet, bei welcher ein (ideelles) Gas weder eine Spannung, noch eine Wärme mehr besitzt; dieser Punkt liegt nach der Berechnung um  $273^{\circ}\text{C}$ . unterm Gefrierpunkt des Wassers. Bei Gasen zählt man daher auch ihre Temperatur von diesem Punkte aus.

Fahrenheit war übrigens auch der Erste, welcher sich (im Jahre 1714) statt des Weingeistes des Quecksilbers als thermometrische Flüssigkeit bediente.

<sup>1)</sup> Bezeichnet man diese 3 Scalen kurz mit den Anfangsbuchstaben R, C und F, so verhalten sich die Grössen oder Längen der Grade auf diesen Scalen,  $R:C = 100:80 = 5:4$ ,  $R:F = 180:80 = 9:4$ ,  $C:F = 180:100 = 9:5$ . Oder es ist  $R = \frac{5}{4}C = \frac{9}{4}F$ ;  $C = \frac{4}{5}R = \frac{9}{5}F$ ;  $F = \frac{4}{9}R = \frac{5}{9}C$ . d. h.  $1^{\circ}\text{R}$  ist eben so gross wie  $\frac{5}{4}^{\circ}\text{C}$  oder  $\frac{9}{4}^{\circ}\text{F}$ . u. s. f. Es betragen also z. B.  $36^{\circ}\text{R}$  so viel wie  $\frac{5}{4} \times 36 = 45^{\circ}\text{C}$ .

Bei der Umwandlung jedoch der nach R. oder C. angegebenen Temperatur für das Fahrenheit'sche Thermometer, muss man zu der durch die oben erwähnte Reduction erhaltenen Zahl noch 32 hinzuaddiren und umgekehrt, von der Zahl der nach F. angegebenen Grade vor der Reduction die Zahl 32 abziehen. Eine an der R. Scala gemessene Temperatur, von z. B.  $36^{\circ}$ , würde auf dem F. Thermometer  $\frac{9}{4} \times 36 + 32 = 81 + 32 = 113^{\circ}\text{F}$ . zeigen. Eine Wärme von z. B.  $68^{\circ}\text{F}$ . würde nach Réaumur  $\frac{4}{9}(68 - 32)$  d. i.  $\frac{4}{9} \times 36 = 16^{\circ}$ , oder nach der 100theiligen Scala  $\frac{5}{9} \times 36 = 20^{\circ}$  betragen. In allgemeinen Formeln ausgedrückt ist eine Wärme von  $x^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4}x^{\circ}\text{C} =$

### Specifische Wärme oder Wärmecapacität.

18. Mischt man z. B. 1 Pfund Wasser von  $10^{\circ}$  mit 1 Pfund Wasser von  $60^{\circ}$  Wärme, so wird die Mischung, wenn durch diese Operation keine Wärme verloren geht, genau die mittlere Temperatur von  $35^{\circ}$  zeigen, zum Beweis, dass die Quantität Wärme, welche das wärmere Wasser abgab, um von  $60$  auf  $35^{\circ}$  abzukühlen oder  $25^{\circ}$  an Wärme zu verlieren, gerade hinreichend war, um das kältere Wasser von  $10^{\circ}$  auf  $35^{\circ}$ , also um dieselben  $25^{\circ}$  zu erwärmen; es hat nämlich das eine Pfund Wasser  $25^{\circ}$  an Wärme verloren, das andere dagegen  $25^{\circ}$  gewonnen.

Anders verhält sich die Sache, wenn man zwei verschiedene Substanzen von gleichem Gewichte mit einander mischt. Giesst man z. B. wieder 1 Pfund Wasser von  $10^{\circ}$  mit 1 Pfund Terpentinöl von  $60^{\circ}$  zusammen, so zeigt die Mischung keinesweges mehr  $35$ , sondern nur noch nahezu  $24^{\circ}$  Wärme; das Terpentinöl musste also  $36^{\circ}$  Wärme abgeben, um das gleiche Gewicht von Wasser um  $14^{\circ}$  zu erwärmen, oder mit andern Worten, dieselbe Wärmemenge, welche in 1 Pfund Terpentinöl eine Erhöhung der Temperatur von  $36^{\circ}$  bewirkt, kann die Temperatur von 1 Pfund Wasser nur um  $14^{\circ}$  erhöhen. Man braucht daher, um die Temperatur gleicher Gewichte von Wasser und Terpentinöl von derselben Wärme

---

$(\frac{9}{4} x^{\circ} + 32) F$ , von  $x^{\circ} C = \frac{4}{5} x^{\circ} R = (\frac{9}{5} x^{\circ} + 32) F$ , und von  $x^{\circ} F = \frac{4}{9} (x^{\circ} - 32) R$  oder auch  $= \frac{5}{9} (x^{\circ} - 32) C$ .

um gleich viel zu erhöhen, für das Wasser im Verhältniss von 14:36 d. i. nahezu  $\frac{36}{14} = \frac{18}{7} = 2.57$  Mal so viel Wärmeeinheiten als für das Terpentinöl, oder man sagt, das Wasser habe eine 2.57 Mal grössere Wärmecapacität als Terpentinöl, oder auch, es verhalte sich die specifische Wärme des Terpentinöls zu jener des Wassers, wie 1:2.57. Man versteht nämlich unter der specifischen Wärme eines Körpers die Anzahl der Wärmeeinheiten (§. 10), welche nöthig sind, um die Temperatur der Gewichtseinheit (z. B. 1 Pfund oder 1 Gramm) dieses Körpers um  $1^{\circ}\text{C}$ . zu erhöhen.

Macht man den Versuch mit Wasser und Quecksilber, so ist der Unterschied noch auffallender, denn es zeigt sich, dass man, um in gleichen Gewichten davon dieselbe Temperaturerhöhung hervorzubringen, dem Wasser 30 Mal so viele Wärme als dem Quecksilber zuführen müsse: das Wasser hat also eine 30 Mal grössere Wärmecapacität als das Quecksilber, oder es verhalten sich ihre specifischen Wärmen wie 30:1.

So wie man also, um 1 Pfund Wasser um  $1^{\circ}$  zu erwärmen, 30 Mal mehr Wärme braucht als um 1 Pfund Quecksilber um eben so viel zu erwärmen, eben so gibt auch umgekehrt 1 Pfund Wasser, wenn es sich um  $1^{\circ}$  abkühlt, 30 Mal mehr Wärme ab, als 1 Pfund Quecksilber.

Da bei gleichen Gewichten die specifische Wärme des Wassers = 1 und jene der Luft = 0.237, oder um Brüche zu vermeiden, wenn man die des Wassers = 1000 setzt, jene der Luft = 237 ist, so könnte 1 Pfund

Wasser durch den Verlust von  $1^0$  Wärme, ungefähr 4·2 Pfund Luft, oder da die Luft 770 Mal leichter als Wasser ist, auch 1 Kubikfuss Wasser durch Abgabe von  $1^0$  Wärme, sofort 3234 Kubikfuss Luft um einen Grad erwärmen.

