



- Autor: **Kirchhoff, Gustav Robert** (1824–1887)
- Titel: **Über das Ziel der Naturwissenschaften**
Prorektoratsrede an der Universität Heidelberg
am 22. November 1865
- Quelle: Vortrag zum Geburtsfeste des höchstseligen Grossherzogs Karl Friedrich von Baden und zur akademischen Preisvertheilung am 22. November 1865 / von G. Kirchhoff. – Heidelberg : Mohr, 1865
- Seite 3 – 25.

Elektronische Ausgabe
erstellt von
Gabriele Dörflinger
Universitätsbibliothek Heidelberg
2013

VORTRAG
zum Geburtsfeste
des
höchstseligen Grossherzogs
KARL FRIEDRICH
von Baden
und
zur akademischen Preisvertheilung
am
22. November 1865
von
Dr. G. Kirchhoff,
Grossh. Bad. Hofrath und ordentl. Professor der Physik,
dermaligem Prorector.

Ueber das Ziel der Naturwissenschaften.

Heidelberg. 1865.
Buchdruckerei von G e o r g M o h r.

Hochgeehrte, Hochansehnliche Versammlung!

Vor einem Jahre hat an dieser Stätte vor Ihnen ein verehrtes Mitglied unserer Universität mit lebendigen Farben ein Bild von dem Leben und Walten KARL FRIEDRICHS entworfen, des edlen Fürsten, der diese Hochschule von drohendem Untergange zu neuem Gedeihen emporhob. Heute liegt mir die ehrenvolle Pflicht ob, den Jahrestag der Geburt KARL FRIEDRICHS durch eine academische Rede zu feiern. Aus dem Gebiete der Wissenschaft, die ich vertrete, glaubte ich hierzu keinen durch seine Allgemeinheit würdigeren Gegenstand wählen zu können, als eine Betrachtung über das Ziel der Naturwissenschaften.

Ich muss um Ihre Nachsicht bitten, wenn ich bei dem Bestreben die Aufgabe, die ich mir gestellt habe, so gut, als es in meinen Kräften steht, zu lösen Ihnen Erörterungen vorführe, die gar sehr abstechen gegen die glänzenden Reden, die von dieser Stelle aus in früheren Jahren so oft Ihre Herzen ergriffen und Ihre Phantasie angeregt haben. Bei den Betrachtungen, die ich bei meinem Thema Ihnen bieten kann, ist es der ruhig überlegende Verstand allein, an den ich mich zu wenden habe.

Ueberblickt man die unendliche Mannigfaltigkeit der Eindrücke, welche unsere Sinne von der Aussenwelt erhalten, so erscheint es von vorn herein kaum möglich eine durchgreifende Aehnlichkeit *aller* Naturerscheinungen zu finden. Dennoch ist eine solche erkannt, und diese muss den Ausgangspunkt meiner Auseinandersetzungen bilden. Beginnen wir mit der Betrachtung eines der einfachsten Versuche, die es gibt; denken wir uns einen Körper, der plötzlich seiner Unterstützung beraubt wird und in Folge dessen fällt. Der Körper an sich ändert sich dabei in keiner Weise, er geht nur von einem Orte des Raumes zu andern über. Es gibt eine unendliche Menge von Erscheinungen, die das mit dieser gemein haben, dass sie auch in Bewegungen bestehen, bei denen das Bewegte unverändert bleibt. Solche Erscheinungen können dabei äusserst verwickelt und äusserst mannigfaltig sein, wenn die Körper, die sie zeigen, oder die Theile dieser verschiedene Bewegungen haben und also in andere und andere Lagen zu einander kommen. Aber es gibt auch Vorgänge, welche *nicht* solche Bewegungen zu sein scheinen. Wenn Wasser gefriert oder verdunstet, wenn Salz von Wasser aufgelöst wird, wenn Kohle verbrennt, so scheint eine qualitative Aenderung der kleinsten Theile der Körper stattzufinden; ja bei einigen dieser Beispiele könnte der Augenschein zu dem Schlusse verleiten, dass eine völlige Vernichtung des Körpers einträte. Aber das Wasser wird nicht vernichtet, wenn es verdunstet; es wird in ein Gas, in Wasserdampf verwandelt, der unsichtbar in der Atmosphäre sich verbreitet. Eben so wenig wird die Kohle vernichtet, wenn sie verbrennt; sie verbindet sich dabei chemisch mit dem Sauerstoff der Luft zu einem gleichfalls unsichtbaren Gase, der Kohlensäure. Die Chemiker sind zu der Ueberzeugung gelangt, dass bei *jeder* chemischen Verbindung verschiedener Körper die kleinsten Theile dieser nicht zerstört werden und auch nicht eine qualitative Aenderung erleiden, sondern nur eine neue Lagerung erhalten. Ein jeder chemische Process besteht auch nur in einer Bewegung von Theilen, die unverändert bleiben. Vor etwa 80 Jahren ist dieser Satz zum ersten Male mit Schärfe und Bestimmtheit von LAVOISIER ausgesprochen. Er bildet das Grundprincip der Chemie, Aber nicht allein für diese, für die gesammten Naturwissenschaften ist er von der grössten Wichtigkeit geworden; auf ihn gestützt, konnte man es wagen die Behauptung aufzustellen, dass *alle Vorgänge in der Natur in Bewegungen unveränderlicher Materie bestehen*, und jeder Fortschritt, der in der Erkenntniss der Natur gemacht ist und der zur Prüfung dieses Principes dienen

konnte, hat eine neue Bestätigung desselben gewährt.

Es gibt eine Wissenschaft, die *Mechanik*, deren Aufgabe es ist, die Bewegung von Körpern zu bestimmen, wenn die Ursachen, die diese bedingen, bekannt sind. Die Mechanik steht mit den Naturwissenschaften in der innigsten Beziehung. Diese Beziehung will ich näher zu erläutern suchen und zu diesem Zwecke zuvörderst auseinandersetzen, wie weit und in welcher Weise die Mechanik ihre Aufgabe gelöst hat.

Die Mechanik ist mit der Geometrie nahe verwandt; beide Wissenschaften sind Anwendungen der reinen Mathematik; die Sätze beider stehen in Bezug auf ihre Sicherheit genau auf gleicher Stufe; mit demselben Rechte wie den geometrischen Sätzen ist auch den mechanischen absolute Gewissheit zuzusprechen.

Die Geometrie war von den alten Griechen schon auf einen hohen Standpunkt geführt; die Grundbegriffe, aus denen diese ganze Wissenschaft deduktiv zu entwickeln ist, die Begriffe der Entfernung und des Winkels nämlich, waren von ihnen schon vollkommen klar erfasst. Werden doch „die Elemente des EUKLID“ heute noch als die Grundlage des geometrischen Unterrichtes an vielen Schulen benutzt. Etwas Aehnliches lässt sich von der Mechanik nicht sagen; die Grundbegriffe derselben waren zum grösseren Theile im Alterthum auch nicht einmal geahnt. Zwar hatte ARCHIMEDES einige ihrer Sätze gefunden; er wusste etwas über das Gleichgewicht eines Hebels und kannte den Satz von dem Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers, der jetzt noch mit dem Namen des Archimedischen Principes bezeichnet wird. Aber diese und ähnliche Erkenntnisse standen vereinzelt da, woraus es auch begreiflich wird, dass sie durch fast zwei Jahrtausende, nämlich bis zur Zeit von GALLILEI, in keiner Weise vermehrt, ja selbst nicht einmal gewürdigt wurden. Der grösste Denker des Alterthums, ARISTOTELES, hat vielfach über die Bewegung der Körper speculirt, aber seine Bemühungen diejenigen Begriffe zu finden, auf welche eine wissenschaftliche Betrachtung derselben gegründet werden kann, waren vollkommen verfehlt. Er suchte die Begriffe vollkommen und unvollkommen, besser und schlechter, natürlich und gewaltsam, Begriffe, welche bei Bewegungen gar nicht in Betracht kommen können, auf diese anzuwenden und gelangte dadurch zu Sätzen, welche jeden Sinnes entbehren. Doch dem Einzelnen, wie dem Menschengeschlechte bietet sich die Wahrheit nur selten bei dem ersten Versuche, sie zu finden, dar, und es kann daher unserer Verehrung für die grossen Geister des Alterthums keinen Abbruch thun, wenn wir sehen, dass ihre Bemühungen, eine wissenschaftliche Mechanik zu gründen, gänzlich missglückten. Erst nachdem die finstern Jahrhunderte des Mittelalters vorübergegangen waren, wurden diese Bemühungen mit besserem Erfolge wieder aufgenommen. Hauptsächlich durch GALLILEI gewann der Begriff der *Kraft*, der den Angelpunkt der Mechanik bildet, Klarheit.

Das Wort *Kraft* hat im gewöhnlichen Leben sehr mannigfaltige Bedeutungen, und auch in der Sprache der Wissenschaft bezeichnet man damit verschiedenartige Begriffe; *hier* ist darunter die Ursache der Aenderung der Bewegung eines materiellen Punktes zu verstehen. Es geht aus dieser Definition hervor, dass ein Punkt, auf den keine Kraft wirkt, in der Bewegung bleibt, die er gerade hat, d. h. in ungeänderter Richtung, mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortgeht. Wirkt auf einen Punkt eine Kraft in der Richtung seiner Bewegung, so wird seine Geschwindigkeit vermehrt, er erfährt eine Beschleunigung; so nennt man die in der Einheit der Zeit stattfindende Vergrösserung der Geschwindigkeit; er erleidet eine Verzögerung, wenn die Kraft

seiner Bewegung entgegenwirkt, und er wird von seiner geradlinigen Bahn abgelenkt und gezwungen eine krumme Linie zu beschreiben, wenn in einer andern Richtung eine Kraft auf ihn ausgeübt wird. In jedem Falle bringt die Kraft eine Beschleunigung in *ihrer Richtung* hervor. Das Produkt aus der Beschleunigung in die Masse des Punktes, d. i. die Quantität der Materie, die er enthält, dient als Maass für die *Grösse* der Kraft.

Die Auffindung des Grundbegriffes der Mechanik, des Begriffes der Kraft, wurde durch den glücklichen Umstand wesentlich erleichtert, dass die von der Schwere herrührenden Kräfte einem sehr einfachen Gesetze folgen, dass nämlich das Gewicht eines Körpers dasselbe ist, mag derselbe ruhen oder sich irgendwie bewegen. Die Folge hiervon ist, dass die Bewegung eines kleinen schweren Körpers, der frei fällt oder geworfen ist, näherungsweise den einfachsten Fall verwirklicht, der in der Mechanik untersucht werden kann. Das Studium dieser Bewegung war es auch, welches GALLILEI auf jenen Begriff führte.

Die Aufgabe die Bewegung eines einzelnen materiellen Punktes zu bestimmen, auf den eine gegebene Kraft wirkt, ist verhältnissmässig eine sehr einfache. Da die Kraft die Beschleunigung bestimmt, die der Punkt in jedem Augenblicke erhält, so wird man für *jeden* Zeitpunkt seine Geschwindigkeit und seinen Ort angeben können, wenn man für *einen* Zeitpunkt seine Geschwindigkeit und seinen Ort kennt. Aber wie bewegen sich Punkte, auf die gegebene Kräfte wirken, wenn diese Punkte miteinander verbunden sind? etwa fest verbunden, wie die Theile eines starren Körpers, oder so, dass ihnen eine gewisse, aber beschränkte Beweglichkeit gegen einander zukommt, wie den Theilen einer Flüssigkeit oder eines federnden festen Körpers. Diese Frage ist eine viel schwierigere und ihre vollständige und allgemeine Lösung gelang auch erst sehr viel später. Um die Art und Weise, wie sie gelöst ist, bezeichnen zu können, muss ich Folgendes vorausschicken.

Es kann der Fall stattfinden, dass auf einen Punkt oder auf ein System von Punkten Kräfte ausgeübt werden, die sich in ihrer Wirkung zerstören, wobei dann die Punkte so sich bewegen, wie wenn gar keine Kräfte vorhanden wären. In einem solchen Falle sagt man: jene Kräfte halten sich das Gleichgewicht. Einige einfache Fälle des Gleichgewichts waren, so weit das ohne scharfe Auffassung des Begriffes der Kraft möglich war, schon vor GALLILEI erkannt; ARCHIMEDES z. B. hatte die Bedingung für das Gleichgewicht zweier paralleler, an einem geraden Hebel angebrachter Kräfte richtig angegeben; der als Maler, Bildhauer und Architekt berühmte LEONARDO DA VINCI hatte dasselbe für den Fall nicht paralleler Kräfte geleistet; STEVINUS hatte die Bedingung für das Gleichgewicht eines schweren Körpers auf einer schiefen Ebene gefunden. Die Mechanik ist heut zu Tage im Besitz eines Principes, welches für *jedes* System von materiellen Punkten, die auf irgend welche Weise miteinander verbunden sind, die Bedingung des Gleichgewichtes angibt; es führt den Namen des *Principes der virtuellen Geschwindigkeiten*; es ist von GALLILEI, wenn auch nicht in seiner vollen Allgemeinheit, gefunden, und JOHANN BERNOULLI hat zuerst seinen ganzen Werth gezeigt. Es lässt sich dasselbe in wenigen Worten aussprechen, wenn definirt ist, was man in der Mechanik unter der *Arbeit* einer Kraft versteht. Man stelle sich einen materiellen Punkt vor, auf den eine Kraft wirkt; man verschiebe denselben in Gedanken in irgend einer Richtung unendlich wenig, und bilde das Produkt aus der Grösse der Kraft in die, in der Richtung dieser gemessenen, Verrückung; dieses Produkt heisst die Arbeit der Kraft für die gedachte Verrückung,

oder die Arbeit, die die Kraft bei dieser Verrückung leistet. Diese Arbeit kann offenbar positiv oder negativ sein, da die Verrückung je nach ihrer Richtung in der Richtung der Kraft gemessen ein positives oder negatives Resultat geben kann. Das Princip der virtuellen Geschwindigkeit sagt aus, dass irgend ein System von materiellen Punkten dann, und nur dann, im Gleichgewichte sich befindet, wenn für jede, mit den Verbindungen der Punkte verträgliche, unendlich kleine Verrückung des Systemes *die Summe der Arbeiten aller Kräfte gleich Null ist*.