Diese grosse specifische Wärme des Wassers ist auch der Grund, warum der Ocean so viel zur Milderung der Extreme des Klimas beiträgt. Die Sonnenhitze wird im Weltmeere aufgespeichert und während des Winters wieder langsam abgegeben. In einem Inselklima kommen daher Temperaturextreme, wie sie auf dem Festlande stattfinden, nicht vor; auf einer Insel kann weder der Sommer so heiss, noch der Winter so kalt werden wie auf dem Continente. In der Regel ist daher auch der Winter in Irland milder als in der Lombardei.<sup>1)</sup>

### Gebundene oder latente Wärme.

19. Bisher habe ich Sie, hochverehrte Anwesende, mit den für das Leben wichtigsten Wärmeerscheinungen unterhalten, welche bei den Molecularveränderungen der festen oder flüssigen Körper eintreten, ohne dass diese aufhören fest oder flüssig zu sein. Nunmehr möchte ich

---

<sup>1)</sup> Mit dem Wasser verglichen, dessen specifische Wärme = 1 ist, zeigen alle Substanzen, welche in dieser Beziehung untersucht wurden, dafür bedeutend kleinere Werthe; so ist z. B. die specifische Wärme des Bleies = 0·0314, oder wieder die des Wassers = 1000 gesetzt, nur = 31·4, des Goldes = 32·4, des Platina = 32·9, des Quecksilbers = 33·3, des Eises = 504, u. s. w.

Ihre Aufmerksamkeit für einige Minuten auf jene merkwürdigen Erscheinungen der Wärme lenken, welche bei einer Veränderung des Aggregatzustandes der Körper, d. i. wenn sie aus dem festen in den flüssigen, oder aus diesem letzteren in den luft- oder gasförmigen Zustand übergehen, eintreten.

Mischt man z. B. 1 Pfund Schnee von  $0^{\circ}$  mit 1 Pfund Wasser von  $79^{\circ}$  Wärme, so entstehen durch das Schmelzen des Schnees (Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand) 2 Pfund Wasser von der Temperatur  $0^{\circ}$ ; dabei ist also alle Wärme, welche das heisse Wasser von  $79^{\circ}$  bei seinem Erkalten abgegeben hat, um den Schnee zu schmelzen, für das Thermometer und unser Gefühl spurlos verschwunden und lediglich dazu verwendet worden, um Schnee von  $0^{\circ}$  in Wasser von derselben Temperatur zu verwandeln.

Dem englischen Chemiker Black war es bereits im Jahre 1763 gelungen, den für die Wärmelehre höchst wichtigen Satz nachzuweisen, dass bei jeder Schmelzung, wie im eben angeführten Beispiele jene des Schnees, eine Wärmeabsorption stattfindet. Man nennt die bei jeder Schmelzung fester Körper für das Gefühl und Thermometer verschwundene oder absorbirte Wärme, die Schmelzungswärme, auch gebundene oder latente Wärme. <sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Was die Temperatur betrifft, bei welcher Metalle oder sonstige Substanzen schmelzen, so mögen für einige derselben die Schmelzpunkte hier angegeben werden.

Schmiedeeisen schmilzt, je nach seiner Qualität, zwischen  $1500$  und  $1600^{\circ}\text{C.}$ , Stahl von  $1300$  bis  $1400^{\circ}$ , Gusseisen

Dass auch beim Verdampfen von Flüssigkeiten Wärme gebunden oder latent wird, habe ich speciell bei der Verdampfung des Wassers in meinem Vortrage über Wasserdampf angeführt.

Wir können diese Erscheinungen am einfachsten an einem Stück Eis durch fortgesetzte Wärmezuführung nachweisen und den ganzen Kreislauf seiner Existenz verfolgen.

Denken wir uns ein Pfund Eis, welches eine Temperatur von 10 Grad unter Null haben soll, erwärmt, so steigt das in einem daran befestigten Thermometer befindliche Quecksilber allmähig bis  $0^{\circ}$ , an welchem Punkte das Eis zu schmelzen beginnt und das Quecksilber zu steigen aufhört, auch so lange bei dieser Temperatur von  $0^{\circ}$  stille steht, als noch eine Spur vom Eis vorhanden ist. Von diesem Augenblicke an, beginnt das Quecksilber zu steigen, und steigt allmähig auf 10, 20, 60 und  $100^{\circ}$ ; in diesem Momente zeigen sich Dampfblasen im Wasser und dasselbe fängt an zu sieden, ohne dass das Thermometer höher als  $100^{\circ}$  C. steigt.

Allein während das Eis schmilzt und das Wasser verdampft, wird unausgesetzt zuerst dem Eise und dann dem Wasser Wärme zugeführt, und zwar wird dabei zum blossen Schmelzen des Eises so viel Wärme verbraucht als hinreichen würde, um die Temperatur von 1 Pfund

---

zwischen  $1000$  und  $1200^{\circ}$ , Silber bei  $1000^{\circ}$ , Zink bei  $360^{\circ}$ , Blei bei  $334^{\circ}$ , Zinn bei  $230^{\circ}$ , Stearin bei 43 bis  $49^{\circ}$ , Seife bei  $33^{\circ}$ , Eis bei  $0^{\circ}$ , Terpentinöl bei  $-10^{\circ}$ , Quecksilber bei  $-40^{\circ}$ , schwefliche Säure bei  $-76^{\circ}$ , u. s. w.

Wasser um  $79\frac{1}{4}^{\circ}$  zu erhöhen (äquivalent mit  $79\frac{1}{4}$  Wärmeeinheiten); eben so wird bei der Verwandlung des Wassers von  $100^{\circ}$  in Dampf von derselben Temperatur, 540 Mal so viel Wärme consumirt, als nöthig ist, um 1 Pfund Wasser um  $1^{\circ}$  C. zu erwärmen (es werden nämlich dazu 540 Wärmeeinheiten verbraucht). Diese beiden Zahlen  $79\cdot25$  und 540 repräsentiren demnach beziehungsweise die latente Wärme des Wassers und des Wasserdampfes.

Hieraus wird es auch begreiflich, warum es sehr unökonomisch ist, zum Kochen oder Heizen feuchtes oder gar nasses Holz zu benützen, denn alle die nicht unbedeutende Wärme, welche verwendet werden muss, um vorerst das anhaftende Wasser zu verdampfen, geht für den eigentlichen Zweck verloren.

Ich möchte mir hier erlauben, Sie darauf aufmerksam zu machen, dass in Uebereinstimmung mit dem im §. 8 über die Beziehung zwischen Wärme und mechanische Arbeit Gesagten, auch hier der Vorgang des Flüssigwerdens fester Körper nichts Anderes als innere Arbeit ist, welche darin besteht, die Atome in neue Stellungen zu bringen. Auch der Vorgang der Verdampfung flüssiger Körper ist Arbeit, und zwar eine zweifache, nämlich eine der vorigen ähnliche innere, und ausserdem noch eine äussere, welche in der Ueberwindung des äussern Luftdruckes besteht.

20. Dass beim Verdampfen einer Flüssigkeit Wärme gebunden oder absorbirt wird, davon kann man sich auch leicht durch das Gefühl überzeugen, wenn man etwas

Weingeist oder Aether, am wirksamsten Schwefeläther, auf die Hand giesst; dabei wird derselben, durch das sofortige Eintreten der Verdampfung des Aethers, Wärme entzogen und bringt dadurch auf der Hand das Gefühl von Kälte hervor.