Man kann die Bedeutsamkeit dieses so allgemeinen Satzes für die Mechanik nicht verkennen; aber, da er nur angibt, unter welcher Bedingung ein System von Kräften *keine* Wirkung ausübt, so scheint der Weg von ihm aus zur Beantwortung der Frage, *welches* die Wirkung eines beliebigen Systemes von Kräften ist, noch ein sehr weiter zu sein. Doch ist dieser Weg nur *ein* Schritt, freilich ein sehr bedeutungsvoller, der, von HUYGHENS vorbereitet, von D'ALEMBERT um die Mitte des vorigen Jahrhunderts gethan ist. Man denke sich ein System von materiellen Punkten, die auf irgend welche Weise mit einander verbunden sind und auf die gegebene Kräfte wirken; jeder der Punkte würde, wenn er allein vorhanden wäre, eine Beschleunigung erleiden, die in der einfachen, oben angegebenen Weise von der auf ihn wirkenden Kraft und seiner Masse abhängt; in Wirklichkeit wird er sich anders bewegen, da die Verbindungen, in denen er mit den andern Punkten steht, einen Einfluss auf ihn haben; nennen wir die Kraft, die zu der für den Punkt gegebenen Kraft hinzugefügt werden müsste, wenn er im isolirten Zustande so sich bewegen sollte, wie er es in Wirklichkeit thut, die *gewonnene* Kraft; das d'Alembertsche Princip sagt dann aus, *dass die sämtlichen gewonnenen Kräfte sich das Gleichgewicht halten*. Dadurch ist die allgemeinste Aufgabe der Mechanik auf eine Aufgabe der Lehre vom Gleichgewicht zurückgeführt, einer Lehre? die, wie schon erwähnt, nie die Antwort auf eine an sie gerichtete Frage schuldig bleibt. Durch das D'ALEMBERT'sche Princip und das Princip der virtuellen Geschwindigkeiten lässt sich, vorausgesetzt, dass die rein mathematischen Schwierigkeiten überwunden werden können, die Bewegung eines beliebigen Systemes von Massen finden, wenn die Kräfte, die auf diese wirken, gegeben sind und der Zustand des Systemes, nämlich Ort und Geschwindigkeit jedes Theiles, für *einen* Augenblick bekannt ist.

Kennte man alle Kräfte der Natur und wüsste man, welches der Zustand der Materie in *einem* Zeitpunkte ist, so würde man ihren Zustand für jeden späteren Zeitpunkt durch die Mechanik ermitteln, und ableiten können, wie die mannigfaltigen Naturerscheinungen einander folgen und begleiten. Das höchste Ziel, welches die Naturwissenschaften zu erstreben haben, ist die Verwirklichung der eben gemachten Voraussetzung, also die Ermittlung der Kräfte, welche in der Natur vorhanden sind, und des Zustandes, in dem die Materie in einem Augenblicke sich befindet, mit einem Worte, die Zurückführung aller Naturerscheinungen auf die Mechanik.

Sehen wir zu, wie weit man gegenwärtig diesem Ziele sich genähert hat, und überblicken wir zuerst die Kräfte, die man in der Natur erkannt hat, oder erkannt zu haben glaubt. Die Frage nach den Kräften, die es gibt, ist identisch mit der Frage nach den Eigenschaften der Materie; denn die Materie hat keine anderen Merkmale als die Kräfte, die ihre Theile auf einander ausüben, und es gibt keine anderen Kräfte, als solche, mit denen die Theile der Materie auf einander wirken, Die Aufzählung der verschiedenen Kräfte, die man erkannt zu haben glaubt, erfordert also auch die

Aufzählung der verschiedenen Arten von Materie, deren Existenz man annimmt.

Alle Körper auf der Erde sind schwer, sie üben auf die Unterlage, die sie trägt, einen Druck aus, sie fallen, wenn die Unterlage entfernt wird; der Mond bewegt sich um die Erde; die Erde und die Planeten laufen um die Sonne. Diese Thaten sind sehr verschiedenartige, und doch beruhen sie auf derselben Ursache, sie sind Folgen derselben Kraft. Es ist das unsterbliche Verdienst NEWTONS das nachgewiesen zu haben; NEWTON zeigte, dass irgend zwei Körper eine Anziehungskraft auf einander ausüben, die dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist, und dass die Anziehung, mit der nach diesem Gesetze die Himmelskörper auf einander wirken, ihre Bewegung bedingt, die Anziehung zwischen der Erde und einem irdischen Körper die Schwere dieses. Die von NEWTON entdeckte Anziehung, die sogenannte Gravitation, ist die *erste* allgemeine Naturkraft, die man erkannt hat. Sie ist aber nur eine von vielen Kräften, die die Theile der Materie auf einander ausüben. Will man eine elastische Feder biegen, eine Gasmasse oder eine Flüssigkeit zusammendrücken, so erfordert das eine Anstrengung, die um so grösser ist, je grösser die beabsichtigte Formänderung. Es müssen also Kräfte zwischen den Theilchen der Körper wirken, welche sich einer solchen Formänderung widersetzen. Diese Kräfte sind bei den verschiedenen Körpern sehr verschieden; sie bedingen es, ob ein Körper fest, flüssig oder gasförmig ist. Körper, die mit einander in innige Berührung gebracht sind, haften an einander, oft mit grosser Kraft; darauf beruht das Kitten, Leimen, Löthen. An einem Glasstücke, welches in Wasser getaucht und dann herausgezogen ist, bleibt ein Wassertropfen hängen; in engen Räumen, in den Poren von Fliesspapier z. B. wird Wasser aufgesaugt. Zucker löst sich in Wasser auf, Zink in verdünnter Säure. In allen diesen Erscheinungen zeigen sich Kräfte, die die Theilchen der Körper auf einander ausüben. Alle diese Kräfte hat man mit dem Namen der Molekularkräfte belegt. Von ihren Wirkungen kennt man viele, von den Gesetzen, nach denen sie thätig sind, weiss man aber wenig mehr, als dass sie nur merkbar werden bei Entfernungen, die wir ihrer Kleinheit wegen mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können, bei der Berührung der Körper nämlich. Dieselben Theilchen der Materie, die in grösserer Entfernung nur gravitirend auf einander wirken, üben, in hinlängliche Nähe versetzt, diese Molekularkräfte auf einander aus, die proteusartig bald als Kräfte der Elasticität, der Cohäsion und Adhäsion, bald als Kräfte der chemischen Verwandtschaft erscheinen. Die chemischen Vorgänge haben dabei zu der Annahme genöthigt, dass die Materie, die dem Gesetze der Gravitation folgt, aus so vielen verschiedenen Arten besteht, als es chemische Elemente gibt.

Aber nicht *alle* Materie ist dem Gesetze der Gravitation unterthan, nicht alle Materie ist schwer oder wägbar. Den unendlichen Himmelsraum und den Raum zwischen den wägbaren Theilchen der Körper denkt man sich mit einem unwägbaren Stoffe ausgefüllt, den man Aether oder Licbtäther nennt. Es ist das Licht, welches zu seiner Annahme gezwungen hat. Der Schall besteht in Schwingungen, in Wellen der Luft, die von dem tönenden Körper ausgehen, und die mit den Wellen verglichen werden können, die auf einer Wasserfläche entstehn und nach allen Seiten sich ausbreiten, wenn ein Stein auf diese geworfen ist. Das Licht besteht in ähnlichen Wellen wie der Schall, nur ist es die Luft nicht, die sie schlägt. Von den Gestirnen pflanzt sich das Licht bis zu unserem Auge fort; die unermesslichen Räume des Himmels müssen also mit Etwas erfüllt sein, das Schwingungen ausführen kann, und dieses Etwas ist eben Aether genannt. Was wir von diesem wissen, ist aus den Eigenschaften des Lichtes

geschlossen. Aus diesen geht hervor, dass in dem sogenannten leeren Raume, d. h. in einem Raume, der leer von wägbarer Materie ist, der Aether sich ähnlich verhält wie ein elastischer fester Körper. Die Lichtschwingungen sind nämlich transversale, solche, bei denen die Bewegung der Theilchen immer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung geschieht, und transversale Schwingungen kennen wir nicht bei flüssigen und nicht bei gasförmigen Körpern, sondern nur bei festen. Es hat etwas Befremdendes, wenn man erfährt, dass der Aether, der sicher unendlich feiner ist, als alle wägbare Materie, die wir kennen, in Bezug auf die Lichtbewegung sich einem festen Körper, und nicht vielmehr einem Gase ähnlich zeigt. Diese Thatsache wird aber dem Verständniss etwas näher gerückt, wenn man die erstaunliche Schnelligkeit erwägt, mit der die Lichtschwingungen vor sich geht. Es gibt verschiedenfarbige Lichtstrahlen, und diese unterscheiden sich in ihrer Bewegung durch die verschiedene Dauer ihrer Schwingungen; beim rothen Lichte schwingen die Aethertheilchen langsamer als bei jedem anderen, und doch beträgt die Dauer einer Schwingung hier nur etwa den 500 millionsten Theil von dem millionsten Theil einer Sekunde. Wären wir im Stande Zeiträume von so unermesslicher Kleinheit unmittelbar mit unseren Sinnen aufzufassen, so würden wir in ihnen wahrscheinlich nicht Unterschiede zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Körpern wahrnehmen, und Flüssigkeiten und Gase würden Erscheinungen zeigen, die wir jetzt nur bei festen Körpern kennen.

Kommt Licht aus dem leeren Räume an einen Körper, so wird es theilweise zurückgeworfen, theilweise dringt es in das Innere des Körpers ein und geht in veränderter Richtung in diesem fort; es wird gebrochen und wird dann bald mehr bald weniger, je nach der Natur des Körpers, durch Absorption geschwächt. Aus der Reflexion und Brechung der Lichtstrahlen ist zu schliessen, dass der Aether in einem andern Zustande in den Körpern sich befindet als ausserhalb. Die Veränderung, die der Aether in den Körpern erfahren hat, und die Absorption des Lichtes deuten auf Kräfte hin, die die wägbare Materie auf den Aether ausübt. Von den Gesetzen dieser Kräfte haben wir bis jetzt keine vollständigere Kenntniss, als von denen jener Molekularkräfte.

Ausser dem Aether ist man genöthigt noch eine Art von unwägbarer Materie anzunehmen, die beiden sogenannten elektrischen Flüssigkeiten nämlich, die bei dem heutigen Stande der Wissenschaft, als die Ursache der mannigfaltigen elektrischen und magnetischen Erscheinungen betrachtet werden müssen.

Harz, Glas, Siegellack und viele andere Körper haben die Eigenschaft, wenn sie gerieben sind, kleine Körperchen, wie Asche, Strohhalme, Papierstückchen anzuziehen und dann abzustossen. Sehr bald nachdem man angefangen hatte, diese Erscheinungen ernstlich zu untersuchen, bildete sich, im vorigen Jahrhundert, die Vorstellung, dass sie von zwei Stoffen herrühren, die zwischen den wägbaren Theilen in den Körpern vorhanden sind und die Eigenschaft haben, dass die Theilchen desselben Stoffes sich abstossen, die der entgegengesetzten sich anziehen. Man nannte sie positive und negative Elektrizität. Man nahm an, dass sie in den nicht elektrisirten Körpern in gleicher Menge, gleichmässig durcheinander gemischt vorhanden sind, aber von einander getrennt werden, wenn man zwei Körper mit einander reibt. Zur völligen Klarheit wurde diese Vorstellung durch COULOMB gebracht, der 1785 durch seine Versuche das Gesetz fand, nach dem die Anziehungs- und Abstossungskräfte sich richten müssen, um die beobachteten Erscheinungen hervorzubringen. Das Gesetz lautet ähnlich dem NEWTON'schen Gravitationsgesetz; auch die elektrischen Kräfte sind dem Quadrate der Entfernung der aufeinander wirkenden Theile umgekehrt proportional.

Dieses COULOMB'sche Gesetz bezieht sich, seiner Herleitung gemäss, zunächst nur auf **ruhende** Elektricität. Die Erscheinungen, die diese hervorbringt, sind immer nur wenig in die Augen fallend und fast allein in den Laboratorien der Physiker werden sie künstlich hervorgerufen. Weit mannigfaltiger und die Aufmerksamkeit mehr auf sich ziehend sind die Wirkungen der bewegten, der strömenden Elektricität. Grossartige Schauspiele bringt diese hervor, wenn die Gewitterwolke in zuckenden Blitzen sich entladet und zu den verschiedensten Zwecken hat der Mensch sie sich dienstbar gemacht. Mit Gedankenschnelle trägt sie in den Telegraphendrähten das Wort durch Hunderte von Meilen, in der elektrischen Lampe erzeugt sie ein sonnenähnliches Licht, in den galvanoplastischen Fabriken versilbert und vergoldet sie oder copirt in Kupfer Medaillen, Bildsäulen und andere Gegenstände mit einer Treue, wie die Hand keines Künstlers sie erreichen könnte. Die Erscheinungen, die die strömende Elektricität zeigt, lassen sich nicht durch die von COULOMB erkannten Kräfte erklären; es ist vielmehr aus ihnen zu schliessen, dass die Kraft, mit der zwei Elektricitätstheilchen auf einander wirken, eine andere ist, wenn sie sich bewegen, als wenn sie ruhen. Vor etwa 20 Jahren ist es WILHELM WEBER gelungen die Abhängigkeit der Kraft von der Bewegung der Theilchen aufzufinden und dadurch für die Wirkungen, die elektrischen Ströme in die Ferne hin ausüben, eine Erklärung zu geben. Die Wirkungen aber, die diese Ströme in den Körpern, welche sie durchfliessen, hervorbringen, die chemischen Zersetzungen und die Wärmeentwicklung, die sie bedingen, weisen Kräfte nach, die zwischen den Elektricitätstheilchen und der wägbaren Materie ausgeübt werden, Kräfte, die mit den Molekularkräften gewisse Aehnlichkeit haben und auch noch so wenig erkannt wie diese sind..