Aus demselben Grunde besprengen wir auch öfter an heissen Tagen unsere Zimmerböden mit Wasser, weil das verdunstende Wasser Wärme absorbiert und das Zimmer abkühlt.

Auf derselben Ursache beruht das Kühlen von Wasser und sonstigen Flüssigkeiten in den sogenannten Alcarazza's, deren man sich in Spanien zu diesem Behufe bedient. Es sind diess bekanntlich poröse Thongefässe, welche der Verdunstung eine grosse Oberfläche darbieten. Die in denselben befindlichen Flüssigkeiten sickern durch die Wände durch, verdampfen in der umgebenden wärmeren Luft ziemlich rasch<sup>1)</sup> und entziehen dadurch der Flüssigkeit einen Theil der Wärme.

In Bengalen wird Eis, welches dort sonst niemals natürlich vorkommt, künstlich dadurch erzeugt, dass man in seichte, zum Theil mit Stroh ausgelegte Gruben, flache Pfannen setzt, diese mit Wasser füllt und dasselbe dem heitern Nachthimmel zur Verdunstung aussetzt. Bei dem grossen Wärmeausstrahlungsvermögen des Wassers, verliert dasselbe, ohne dass diese durch die Erde, von welcher dasselbe durch das schlecht wärme-

---

1) Besonders wenn man diese Gefässe noch bewegt, wozu diese gewöhnlich unter Bäumen aufgehängt und hin- und hergeschwungen werden.

leitende Stroh isolirt ist, ersetzt werden kann, während der Nacht so viele Wärme, dass sich bis zum Sonnenaufgang in jedem dieser Gefässe ein grosser Eisklumpen gebildet hat.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Von der Kälte erzeugenden Wirkung der sich rasch ausdehnenden Luft, erhielt ich bei den Bohrmaschinen, welche im Tunnel des Mont Cenis mit comprimierter Luft betrieben wurden, einen augenscheinlichen Beweis, indem sich mit Wasser befeuchtetes Werg gegen die Ausströmungsöffnung der comprimierten Luft gehalten, augenblicklich mit einer Eiskruste bedeckte.

Auch die Kälte erzeugenden Mischungen von Schnee oder gestossenem Eis mit Salz, beruhen auf dem Umstande, dass beide Substanzen dabei ihren Aggregatzustand ändern und flüssig werden.

So wie beim Schmelzen fester Körper überhaupt Wärme absorbiert oder gebunden wird, so geschieht diess auch, wenn feste Körper, wie Salze, in einer Flüssigkeit aufgelöst werden, also ebenfalls in den flüssigen Zustand übergehen. Wird z. B. Salz im Wasser aufgelöst, so wird dadurch ein Theil von Wärme gebunden oder verbraucht.

Die hierzu nothwendige Wärmemenge kann nun entweder von aussen zugeführt oder, wenn diess nicht der Fall ist, so muss ein Theil der bis dahin im Wasser und Salz vorhanden gewesenen freien oder fühlbaren Wärme dazu herangezogen oder verwendet werden; die Temperatur dieser Salzlösung muss demnach nothwendigerweise herabsinken.

Rührt man z. B. gepulverten Salpeter in Wasser ein, so sinkt die Temperatur des Wassers augenblicklich um mehrere Grade herab.

In einem noch höheren Masse aber muss diess stattfinden, wenn z. B. Schnee oder gestossenes Eis von 0° mit Kochsalz von 0° miteinander gemengt werden, weil jetzt z wei feste

21. Dieselbe Wärmemenge, welche beim Flüssigwerden fester, und Verdampfen flüssiger Körper gebunden oder gleichsam verschluckt wird, kommt bei dem umgekehrten Prozesse, d. i. beim Erstarren zu festen und Condensiren der Dämpfe zu flüssigen Körpern, wieder zum Vorschein.

In ersterer Beziehung will ich nur auf die auffallende Wärmeentwicklung aufmerksam machen, die wir wohl Alle schon beim Löschen des Kalkes beobachtet haben. Wird nämlich gebrannter Kalk bis zu einem Drittel seines Gewichtes mit Wasser besprengt, so

---

Körper in der sich bildenden Salzlösung in den flüssigen Zustande übergehen, also noch mehr Wärme gebunden werden muss. Ist  $a$  die freie Wärme der beiden Ingredienzen vor der Vermengung, und  $b$  die nöthige Wärme, um beide zu schmelzen, oder in den flüssigen Zustand überzuführen, so kann die Salzlösung, wenn von aussen her keine Wärme zugeleitet wurde, nur mehr die Temperatur von  $a-b$  besitzen.

Auf diesem Principe beruht nun die Wirksamkeit der sogenannten Kältemischungen, von denen ich einige der bekanntesten hier anführen will.

So erzeugt 1 Gewichtstheil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee von  $0^{\circ}$  eine Temperatur von  $-21^{\circ}$ , also eine Kälte von 21 Grad; ebenso 3 Theile salzsauerer Kalk mit 2 Theilen Schnee von  $0^{\circ}$  eine Kälte von  $-28^{\circ}$ . 1 Gewichtstheil verdünnter Schwefelsäure mit 1 Theil Schnee von  $-7^{\circ}$  eine Temperatur von  $-51^{\circ}$  u. s. w.

Die oben (in §. 17) erwähnte Kälte oder Temperatur von nahe  $-17.7^{\circ}\text{C}$ . welche den Nullpunkt der Fahrenheit'schen Thermometerscala bildet, wird durch eine Mischung von Schnee und Salmiak zu gleichen Theilen hervorgebracht.

wird das Wasser von dem Kalke mit grosser Heftigkeit absorbirt und unter bedeutender, oft bis zu  $300^{\circ}$  steigender Wärmeentwicklung, in feste Krystalle verwandelt.

In der zweiten Beziehung brauche ich nur auf unsere Dampfheizungen hinzuweisen, bei welchen die Wasserdämpfe durch Röhren in die zu beheizenden kalten Räume geleitet werden, und indem sie sich in diesen Röhren abkühlen und wieder zu Wasser verdichten, geben sie die gebundene Wärme wieder ab und beheizen dadurch die betreffenden Räume.

### Wärmeleitung.

22. Bringt man zwei Körper oder Substanzen von ungleicher Temperatur mit einander in Berührung, so gibt der wärmere an den kälteren so lange Wärme ab, bis beide nach längerer oder kürzerer Zeit die gleiche Temperatur erlangt haben. Der Uebergang der Wärme von einem Körper zu einem anderen geschieht durch äussere, die Weiterverbreitung durch die ganze Masse von Theilchen zu Theilchen, durch die sogenannte innere Wärmeleitung. In Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich sodann durch seine ganze Masse verbreitet, findet jedoch ein bedeutender Unterschied statt; in manchen Körpern verbreitet sich die Wärme ausserordentlich leicht und schnell, während bei anderen das Gegentheil stattfindet; man nennt die ersteren gute, die letzteren schlechte Wärmeleiter. So kann man z. B. ein brennendes Zünd-

hölzchen am anderen Ende durch längere Zeit ganz gut zwischen den Fingern halten, ohne von der entwickelten Wärme etwas zu verspüren, während ein ebenso langer Eisendraht, an einem Ende glühend gemacht, am andern Ende augenblicklich so heiss wird, dass man sich die Finger verbrennt. Das Holz ist sonach ein schlechter, das Eisen ein guter Wärmeleiter.