Neben den beiden Elektricitäten nahm man früher in gewissen Körpern noch zwei Materien an mit ganz ähnlichen Eigenschaften, wie die Elektricitäten sie besitzen; die magnetischen Flüssigkeiten nämlich, durch die man die magnetischen Erscheinungen, die Kräfte, die Magnete auf einander ausüben, zu erklären suchte. AMPÈRE zeigte aber, dass dieselben Wirkungen, welche diese magnetischen Flüssigkeiten, wenn sie existiren, hervorbringen, auch durch elektrische Ströme, die die kleinsten Theile der Magnete umfliessen, erzeugt werden; er leitete weiter aus der Annahme solcher Ströme die Gesetze der Wechselwirkung zwischen Magneten und elektrischen Strömen ab, die thatsächlich besteht und die früher vollkommen räthselhaft geblieben war. Die Annahme magnetischer Flüssigkeiten wurde hierdurch für immer verdrängt und die Lehre vom Magnetismus in einen Theil der Elektricitätslehre verwandelt.

Ein ähnlicher Erfolg von noch grösserer Wichtigkeit ist in neuerer Zeit errungen; vor 2 Jahrzehnten noch nahm man, um die Wärmeerscheinungen verständlich zu machen, allgemein eine eigene unwägbare Materie, den Wärmestoff, an. Auch dieser ist aus der Wissenschaft verbannt, wie ich bald ausführlicher erörtern will. Dennoch ist die Vorstellung, die man von dem Bau der Körper gegenwärtig hat, noch eine sehr verwickelte; ausser den so mannigfaltigen, chemisch verschiedenen Arten der wägbaren Materie denkt man sich in ihnen den Lichtäther und die beiden elektrischen Flüssigkeiten. Man kann hoffen, dass es gelingen wird, diese Vorstellung noch weiter zu vereinfachen; schon sind Versuche gemacht, freilich noch nicht mit genügendem Erfolge, die elektrischen Erscheinungen ohne die Annahme der elektrischen Flüssigkeiten zu erklären.

Ausser der Kenntniss der vorhandenen Kräfte ist die Kenntniss des Zustandes, in dem die Materie in einem Augenblicke sich befindet, nöthig, wenn die Naturwissen-

schaften vollständig auf die Mechanik zurückgeführt sein sollen; man muss wissen, wie die Materie in der Welt vertheilt ist, und welche Geschwindigkeit jedes Theilchen derselben hat. Wenn unsere Kenntniss in Bezug auf die Kräfte der Natur eine lückenhafte und zum grossen Theile unsichere ist, so ist sie es wohl in höherem Maasse noch in Bezug auf den Zustand der Materie.

Wir wissen, dass die wägbare Materie in den Weltkörpern angehäuft ist, die durch vergleichungsweise ungeheure Räume von einander getrennt sind. Für die grösseren Planeten und die Sonne kennen wir die Grösse ihrer Massen, ihre Entfernungen und ihre relativen Bewegungen. Für die Sonne ist es ferner möglich gewesen, einige der chemischen Elemente, die dort sich befinden, zu ermitteln, und dieses ist auch für mehrere Fixsterne und Nebelflecken gelungen. Aber das ist auch fast die ganze Kenntniss, die wir von der Materie besitzen, aus der die Gestirne bestehen. Doch wir brauchen uns nicht mit unseren Gedanken in den Sternenhimmel zu erheben, um einzusehn, wie wenig wir von der Vertheilung der Materie wissen. Im Innern der Erde sind nur die Körper, zu denen der Bergmann dringt, unserer näheren Untersuchung zugänglich; und wie klein ist die Tiefe, die dieser erreicht, im Vergleich mit den Dimensionen der Erde? Von den Körpern in und auf der Erdoberfläche haben wir manche Kenntnisse; das gesammte Material, welches die sogenannten beschreibenden Naturwissenschaften geliefert haben, bildet dieselben; die Anordnung der Materie in allen diesen Körpern ist uns aber doch nur sehr unvollkommen bekannt. Nehmen wir irgend einen Körper, den wir nach Willkühr zerstückeln und mit allen optischen Hilfsmitteln nach Bequemlichkeit betrachten können; was wissen wir von der Anordnung der wägbaren Materie in ihm, was von der Art, wie der Aether und die elektrischen Flüssigkeiten, wenn sie existiren, neben dieser verbreitet sind? Es ist wahrscheinlich, aber nicht gewiss, dass alle Materie aus sehr kleinen Theilchen besteht, sogenannten Molekülen, die durch verhältnissmässig grosse Zwischenräume getrennt sind, durch Zwischenräume, die aber immer noch für unser Auge unwahrnehmbar klein sind, selbst wenn man dieses durch die kräftigsten Mittel verstärkt, die die optische Kunst gewährt hat. Gesetzt diese Vorstellung wäre die richtige, gesetzt ferner — was in keiner Weise der Fall ist — man kennte die Grösse und Gestalt der kleinsten Theilchen der Materie und man wüsste, wie diese in einem Augenblicke angeordnet sind; es bliebe dann immer noch die Frage übrig, welches die Bewegung derselben in dem Augenblicke ist. Vorhanden ist eine solche Bewegung in einem jeden Körper, auch wo unser Auge sie nicht wahrnimmt; die Erscheinungen der *Wärme* nämlich beruhen auf einer solchen Bewegung. Es sei mir gestattet auf die Begründung dieser Behauptung näher einzugehn, einer Behauptung, die vor Kurzem erst als wahr erkannt, und die offenbar von der grössten Bedeutung für unser Wissen über den Zustand der Materie ist.

Was ist Wärme? Die Beantwortung dieser Frage ist schon desshalb von der höchsten Wichtigkeit, weil dieses Agens fast bei jeder Erscheinung mitwirkt. Fast jede Eigenschaft eines Körpers wird durch die Wärme geändert; starre Körper werden durch sie erweicht und geschmolzen, flüssige in Gas verwandelt, chemisch zusammengesetzte in ihre Bestandteile zerlegt oder einfache verbunden; durch Wärme kann man Licht erzeugen und elektrische Ströme hervorrufen. Umgekehrt kann man durch die verschiedenartigsten Prozesse Wärme erregen; die Wärme, die man zu den Zwecken des gewöhnlichen Lebens oder der Industrie künstlich erzeugt, wird durch die Kohle bei ihrer Verbindung mit dem Sauerstoff der Atmosphäre hergegeben; das Sonnenlicht,

welches einen Körper trifft, erhitzt denselben; ein elektrischer Strom erregt in jedem Körper, den er durchfließt, Wärme. Es gibt kaum eine Naturerscheinung, deren Untersuchung nicht auch auf die Frage führte: was ist Wärme?