23. Nach den zahlreichen Beobachtungen sind unter allen Körpern die Metalle die besten, die lockern organischen Stoffe, wie Wolle, Seide, Stroh, Haare u. s. w. die schlechtesten Wärmeleiter.<sup>1)</sup> Lässt man Metalle, Holz, Wolle u. dgl. so lange der Kälte ausgesetzt, bis sie alle dieselbe niedere Temperatur angenommen haben (wovon man sich auch durch das Thermometer überzeugen kann) und nimmt diese Körper in die wärmere

---

<sup>1)</sup> Drückt man das Wärmeleitungsvermögen durch Zahlen aus, und geht in der Reihe von den bessern zu den schlechtern Leitern über, so erhält man, das Leitungsvermögen des Silbers mit 100 bezeichnet, für Kupfer, Messing, Zink, Zinn, Eisen, Blei, Platin, Neusilber und Wismuth beziehungsweise, nahezu die Zahlen: 74, 23, 19, 15, 12, 9, 8, 6, 2. Für Marmor und Porcellan nimmt man die Zahlen 2·3 und 1·2 an.

Nach den von Rumford über die Leitungsfähigkeit jener Substanzen, welche zur Bekleidung der Menschen verwendet werden, vorgenommenen Versuchen, lässt sich dafür folgende Reihe aufstellen: Flachs, Baumwolle, Schafwolle, Tafet, rohe Seide, Bieberfell, Eiderdunen, Hasenhaar; so, dass also darunter Flachs der beste und Hasenhaar der schlechteste Wärmeleiter ist. Auch Holz, welches nach der Richtung der Fasern besser als nach der Querrichtung leitet, so wie Asche und Kohle gehören zu den schlechten Wärmeleitern.

Hand, so wird uns das Metall viel kälter als das Holz oder gar die Wolle vorkommen, weil das Metall als guter Leiter unserer Hand viel schneller die Wärme entzieht, als diess bei Holz oder Wolle, die sich auch überdiess viel langsamer als das Metall erwärmen, der Fall ist.

Ueberhaupt erscheinen unserm Gefühle alle gut leitenden Körper wärmer oder kälter als die schlecht leitenden zu sein, je nachdem sie wärmer oder kälter als unsere Hand sind. Aus diesem Grunde erhält unsere Hand das nämliche Gefühl des Verbrennens, von Quecksilber bei  $50^{\circ}$ , bei Wasser von  $55$  bis  $60^{\circ}$  und bei Luft (als schlechtester Wärmeleiter) erst bei  $120^{\circ}$  Hitze.

24. Wir machen im gewöhnlichen Leben von der bessern und schlechtern Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Körper zahlreiche Anwendung. Gegenstände, die man gegen die Kälte schützen will, umgibt man mit schlechten Wärmeleitern. So umwickelt man Bäume, Sträucher, Brunnenstöcke im Winter mit Stroh, Leitungsröhren mit Lehm oder Tuchenden. Um das Eis in unsern Eiskellern, besonders wenn diese über der Erde angelegt sind, zu conserviren, wird es mit schlechten Wärmeleitern, wie Asche, Sägespäne u. s. w. umgeben und mit Stroh zugedeckt, um das Eindringen der Wärme von aussen her zu verhindern. Unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern gefertigt sind. Bei metallenen Milchkanen und Theekesseln, macht man die Henkel oder Handgriffe gerne aus Holz, um sich beim Gebrauche derselben nicht die Finger zu verbrennen.

In einem kupfernen Gefässe bringt man eine Flüssigkeit (wie bei unsern „Schnellsiedern“) schneller zum Sieden, als in einem Porcellangefässe. Thönerne Oefen werden langsamer warm als eiserne, halten aber dafür auch die Wärme länger zurück.

Hält man ein Drahtgewebe, bei welchem 400 bis 500 Maschen auf den Quadratzoll gehen, über eine Weingeistflamme, so geht die Flamme nicht durch, sondern scheint durch das Netz wie abgeschnitten. Die Ursache davon liegt darin, dass das Gewebe, wegen der guten Leitung des Metalles, so viele Wärme wegführt, dass sich ober dem Netze die zum Brennen des Gases nothwendige Wärme nicht mehr vorfindet.

Hierauf gründet sich die von Davy um das Jahr 1816 construirte Sicherheits-Lampe, welche die Bergleute zur Verhütung der in Steinkohlenbergwerken leider nur noch zu häufig vorkommenden Explosionen benützen. Es ist diess eine einfache Oellampe, deren Flamme von einem cylindrischen feinen Drahtnetz umgeben, und durch einen Deckel aus Messingblech geschlossen ist.

Das in den Steinkohlenschichten sich öfters bildende Kohlenwasserstoffgas explodirt, wenn es sich mit einer hinreichenden Menge von atmosphärischer Luft gemengt hat, beim Entzünden, mit einer für die Bergleute, welche diese Gase „schlagende Wetter“ nennen, meist verhängnissvollen Heftigkeit, indem sie dabei verbrennen oder ersticken.

Bei Benützung dieser Lampe in einer solchen explosiven Atmosphäre, dringt diese wohl in das Innere bis

zur Flamme, die dadurch bläulich und beinahe lichtlos wird, doch kann sich die Verbrennung durch das Drahtgewebe nicht nach aussen mittheilen oder fortpflanzen.

25. Bei Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme in Gefässen gewöhnlich durch Strömungen, welche dadurch entstehen, dass die erwärmten Theilchen, da sie specifisch leichter werden, in die Höhe steigen. Erwärmt man dagegen eine Flüssigkeit vorsichtig, um das hydrostatische Gleichgewicht nicht zu stören, von oben, so kann sich die Wärme durch die Masse der Flüssigkeit nur in derselben Weise fortpflanzen, wie diess bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schichte zur andern übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich aber die Wärme nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, woraus man schliessen muss, dass die Flüssigkeiten sehr schlechte Wärmeleiter sind. Nach angestellten Versuchen besitzt z. B. das Wasser eine beiläufig 95 Mal geringere Wärmeleitungsfähigkeit als das Kupfer.

26. Was endlich die Wärmeleitungsfähigkeit der Luft- und Gasarten betrifft, so gehören diese zu den allerschlechtesten Wärmeleitern, was schon daraus hervorgeht, dass heisse Körper, welche von allen Seiten mit Luft umgeben sind, nur sehr langsam erkalten, wenn nur dabei ein Wechsel der Luftschichten vermieden wird.

Auf dieser schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Luft, beruht unter Anderem der Nutzen der Doppelfenster und Doppelthüren für die Warmhaltung unserer Wohnungen. Das schlechte Wärmeleitungsvermögen lockerer

Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt ebenfalls grösstentheils davon her, dass die zahllosen Zwischenräume dieser Substanzen mit Luft ausgefüllt sind.

### Wärmestrahlung.

27. Ich muss mich hier darauf beschränken, Sie, hochverehrte Versammlung, nur mit den wichtigsten und interessantesten Erscheinungen der strahlenden Wärme, welche sowohl im Haushalte der Natur, als im gewöhnlichen Leben eine grosse Rolle spielt, bekannt zu machen.

Gerade so wie die leuchtenden Körper Licht strahlen, eben so senden erhitzte Körper Wärmestrahlen nach allen Richtungen in geraden Linien aus; man spricht daher eben so von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen redet; auch findet, wie aus dem Nachfolgenden hervorgeht, zwischen beiden, wie ich wohl auch schon im §. 7 erwähnt, die grösste Analogie statt.

Die strahlende Wärme durchdringt z. B. gewisse Körper in derselben Weise, wie das Licht die durchsichtigen Körper. So treffen die Sonnenstrahlen, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, unsere Erdoberfläche, und erwärmen dieselbe, lassen aber dabei die obere Luftregion kalt; die Wärmestrahlen gehen daher grösstentheils durch die Atmosphäre durch, ohne von ihr absorbiert zu werden.

Nähert man sich dem offenen Feuer eines Ofens oder einer Esse, so empfindet man eine brennende Hitze, die jedoch augenblicklich verschwindet, wenn man einen

Schirm dazwischen bringt, zum Beweis, dass es keineswegs die uns umgebende Luft ist, welche dabei eine so hohe Temperatur angenommen hat.

Stellt man zwei grosse, parabolische Hohlspiegel aus polirtem Messingblech in angemessener Entfernung so gegeneinander, dass ihre Achsen in Eine Linie fallen, bringt im Brennpunkte des einen Spiegels einen Zunder, und in dem Brennpunkte des andern eine beinahe weissglühende Eisenkugel an, so wird sich, ohne dass die zwischenliegende Luftschichte merklich erwärmt wird, der Zunder alsbald ebenso entzünden, als ob sich die beiden Körper unmittelbar berühren würden. Dieser letztere Versuch bestätigt zugleich, dass sich bezüglich der Zurückwerfung oder Reflexion auf polirten Flächen, die Wärmestrahlen genau so wie die Lichtstrahlen verhalten.

28. Was das Wärmeausstrahlungsvermögen verschiedener Körper betrifft, so ist dasselbe ebenfalls sehr verschieden und hängt besonders von der Beschaffenheit ihrer ausstrahlenden Oberfläche ab, ob dieselbe mehr oder weniger dicht, mehr oder weniger glatt oder rauh u. s. w. ist.

Zur Vergleichung des Strahlungsvermögens verschiedener Körper oder Oberflächen hat man die Seiten oder Flächen von hohlen zinnernen Würfeln, eine mit Kien- oder Lampenruss, eine zweite mit Bleiweiss u. s. w. bestrichen, und diese Würfeln dann mit heissem Wasser gefüllt. Das Strahlungsvermögen dieser verschiedenen gleichwarmen Oberflächen wurde dann mit sehr empfind-

lichen Thermometern oder noch besser, mit sogenannten thermoelektrischen Säulen untersucht.

Man fand auf diesem Wege, dass Lampenruss das grösste Wärmeausstrahlungsvermögen besitzt und wenn man dasselbe, um eine ziffermässige Vergleichung mit anderen Substanzen machen zu können, durch die Zahl 100 ausdrückt, so entspricht z. B. einer polirten Metallfläche nur mehr die Zahl 12, so dass also diese ein nahe 9 Mal geringeres Strahlungsvermögen <sup>1)</sup> als das Lampenschwarz besitzt.

Aus diesen Thatsachen erklären sich nun viele Erscheinungen im gemeinen Leben. Da gusseiserne Platten weniger dicht als gehämmerte oder gewalzte Eisenbleche sind, so haben auch unsere gusseisernen Oefen ein grösseres Wärmeausstrahlungsvermögen als die Blechöfen, sie erwärmen daher ein Zimmer schneller, verlieren aber dafür auch die Wärme wieder früher; bei einer irdenen mit heissem Wasser oder Thee gefüllten Theekanne ist die Ausstrahlung viel stärker als bei einer blanken silbernen; ein Trinkglas strahlt die Wärme stärker aus als ein Zinnbecher u. s. f. Dampfleitungsröhren, welche den Dampf für chemische Zwecke vom Kessel aus in entfernte

---

<sup>1)</sup> Die Versuche ergaben bei den nachstehenden Körpern für das Strahlungsvermögen folgende beigesetzte Zahlen, und zwar für Lampenruss 100, Bleiweiss-Wasser 100, Schreibpapier 98, Harz 95, gemeines Glas 90, Tusche 88, Eis 85, Hausenblase 80, Graphit 75, Gummilack 72, mattes Blei 45, Quecksilber 20, blankes Blei 19, Eisen, Zink, blank 15, Zinn, Silber, Kupfer, Gold, polirt 12.

Sudpfannen zu leiten haben, sollen von aussen weiss und glatt, dagegen schwarz und rauh sein, wenn sie zur Beheizung dienen sollen.

29. Höchst interessant ist die auf demselben Principe des ungleichen Wärmeausstrahlungsvermögens der verschiedenen Körper beruhenden Thaubildung in heiteren, kalten Nächten.

Bei ganz ruhiger Luft erkalten nämlich in heitern Sommernächten die verschiedenen Körper auf der Oberfläche der Erde durch Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum derart, dass ihre Temperatur um 2, 3, ja manchmal sogar um 7 bis 8 Grad unter jene der Luft herabsinkt. <sup>1)</sup> Da nun unsere Atmosphäre immer mehr oder weniger, für das Auge nicht sichtbaren Wasserdampf enthält, dessen Verdichtung unsere Wolken, den Nebel, Regen und Hagel bildet, so wird sich, sobald die umgebende Luft, durch die kälter werdenden Körper ebenfalls und zwar bis zu dem sogenannten Thaupunkt erkaltet ist, ein Theil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Gestatten Sie mir, verehrte Anwesende, zur Erklärung dieses Thaupunktes folgende kleine Abschweifung.

Setzt man Wasser in einem oben offenen flachen Gefässe der freien Luft aus, so verschwindet dasselbe in längerer oder kürzerer Zeit, letzteres besonders an einem

---

<sup>1)</sup> Wird in einer solchen Nacht ein Hohlspiegel gegen den Himmelsraum gerichtet, so zeigt ein in dessen Brennpunkt angebrachtes Thermometer ganz deutlich das durch Ausstrahlung desselben entstehende Sinken seiner Temperatur.

warmen trockenen Sommertag, d. h. das Wasser verdunstet.

Diese Verdunstung geht viel rascher vor sich, wenn man das Gefäss über Feuer setzt, und das Wasser zum Sieden bringt; dasselbe hat in diesen Fällen Gasform angenommen und sich als Wasserdampf in der Atmosphäre verbreitet.

Sowie überhaupt alle Dämpfe, hat auch der Wasserdampf das Bestreben sich, wie die Gase, in's Unendliche auszudehnen, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren, so wie luftgefüllten Raum, so gross er auch sein mag, nach allen Seiten aus und übt auf die Wände immer noch einen grösseren oder geringeren Druck aus. Es ist daher selbst die kleinste Menge Wasser fähig in Dampfgestalt einen Raum von vielen tausend Kubikmetern in derselben Weise, wie es bei der Luft und den Gasen der Fall ist, auszufüllen.