Der Begriff der Temperatur ist uns durch die Erfahrung, die wir von unserer Geburt an gehabt haben, so geläufig wie die Begriffe von Raum und Zeit; er erscheint von vornherein aber auch so fundamental, so wenig zurückführbar auf andere wie diese. Nachdem das Princip anerkannt war, dass alle Naturerscheinungen in Bewegungen unveränderlicher Materie bestehen, lag die Aufgabe vor, auch die Wirkungen der Wärme als solche zu erklären und den Begriff der Temperatur auf die Begriffe der Mechanik zurückzuführen. Man nahm die Existenz eines Wärmestoffes an, einer unwägbaren Materie, die bald in grösserer, bald in geringerer Menge in den Körpern vorhanden wäre und durch ihre Menge die Temperatur dieser bedingte. Wird ein wärmerer Körper mit einem kälteren zusammengebracht, so kühlt sich jener ab, während dieser sich erwärmt, weil — wie man sagte — von dem Wärmestoff etwas aus jenem in diesen überströmt. Aber es gibt auch Fälle, in denen ein Körper sich erwärmt, ohne dass ein anderer sich abkühlt, oder umgekehrt, Fälle, in denen also Wärme scheinbar neu entsteht oder verschwindet. Das Erste findet z. B. bei einer Verbrennung statt, das Zweite, wenn Wasser verdunstet und dadurch sich abkühlt. Eine Erzeugung oder Vernichtung von Wärmestoff durfte man nicht zugeben; man half sich mit der Annahme, dass der Wärmestoff mit der wägbaren Materie Verbindungen eingehen könne, die zu vergleichen wären mit den chemischen Verbindungen verschiedenartiger Körper. Wie eine Säure ihre charakteristischen Eigenschaften verliert, wenn sie sich chemisch mit einer Base zu einem Salze verbindet, so — deducirte man — verliert der Wärmestoff das Vermögen die Temperatur zu erhöhen, wenn er sich mit Wasser zu Wasserdampf verbindet; bei einer Verbrennung erhält er dieses Vermögen wieder, weil er dabei aus einer Verbindung, in der er unwirksam war, ausgeschieden wird. Man sprach von freier und gebundener Wärme in einem Körper, wie man von freier und gebundener Säure in einem Gemenge verschiedenartiger chemischer Stoffe spricht. Um zu erklären, dass, wenn ein warmer und ein kalter Körper zusammengebracht werden, eine Ausgleichung der Temperatur stattfindet, rüstete man den Wärmestoff mit der Eigenschaft aus, dass seine Theile sich abstossen und von der wägbaren Materie angezogen werden. Man glaubte so zugleich die Erklärung der Thatsache gegeben zu haben, dass die meisten Körper sich ausdehnen, wenn sie höher erwärmt werden.

Diese Ansicht über das Wesen der Wärme blieb die herrschende bis vor wenigen Decennien, obwohl früher schon hin und wieder auf das Unzulässige derselben hingewiesen war. Es kann das auffallen, da eine Erscheinung, die den Menschen, auf der niedrigsten Culturstufe bekannt ist, schon ihre Unrichtigkeit deutlich zeigt; ich meine die Wärmeerregung durch Reibung. Durch Reibung können zwei Körper sehr hoch erhitzt werden ohne sonst irgend eine Veränderung zu erfahren; die Wärme, welche hier erzeugt zu werden scheint, wird *wirklich* erzeugt; die Wärme kann also kein Stoff sein, dessen in der Welt vorhandene Menge unveränderlich ist.

Zur richtigen Einsicht in das Wesen der Wärme hat erst ein Princip geleitet, welches vor etwa 20 Jahren entdeckt ist, ein Princip, welches für die gesammten Naturwissenschaften von fundamentaler Bedeutung ist und unter den Erkenntnissen, die in diesen erlangt sind, an Allgemeinheit und Folgereichthum die nächste Stelle nach dem Principe von der Unveränderlichkeit der Materie einnimmt. Um es aussprechen zu

können, muss ich auf einen Begriff zurückkommen, den ich früher schon zu definiren hatte, den Begriff der Arbeit einer Kraft. Wird dem Angriffspunkte einer Kraft eine unendlich kleine Verschiebung ertheilt, so nennt man das Produkt aus der Grösse der Kraft in die, in der Richtung dieser gemessenen, Verschiebung die dabei von der Kraft geleistete Arbeit. Bei einer endlichen Verschiebung des Punktes in gerader oder krummer Linie ist die Arbeit die Summe der Arbeiten, die den unendlich kleinen Verschiebungen entsprechen, aus denen die endliche zusammengesetzt ist; hat man ein System von Kräften, die auf verschiedene materielle Punkte wirken, so heisst die Summe der Arbeiten der einzelnen Kräfte für irgend eine Bewegung der Punkte die Arbeit des Systemes. Dieser Begriff der Arbeit kommt in einem Satze vor, der ein wesentliches Glied in der Kette von Schlüssen bildet, die ich anzuführen habe, in dem sogenannten Satze von der lebendigen Kraft, welcher eine unmittelbare Folge jenes D'ALEMBERT'schen Principes ist, das die Lösung der allgemeinsten Aufgabe der Mechanik enthält. Mit dem, nicht glücklich gewählten, Namen der lebendigen Kraft einer bewegten Masse bezeichnet man die Hälfte des Produkts aus der Grösse der Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit; unter der lebendigen Kraft eines Systemes von Massen versteht man die Summe der lebendigen Kräfte seiner Theile. Der Satz von der lebendigen Kraft sagt aus, dass bei irgend einem Systeme von Massen, das unter dem Einflusse beliebiger Kräfte sich bewegt, die lebendige Kraft in irgend einem Zeitraum eine Vermehrung erfährt, die gleich der Arbeit ist, welche die wirkenden Kräfte in diesem Zeitraum leisten. Auf einen fallenden schweren Körper angewandt giebt dieser Satz das Gesetz an, nach dem die Geschwindigkeit zunimmt, je grösser die durchfallene Strecke wird; die Geschwindigkeit muss hier wachsen, da das Gewicht des Körpers positive Arbeit leistet, indem dieser in der Richtung der Schwere sich bewegt; bei einem aufwärts geschleuderten Körper, der in der der Schwere entgegengesetzten Richtung fortschreitet, leistet das Gewicht negative Arbeit; die Geschwindigkeit muss hier abnehmen; derselbe Satz spricht aus, in welchem Maasse das geschieht. Bei einer jeden Maschine findet unser Satz eine Anwendung. Bei einer Maschine handelt es sich immer darum eine Kraft zu überwinden oder einem Körper Geschwindigkeit zu ertheilen. Nach dem Satze von der lebendigen Kraft kann man diesen Zweck nur erreichen, indem man eine andere Kraft Arbeit leisten oder die Geschwindigkeit eines andern Körpers sich verkleinern lässt. Bei einem Wasserrade z B., welches eine Mühle treibt, fällt Wasser oder die Geschwindigkeit eines Wasserstromes wird verringert. Bei einer Uhr wird durch das sinkende Gewicht der Widerstand überwunden, den die Theile des Werkes bei ihrer Bewegung finden. Ist die Uhr abgelaufen, so muss sie wieder aufgezogen, durch Arbeit von Menschenkraft das Gewicht wieder gehoben werden,

Liesse sich die Uhr nicht so einrichten, dass sie sich selbst wieder aufzöge, wenn sie abgelaufen ist? oder das Wasserrad so, dass es das Wasser, durch dessen Fall es in Bewegung gesetzt wurde, wieder zu seiner ursprünglichen Höhe höbe und dabei doch noch die Mühle triebe? Wenn das gelänge, so wäre eine Maschine construirt, die von Vielen gesucht, aber von Niemandem gefunden ist, ein sogenanntes perpetuum mobile nämlich, Dass ein solches nicht hergestellt werden kann bei alleiniger Benützung der Schwere oder gewisser anderer Kräfte ist seit langer Zeit eingesehen. Seit langer Zeit hatte man erkannt, dass viele Kräfte der Natur, und darunter auch die von der Schwere herrührenden, die Eigenschaft haben, dass die Arbeit, die sie leisten, während die Massen, auf welche sie wirken, aus einem gewissen Anfangszu-

stande in einen gewissen Endzustand übergehn, *nur* von diesen beiden Zuständen abhängt, nicht aber von der Art und Weise des Ueberganges. Fallen Endzustand und Anfangszustand zusammen, so ist die Arbeit solcher Kräfte gleich Null; denn dann könnte der Uebergang dadurch bewirkt werden, dass man gar keine Bewegung des Systemes eintreten liesse. So oft die Theile einer Maschine, auf die solche Kräfte wirken, in ihre ursprüngliche Lage gekommen sind, ist die Arbeit dieser gleich Null. Ist ein Gewicht in irgend einer in sich zurückkehrenden krummen Linie bewegt, so hat es keine Arbeit geleistet, denn auf dem einen Theile seiner Bahn ist es genau so viel gehoben, als auf dem andern gesenkt; kein Widerstand kann daher durch dasselbe überwunden und keinem Körper Geschwindigkeit ertheilt sein, wenn seine eigene Geschwindigkeit unvermindert geblieben ist.