Wenn nun aber auch die Dämpfe gleich der Luft, eine bis in's Unendliche gehende Expansivkraft besitzen, so kann ihre Spannkraft doch nicht wie bei der Luft, durch vermehrte Compression beliebig vergrössert werden, sondern man kommt dabei sehr bald zu einer Grenze, über welche hinaus die Spannkraft nicht mehr zunehmen kann, indem durch jede weitere Compression bloss eine theilweise Verdichtung oder Condensirung der Dämpfe zu tropfbarer Flüssigkeit bewirkt wird.

Für die Dämpfe gibt es nämlich immer, und zwar ein von ihrer Temperatur abhängiges Maximum der Spannkraft und Dichte.

Wird nun z. B. in einen, mit einem luftdicht passenden Kolben oder Stempel versehenen Dampfzylinder, welcher eine Bodenfläche von 1 Quadratmeter besitzen und fortwährend bei der Temperatur von  $100^{\circ}\text{C}$ . erhalten werden soll, aus einem Dampfkessel Wasserdampf von  $100^{\circ}\text{C}$ . Wärme, also 1 Atmosphäre Spannung (siehe meinen Vortrag über Wasserdampf §. 11) so lange zugeleitet, bis der Dampfkolben vom Boden aus genau um 1 Meter Länge fortgeschoben worden, und wird hierauf die Communication des Cylinders mit dem Kessel abgesperrt, so hat man im Cylinder unter dem Kolben genau 1 Kubikmeter gesättigten Dampf von 1 Atmosphäre Spannung,  $100^{\circ}$  Temperatur und einem Gewichte von 600 Gramm.

Wird jetzt nach Absperrung des Dampfes vom Kessel der Kolben noch weiter um 1 Meter gehoben oder fortgeschoben, so füllen diese 600 Gramm Dampf auch den doppelten Raum von 2 Kubikmeter vollständig aus, der Dampf besitzt nun aber nur mehr die Spannung von  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre; jeder Kubikmeter wiegt nur mehr die Hälfte oder 300 Gramm, auch ist derselbe nicht mehr gesättigt und er besitzt für diese Temperatur von  $100^{\circ}$  nicht mehr das Maximum der Spannung und Dichte, er befindet sich einer Compression gegenüber, genau im Zustande eines permanenten Gases, wie z. B. der Luft.

Wird nun der Kolben wieder zurückgeschoben, so befolgt dieser nichtgesättigte Dampf das Mariotte'sche Gesetz (nach welchem die Spannkraft und Dichte genau so zunimmt wie das Volumen abnimmt), er wird allmählig dichter und seine Spannkraft nimmt zu. Hat dabei der

Kolben wieder seine ursprüngliche Stellung eingenommen, so ist der Dampfraum wieder auf 1 Kubikmeter reducirt, der nun wieder gesättigte Dampf hat abermals die Spannung von 1 Atmosphäre als sein Maximum erreicht, weil diese durch ein weiteres Herabschieben des Kolbens nicht mehr vergrößert werden kann; denn gesetzt, man schiebt den Kolben noch um  $\frac{1}{2}$  Meter gegen den Cylinderboden weiter herab, reducirt also den Dampfraum auf  $\frac{1}{2}$  Kubikmeter, so behält der Dampf nichtsdestoweniger seine Maximalspannung von 1 Atmosphäre, wiegt aber jetzt nur mehr 300 Gramm, während sich die übrigen 300 Gramm Dampf zu Wasser verdichtet haben.

Für eine höhere Temperatur (als  $100^{\circ}$ ) würde jeder Kubikmeter mehr, bei einer niedrigeren, weniger als 600 Gramm Dampf aufnehmen können; so wiegt z. B. 1 Kubikmeter gesättigter Dampf bei  $121\frac{1}{2}^{\circ}$  (oder 2 Atmosphären Spannung) 1100 Gramm, dagegen bei  $82^{\circ}$  C. ( $\frac{1}{2}$  Atm. Spannung) nur mehr 300 Gramm. Es gibt nämlich für jede Temperatur eine Grenze, über welche hinaus weder die Dichte noch die Spannkraft des Dampfes zunehmen kann.

Je nach der höheren oder niederen Temperatur kann also auch unsere Atmosphäre mehr oder weniger Wasserdampf aufnehmen; hat dabei der Dampf das Maximum seiner Dichte und Spannung erreicht, so sagt man, die Atmosphäre sei mit Dampf gesättigt.

Bringt man nun in eine solche, bei einer bestimmten Temperatur mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre, einen

kälteren Körper, so kühlt dieser die ihn zunächst umgebende Luftschichte ebenfalls ab, und diese kann dann nur mehr so viel Wasserdampf behalten, als dieser niederen Temperatur für das Maximum der Spannung und Dichte entspricht, während sich der übrige Theil in Gestalt von feinen Tröpfchen an dem kälteren Körper niederschlägt oder ansetzt.

Auf diese Weise bildet sich auch der Beschlag von Dunst an den Fensterscheiben unserer geheizten und bewohnten Zimmer, wenn die äussere Temperatur niedrig genug ist, um die Fenster hinlänglich zu erkalten.

Die Luft ist aber nicht immer mit Feuchtigkeit gesättigt, folglich kann sie dann davon noch immer so viel aufnehmen, als ihrer Temperatur bis zum Maximum der Spannkraft des Dampfes entspricht. Gesetzt, es befänden sich in einer Luft von  $15^{\circ}$  C. per Kubikmeter nur 10 Gramm Wasserdampf, so könnte sie bis zum Maximum der Spannung und Dichte noch immer 3 Gramm aufnehmen. Würde aber die Temperatur dieser mit 10 Gramm Wasserdampf geschwängerten Luft plötzlich auf  $10^{\circ}$  herabsinken, so müsste sich, da die Luft bei dieser Temperatur nur mehr 9.7 Gramm per Kubikmeter enthalten kann, schon ein Theil, hier nämlich 0.3 Gramm zu tropfbarem Wasser verdichten oder niederschlagen.

Bringt man ein Glas mit frischem kaltem Wasser in ein warmes mit Wasserdampf gesättigtes Zimmer, so wird dasselbe von aussen sogleich anlaufen, d. h. es schlägt sich aus der das Glas berührenden Luftschichte ein Theil des in ihr enthaltenen Dampfes nieder, während dasselbe

bei der nämlichen Temperatur des Wassers ein anderes Mal, wenn nämlich die Luft mit Feuchtigkeit nicht gesättigt ist, ganz trocken bleiben kann. Das Anlaufen des Glases allein, kann daher noch nicht als Beweis dienen, dass das Wasser im ersten Falle kälter als im letzten sei.

Um nun zum Schlusse meiner Erörterung zu kommen, so brauche ich nur noch hinzuzufügen, dass jene Temperatur, für welche in unserer Atmosphäre die Verdichtung des in ihr enthaltenen Wasserdampfes eben beginnt, die Luft also mit Dampf vollkommen gesättigt ist, welche Temperatur man übrigens jedesmal durch das Daniell'sche Hygrometer genau erfahren kann, der Thauptunkt genannt wird.

Da nicht alle Körper ein gleiches Wärmeausstrahlungsvermögen besitzen, so erkalten einige Körper stärker als andere, mithin zeigt sich auch auf den erstern mehr Thau als auf den letztern, die sogar fast ganz trocken bleiben können. Gras und Blätter erkalten durch die nächtliche Strahlung besonders stark, theils weil sie an und für sich ein starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, wodurch ihnen vom Boden aus nur sehr wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie daher stärker bethaut als Steine oder den nackten Boden.<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Nach Well's Theorie findet z. B. beim Bethauen des Grasses in einer hellen ruhigen Nacht folgender Hergang statt: „Die obern Theile des Grasses strahlen ihre Wärme in die Regionen des leeren Raumes aus, von wo ihnen keine Wärme zurückkommt, und die untern lassen wegen ihrer geringen

Der Schatten künstlicher Schirme, sowie vorüberziehende Wolken hindern die Thaubildung, weil sie die nächtlichen Strahlungen verhindern; der letztere Fall dürfte wohl auch der Grund sein, warum man an Sommertagen Regen prophezeit, wenn in der Nacht kein Thau gefallen ist. Auch thaut es nicht, wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, weil er der Bodenfläche fortwährend warme Luft zuführt, diese daher nicht bis zum Thaupunkt abgekühlt werden kann.

Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf ansetzt, unter  $0^{\circ}$  erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Form, sondern nur in Form von Eiskristallen, d. i. als Reif ansetzen, der daher nichts anderes ist als gefrorener Thau. Hieraus erklärt sich wohl auch die Wirksamkeit der Raucherzeugung in Weinärten in heiteren kalten Nächten, weil dadurch die Wärmeausstrahlung verhindert oder gemässigt wird.

### **Absorption der Wärmestrahlen.**

30. Je nach Beschaffenheit der Körper können die sie treffenden Wärmestrahlen entweder von ihren Oberflächen zurückgeworfen werden, oder in dieselben eindringen; von diesen letztern kann ein Theil, gerade so wie Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper, ohne

---

Wärmeleitung nichts von der Erdwärme durch; die umgebende Luft bietet nur unbedeutenden Ersatz, und so muss das Gras unter die Temperatur der umgebenden Luft erkalten und dadurch die Dünste an sich niederschlagen“.

Wärme zu erzeugen hindurchgehen, während ein anderer Theil von dem Körper absorbirt und in fühlbare Wärme umgewandelt wird.

Dass alle, sowohl feste wie flüssige Körper ein gewisses Absorptionsvermögen für die Wärme besitzen, beweist schon der Umstand, dass alle der Sonne ausgesetzten Körper eine höhere Temperatur als die der umgebenden Luft annehmen.

Das Absorptionsvermögen der Körper ist eben so verschieden als ihr Ausstrahlungsvermögen, mit welchem das erste ziemlich parallel geht. So steigt z. B. ein der Sonne ausgesetztes Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist weit höher als ein gewöhnliches; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der anderen.

Mithin sind es nur die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen, welche denselben erwärmen. Soll daher ein Körper durch Wärmestrahlen möglichst erwärmt werden, so muss man ihn mit einem Ueberzug versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; aus diesem Grunde überzieht man die Kugeln der Differenzialthermometer, die Thermoskope u. s. w. mit Russ. Weisse Körper, die viel Licht zurückwerfen, erwärmen sich weniger als schwarze; eine schwarze Wand wird von den Sonnenstrahlen oft unerträglich heiss, daher schwärzt man jene Mauern oder Wände, an welchen man Früchte, wie Trauben, Pflirsiche, Feigen u. s. w., die zum Reifen vieler Wärme bedürfen, sich hinaufranken lässt. Mit Rück-

sicht auf das Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen sollten wir, wie schon der witzige Lichtenberg irgendwo bemerkte, niemals schwarze Kleider tragen, weil sie im Sommer die Sonnenstrahlen mehr absorbiren, im Winter dagegen die sogenannte thierische Wärme mehr ausstrahlen, als es bei lichten Kleidern der Fall ist.

### Verbrennungswärme.

31. Gewisse chemische Prozesse, wie namentlich Oxydationen oder Verbindungen der Körper mit Oxygen oder Sauerstoff, vollziehen sich oft so rasch und vehement, dass sich dabei die entwickelte Wärme bis zu Lichterscheinungen steigert. Derartige vehemente Oxydationsprocesse, nennt man Verbrennungen. Alle in der atmosphärischen Luft stattfindenden Verbrennungen oder Oxydationen geschehen auf Kosten des in derselben enthaltenen Sauerstoffes. <sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Bekanntlich besteht unsere atmosphärische Luft, abgesehen von geringen Beimischungen von Kohlensäure und Wasserdampf, dem Volumen nach aus 21, dem Gewichte nach aus 23 Procent Sauerstoff, und beziehungsweise 79 und 77 Procent Stickstoff, welcher beim Verbrennungsprocess gleichsam als Verdünnungsmittel dient, wesshalb die Körper im puren Sauerstoff bei weitem lebhafter als in der Luft verbrennen. Dabei darf jedoch die Luft, um die Verbrennung nicht noch mehr zu hemmen, nicht ganz an Sauerstoff erschöpft werden, und zwar soll diess nach den im Grossen gemachten Erfahrungen nur bis zur Hälfte oder höchstens zwei Drittel stattfinden.

32. Die Quantität Wärme, welche sich bei der directen chemischen Verbindung in Folge der Aggregatsänderung entwickelt, bleibt zwar bei gleichen Gewichten der Körper immer dieselbe, jedoch ist es für die Benützung dieser Wärme nicht gleichgiltig, ob diese Verbindung schnell oder langsam vor sich geht; so könnten wir z. B. die sich bei der langsamen Oxydation der gewöhnlichen Metalle entwickelnde Wärme für unsere Zwecke, wie etwa zum Beheizen, durchaus nicht verwenden.<sup>1)</sup>

33. Was nun die Verbrennungswärme selbst betrifft, so mögen für einige Körper die aus den neuesten und genauesten Versuchen gefundenen Zahlen, welche die Wärmeeinheiten ausdrücken, die sich durch Verbrennung von 1 Kilogramm der nachbenannten Körper entwickeln, hier angeführt werden; diese sind für Wasserstoff,

---

Braucht also zum Beispiel 1 Pfund Kohle zur vollständigen Verbrennung auch nur 2.65 Pfund Sauerstoff, also  $\frac{100}{23} \times 2.65 = 11\frac{1}{2}$  Pfund atmosphärische Luft, so muss man der brennenden Kohle doch die doppelte Menge, d. i. 23 Pfund, oder, die Temperatur der Luft zu 14<sup>o</sup> R. angenommen, 330 Kubikfuss atmosphärische Luft zuführen, wenn dieselbe nur bis zur Hälfte ihres Sauerstoffes erschöpft werden soll.