Aber nicht alle Kräfte der Natur schienen jene Eigenschaft zu theilen; vor wenigen Jahrzehnten noch war es eine offene Frage, ob ein perpetuum mobile möglich wäre, wenn man Wärme, Licht, Elektrizität und chemische Prozesse wollte mit ins Spiel treten lassen. Jetzt ist diese Frage beantwortet; ein perpetuum mobile ist immer unmöglich; *alle* Naturkräfte folgen dem Gesetze, dass die Arbeit, die sie leisten, indem ihre Angriffspunkte aus einem gewissen Anfangszustande in einen gewissen Endzustand übergehn, *nur* von diesen beiden Zuständen, aber nicht von der Art des Ueberganges abhängt; mit anderen Worten: die Arbeit *aller* Naturkräfte ist gleich Null für eine Bewegung, bei der ihre Angriffspunkte in die ursprüngliche Lage zurückgeführt werden. Die Erkenntniss dieses Gesetzes ist unzweifelhaft die wichtigste, die in unserm Jahrhundert auf dem Gebiete der Naturwissenschaften gewonnen ist. Der Ruhm, dasselbe gefunden und fruchtbar gemacht zu haben, gebührt vornehmlich MAYER, COLDING, JOULE, HELMHOLTZ, CLAUSIUS und THOMSON. Es waren hauptsächlich Spekulationen über die durch die Wärme hervorgebrachten Erscheinungen, welche zur Auffindung dieses Satzes von der Constanz der Arbeit, wie ich ihn nennen will, geführt haben; und umgekehrt ist durch ihn das wahre Wesen der Wärme enthüllt worden. Das folgende Beispiel scheint mir das geeignetste, um zu zeigen, wie mit seiner Hülfe die Frage, was ist die Wärme, beantwortet werden konnte.

Man denke sich ein Rad, das, wie ein Wagenrad um eine Axe sich drehen kann. Wenn es sich dreht, während die Axe festgehalten wird, so ist die Arbeit, welche die auf das Rad etwa wirkenden Kräfte während eines ganzen Umlaufs leisten, nach unserm Satze gleich Null, denn nach einem Umlauf sind alle Theile wieder in der ursprünglichen Lage. Nach dem Satze von der lebendigen Kraft, nach dem die Vermehrung dieser immer gleich ist der geleisteten Arbeit, ist nach einem Umlauf also auch die lebendige Kraft ungeändert. Nun erfährt das Rad an seiner Axe Reibung; diese macht, dass die Drehungsgeschwindigkeit des Rades mehr und mehr abnimmt; die lebendige Kraft der Drehung hat also nach einem Umlaufe eine gewisse Verringerung erfahren; ausser der Drehung muss also noch eine andere, nicht sichtbare Bewegung vorhanden sein, deren lebendige Kraft um eben so viel zugenommen, als die der Drehung abgenommen hat. Die einzige Wirkung der Reibung ausser der Verminderung der Drehungsgeschwindigkeit ist aber die Erregung von Wärme. Daraus ist zu schliessen, dass die Wärme in einer unsichtbaren Bewegung besteht.

Die Erkenntniss, dass die Wärme eine Bewegung ist, macht es begreiflich, dass Wärme entstehen und verschwinden kann. Jede Kraft, die Arbeit leistet, muss Wärme erzeugen, wenn sie keine andere Wirkung hervorbringt, d. h. keine andere Bewegung

hervorrufen und keine fremde Kraft überwindet. Man misst eine Wärmemenge durch die Quantität Wasser, die sie um ein gewisses Temperaturintervall, z. B. von 0° auf 1° erwärmt. Die in dieser Weise gemessene Wärmemenge, welche durch eine gewisse Arbeit erzeugt wird, muss, welches auch die Kräfte sein mögen, die die Arbeit leisten, proportional mit der Arbeit sein. Nach den Messungen von JOULE wird die Wärmemenge, die nöthig ist, um 1 Pfund Wasser von 0° auf 1° der hunderttheiligen Skale zu erwärmen, durch die Arbeit erregt, die 1 Pfund leistet, wenn es durch die Höhe von 423,5 Meter fällt. Diese Arbeit hat man das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit genannt. Mit seiner Hülfe findet man durch eine einfache Proportion für jede gegebene Wärmemenge die äquivalente Arbeit und für jede gegebene Arbeit die äquivalente Wärmemenge. Wenn Arbeit Wärme erzeugt, so erzeugt sie die äquivalente Wärmemenge. Fällt ein schwerer Körper im Wasser zu Boden, so setzt er dieses in lebhaftere Bewegung; aber die sichtbare Bewegung wird schwächer und schwächer, durch Reibung wird sie allmählig vernichtet; durch diese wird Wärme erregt; ist das Wasser zur Ruhe gekommen, so ist es wärmer als es früher war; es ist eine Wärmemenge in ihm erzeugt, die äquivalent der Arbeit ist, die das Gewicht des Körpers leistete, indem dieser durch die Höhe fiel, durch die er sich bewegte. Die Wärmeerregung durch Arbeit zeigt sich hier durch Reibung vermittelt; aber nicht immer ist das der Fall. Wenn Kohle mit Sauerstoff verbrennt, wenn Säure mit einer Base zu einem Salze zusammentritt, so folgen die sich verbindenden Theilchen den Anziehungskräften, die sie aufeinander ausüben; diese Anziehungskräfte leisten also Arbeit; es wird eine Wärmemenge erregt, die dieser äquivalent ist. Wenn bei einem Gewitter die positive Elektrizität der Wolke mit der negativen des Erdbodens in einem Blitze sich vereinigt, so leisten die Kräfte, mit denen die entgegengesetzten Elektrizitäten sich anziehen, Arbeit, und diese bringt die Wärme hervor, in Folge deren der Blitz zündet. Umgekehrt ist eine Wärmemenge, die verschwindet, gleichwerthig mit geleisteter Arbeit. In einer thätigen Dampfmaschine wird Wärme vernichtet; der Dampf, der aus dem Kessel in den Cylinder strömt, entzieht jenem mehr Wärme, als er dem Condensator abgibt, in den er tritt, wenn er im Cylinder seine Wirkung ausgeübt hat. Der Nutzeffekt, den die Maschine gewährt, ist äquivalent der Wärmemenge, die verschwindet.

Nachdem man eingesehen hat, dass die Wärme in einer Bewegung besteht, ist auch das Bestreben sich auszubreiten, welches dieselbe besitzt, leicht verständlich. Wenn irgend ein Körper an einer Stelle erschüttert wird, so pflanzt sich von dieser aus die Erschütterung nach allen Seiten fort; und ist der Körper mit andern Körpern in Berührung, so geht auch auf diese ein Theil der Bewegung über. Gerade so muss auch die Wärmebewegung, die an einem Orte eines Körpers erregt ist, nach allen Richtungen in ihm fortgeleitet werden und zum Theil in die berührenden Körper übergehen. Aber nicht allein bei der Berührung giebt ein wärmerer Körper einem kälteren Wärme ab; die Sonne strahlt — wie man sich ausdrückt — der Erde Wärme zu; durch den Himmelsraum also kann auch die Wärme sich bewegen. Auch das ist begreiflich. Der Himmelsraum ist ja nicht absolut leer, er ist mit Aether erfüllt; auch der Aether wird die Wärmebewegung von einem Körper zu einem andern übertragen können, indem er von jenem Bewegung aufnimmt und an diesen abgibt. Die Fortpflanzung der Wärme durch den Aether nennt man ihre Strahlung. Nicht allein im leeren Raume findet sie statt, auch in der Luft zeigt sie sich deutlich und in einem gewissen Grade muss sie in jedem Körper vorkommen, denn jeder Körper

enthält Aether. In einer Bewegung des Aethers wie die Lichtstrahlen müssen die Wärmestrahlen bestehen. Es liegt die Frage nahe, welches das Verhältniss von Licht- und Wärmestrahlen zueinander ist. Die Untersuchung der letzteren zeigte bald bei ihnen qualitative Unterschiede. Man fand nämlich, dass viele Körper gewisse Wärmestrahlen leichter durch sich hindurch lassen, als andere. Die Wärme der Sonne wird durch eine Glasscheibe wenig geschwächt, hinter einem geschlossenen Fenster fühlt man sie deutlich; die Wärmestrahlen eines geheizten Ofens hält eine Glasscheibe fast vollständig zurück. Die Verschiedenheit der Wärmestrahlen, die sich hierin zeigt, erinnerte an eine Verschiedenheit der Lichtstrahlen; eine rothe Glasplatte lässt von rothen Lichtstrahlen viel, von grünen wenig oder nichts hindurch. Man verglich die verschiedenartigen Wärmestrahlen mit den verschiedenfarbigen Lichtstrahlen und sprach von Wärmefarben. Dieser Ausdruck, der von einer Aehnlichkeit hergenommen war, die man ursprünglich wohl nur für eine oberflächliche und zufällige hielt, sollte später in nicht geahnter Weise gerechtfertigt werden. Sobald man auf die Wärmestrahlen aufmerksam geworden war, musste man bemerken, dass sie oft, wie z. B. bei der Sonne, mit Licht zusammen vorkommen. Eben so auffallend war es aber auch, dass sie ohne dieses auftreten können; jeder mässig erhitze Körper strahlt Wärme, aber kein Licht aus. Man glaubte, es gäbe auch Licht ohne Wärme; das Licht des Mondes führte man als Beleg hierfür an und man behauptete, das auch das Sonnenlicht vollständig seine Wärme verliere, wenn es durch gewisse durchsichtige Körper geleitet würde. Man musste hieraus schliessen, dass Licht- und Wärmestrahlen zwar in gewissem Sinne verwandt, doch ihrem Wesen nach verschieden wären. Genauere Versuche haben indessen gezeigt, dass die gänzliche Entfernung der Wärme aus Lichtstrahlen, die man bewirkt zu haben meinte, auf einer Täuschung beruht hat, und dass es kein Licht giebt, das nicht wärmt. Die Aehnlichkeit in dem Verhalten der Licht- und Wärmestrahlen zeigte sich grösser und grösser, je weiter man in der Erkenntniss beider fortschritt, und gegenwärtig ist es sicher festgestellt, dass beide ihrem Wesen nach vollkommen gleich sind, dass die Lichtstrahlen eine besondere Klasse der Wärmestrahlen bilden und sich von den dunkeln Wärmestrahlen nur in ähnlicher Weise unterscheiden, wie die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen unter einander. Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen können, wenn sie gemischt sind, wie es z. B. bei dem Lichte der Sonne der Fall ist, durch Brechung mit Hülfe eines Prismas getrennt werden, weil sie unter gleichen Umständen eine verschiedene Brechung erleiden. Die rothen sind am wenigsten brechbar, dann kommen die gelbes, grünen, blauen und endlich die violetten. Die dunkeln Wärmestrahlen, wie sie ein mässig warmer Körper aussendet, unterscheiden sich von den Lichtstrahlen dadurch, dass sie eine noch geringere Brechbarkeit, oder, was dasselbe ist, eine noch grössere Schwingungsdauer als die rothen besitzen; man nennt sie deshalb auch ultra-rothe Strahlen. Dass sie dunkel sind, dass sie auf unser Auge keinen Eindruck machen, liegt an einer Eigentümlichkeit dieses Organs.

Die Lehre, dass die Wärme in einer Bewegung besteht, war ein erheblicher Fortschritt der Naturwissenschaften. Sie hat die Vorstellung von dem Wesen der Körper in so fern vereinfacht, als durch sie die Annahme eines Wärmestoffs unnöthig gemacht ist; die Wärmestrahlen hat sie als identisch mit den Lichtstrahlen erkennen lassen, mit denen wir durch das Auge, den feinsten unserer Sinne, in verhältnissmässig hohem Grade vertraut geworden waren; sie hat für viele bekannte, aber früher nicht erklärte Thatsachen die Erklärung gegeben und zur Entdeckung bisher unbemerkter Erschei-

nungen geleitet. Was hier aber hauptsächlich hervorgehoben werden muss, das ist, dass diese Lehre zu der Einsicht geführt hat, dass nirgend in der Natur Ruhe besteht; die Theilchen auch derjenigen Körper, die uns vollkommen starr erscheinen, sind in ewiger Bewegung gegen einander begriffen. Aber welches ist diese Bewegung? wie unterscheidet sie sich bei den verschiedenen Körpern und bei den verschiedenen Temperaturen? Was wir hierüber wissen, ist nicht vollständiger und nicht sicherer, als es unsere Kenntnisse über die Anordnung der Materie sind.

Wir müssen hiernach gestehen, dass wir von dem Zustande, in dem die Materie sich befindet, wie von den Kräften, die ihre Theile auf einander ausüben, gegenwärtig nur sehr geringe Kenntnisse besitzen, und dass unser Verständniss der Naturerscheinungen, selbst derjenigen, die die unorganische Körperwelt darbietet, bis jetzt ein sehr unvollkommenes ist. In höherem Maasse noch gilt das von den viel complicirteren Vorgängen, welche in den Pflanzen und Thierkörpern stattfinden. Hier wie dort ist das wahre Verständniss nicht gewonnen, so lange die Zurückführung auf die Mechanik nicht gelungen ist. Vollständig erreicht wird dieses Ziel der Naturwissenschaften niemals werden; aber schon die Thatsache, dass es als solches erkannt ist, bietet eine gewisse Befriedigung und in der Annäherung an dasselbe liegt der höchste Genuss, den die Beschäftigung mit den Erscheinungen der Natur zu gewähren vermag.