<sup>1)</sup> Wenn also auch unter allen Umständen durch Verbrennung von 1 Pfund lufttrockenen Holzes, 2600 bis 2800 Wärmeeinheiten entwickelt werden, so ist es, wenn wir damit kochen oder heizen wollen, keineswegs gleichgiltig, ob das Verbrennen schnell oder langsam geschieht, da im letzteren Falle die entwickelte Wärme fast gleichzeitig durch die Luft oder sonstwie abgeleitet wird, ohne dass wir den beabsichtigten Zweck erreichen.

Kohlenoxydgas, Holzkohle, Schwefelkohlenstoff u. s. w. beziehungsweise 34.462, 2403, 8080, 3400 u. s. f. Wärmeeinheiten, wobei, wie wiederholt bemerkt, Eine Wärmeeinheit (Calorie) jene Wärmemenge bezeichnet, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1<sup>o</sup>C. zu erhöhen.

### **Thierische Wärme.**

34. Ohne auch noch in die Besprechung der Wärmeentwicklung durch galvanische Ströme, Ueberwindung elektrischer Widerstände u. s. w. oder auf die Erscheinungen des Wärmespectrums eingehen zu können, schliesse ich meinen vielleicht schon zu langen Vortrag mit einigen kurzen Bemerkungen über die thierische Wärme.

Da die Blutwärme aller Thiere beinahe ganz unabhängig ist, von der Temperatur des Mittels in welchem sie leben, so hat jeder Thierkörper seine eigene Wärme, die er auch durch den Lebensprocess fortwährend muss erzeugen können.

Was die innere Wärme des Menschen betrifft, so scheint diese für alle Organe desselben die gleiche und zwar jene zu sein, die ein kleines Thermometer zeigt, wenn man es in die Achselhöhle oder unter die Zunge legt, und dabei den Mund schliesst.

John Davy fand aus seinen zahlreichen Beobachtungen diese Temperatur gleich 37<sup>o</sup> C. und zwar mit nur

ganz unbedeutenden, durch Alter und Klima bedingten Abweichungen.<sup>1)</sup>

Die unten angeführten Zahlen zeigen, dass die Blutwärme der Vögel grösser ist, als die aller anderen Thiere, und dass die Säugethiere die mittlere Stufe einnehmen. Auch ist bemerkenswerth, dass während bei den Vögeln und Säugethieren die Blutwärme von der Temperatur ihrer Umgebung ganz unabhängig ist, die Temperatur des Körpers der Amphibien, Fische u. s. w. mit der Temperatur ihrer Umgebung ziemlich übereinstimmt.

Welches ist nun aber die Quelle der thierischen Wärme? Die Beantwortung dieser für uns so wichtigen Frage ist die, dass sich der Sauerstoff der Luft, welche wir einathmen, mit dem in den Nahrungsmitteln, die wir zu uns nehmen, enthaltenen Kohlenstoff ebenso zu Kohlensäure verbindet und dabei dieselbe Wärmemenge entwickelt, wie diess beim Verbrennen des Kohlenstoffs in der Luft oder im Sauerstoffgas der Fall ist; es findet nämlich im Thierkörper eine förmliche Verbrennung statt.

---

<sup>1)</sup> J. Davy's zahlreiche Beobachtungen über die thierische Wärme lieferten folgende Resultate:

Aus den Säugethieren: für den Affen 39·7, Hasen 37·8, Tiger 37·2, Hund 39, Katze 38·3, Pferd 37·5, Ochs 38·9, Elephant 37·5.

Aus den Vögeln: für den Habicht 37·2, Papagey 41·1, Taube 42·1, Huhn 42·5—43·3, Gans 41·7.

Aus den kaltblütigen Thieren: für die Schildkröte 28·9, Schlange 32·2, Haifisch 25, Forelle 14·4, Auster 27·8<sup>0</sup> C.

Der Mensch, wie das Thier, verliert in einer kalten Umgebung in derselben Zeit mehr Wärme als in einer wärmeren; damit daher bei den Vögeln und Säugethieren die Temperatur des Blutes, wie es erfahrungsgemäss der Fall ist, von jener der umgebenden Luft unabhängig erhalten bleiben kann, muss bei einer kälteren Umgebung, an welche in gleicher Zeit mehr Wärme abgegeben wird, auch wieder dafür ein grösserer Ersatz eintreten, also im Körper mehr Wärme erzeugt werden. Um aber in einer gegebenen Zeit mehr Wärme erzeugen zu können, muss dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation oder Verbrennung eben mehr Wärme entwickelt wird, wie man ja auch, wie sich Liebig ausdrückt, welcher in dieser Beziehung den Thierkörper mit einem Ofen vergleicht, bei kaltem Wetter mehr Brennmaterialie im Ofen verbrennen muss, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten. Hieraus erklärt sich, warum der Nordländer mehr Speisen, und besonders kohlenstoffhaltige zu sich nehmen muss, als der Bewohner heisser Zonen. Aber auch hier gibt sich wieder die in der Natur herrschende bewunderungswürdige Weisheit zu erkennen. Denn wenn wir auch dem Gewichte nach gleiche Quantitäten Speisen in kalten und warmen Gegenden geniessen, so besitzen diese doch einen sehr ungleichen Gehalt an Kohlenstoff. Die Früchte, welche der Südländer geniesset, enthalten im frischen Zustande nicht über 12 Procent Kohlenstoff, während der Speck und Thran, von welchen sich der Polarländer hauptsächlich nährt,

davon 66 bis 80 Procent enthalten. Sich in warmen Gegenden der Mässigkeit zu befeissen, ist keine so schwierige Aufgabe, als diess in kalten Klimaten der Fall ist, wo Hunger und Kälte den Körper in kurzer Zeit aufreiben. Ein Hungernder friert; auch weiss Jedermann, dass die Raubthiere der nördlichen Gegenden an Gefrässigkeit denen der südlichen weit voranstehen.

Lassen Sie mich, hochverehrte Versammlung, mit folgendem Citat aus Liebig's chemischen Briefen schliessen.

„Unsere Kleider sind in Beziehung auf die Temperatur des Körpers Aequivalente für die Speisen; je wärmer wir uns kleiden, desto mehr vermindert sich bis zu einem gewissen Grade das Bedürfniss zu essen, eben weil der Wärmeverlust, die Abkühlung und damit der Ersatz durch Speisen kleiner wird. Gingen wir unbekleidet wie die Indianer, oder wären wir beim Jagen und Fischen denselben Kältegraden ausgesetzt wie der Samojede, so würden wir ein halbes Kalb und noch obendrein ein Dutzend Talglichter bewältigen können, wie uns warm bekleidete Reisende mit Verwunderung erzählt haben; wir würden dieselbe Menge Branntwein oder Thran ohne Nachtheil geniessen können, eben weil ihr Kohlen- und Wasserstoffgehalt dazu dient, um ein Gleichgewicht mit der äussern Temperatur hervorzu- bringen.“

Ich fühle mich endlich noch verpflichtet, Ihnen, hochverehrte Versammlung, für die Geduld und Auf-

merksamkeit, mit welcher Sie meinem Vortrage über einen Gegenstand, welcher mit zu den schwierigsten der Physik gehört, durch zwei Abende gefolgt sind, meinen besonderen Dank auszusprechen.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1877

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Burg Adam Freiherr von

Artikel/Article: [Erscheinungen und Wirkungen der Wärme. 1-62](#)