

VI.

Die Gesetze der Bewegung.

Populärer Vortrag

gehalten in der Harmonie in Kiel im Winter 1871/72

von

G. Karsten.

Ueber die Grundsätze der Bewegung.

H. V.

Als der Plan gefasst wurde einer grösseren Zuhörerschaft in gemeinverständlicher Weise einzelne Bilder aus dem reichen Gebiete der Naturkunde vorzuführen, entstand unter denen, welche für diesen Winter Vorträge übernommen hatten, der Wunsch, es wo möglich hervortreten zu lassen, dass, wie ungleichartig die Themata der einzelnen Vorträge sein möchten, dieselben doch durch ein gemeinsames Band verknüpft seien. Unbehindert sollte aus dem Schatze naturwissenschaftlicher Forschungen ein einzelner Gegenstand herausgenommen werden können um, soweit es die flüchtige Stunde gestattet, seine volle Würdigung zu finden. Aber der Gedankengang eines Vortrages sollte nicht wie von etwas Fremdem, durch die Gedanken des folgenden verdrängt werden, sondern sich ihm als ein anderes Glied derselben zusammenhängenden Kette anreihen.

Manchem würde es möglicher Weise lieber gewesen sein fortlaufende Vorlesungen aus einem beschränkten Gebiete der Naturkunde zu hören. Vielleicht aber meinten die Veranstalter der Vorträge dann nur auf einen kleinen Zuhörerkreis rechnen zu können und, bei dem Wunsche für die Naturwissenschaften möglichst allgemein zu interessiren, wurden sie von den beiden geflügelten Worten: »die Abwechslung erfreut« und »Wer Vieles bringt wird Manchem Etwas bringen«, geleitet.

Mir aber fiel der Auftrag zu, für jenes »Viele« oder Vielerlei, gewissermassen im Prologe, das Zusammenfassende, Einheitliche nachzuweisen.

Das Einheitliche aller Gebiete der Naturkunde ist: das Werden Sein und Vergehen der Dinge zu erforschen. So unendlich mannigfaltig der Gegenstand der Forschung, so wechselnd die von unsern Sinnen aufgefasste Erscheinung, so ungleich die eine Erscheinung

bedingende Ursache sein mag, Eines erkennen wir immer mehr als ein Unveränderliches, auf welches wir in allen Gebieten der Naturwissenschaften zurückgeführt werden: das Gesetz: dass alles Werden, Sein und Vergehen von denselben Kräften regiert wird, die wir nicht als solche, sondern durch die von ihnen bewirkten Bewegungen erkennen. Alles Werden, Sein und Vergehen besteht daher aus Bewegung und die Gesetze der Bewegung bleiben dieselben, ob wir es mit der sogenannten todtten Natur, oder mit der organischen Welt, mit dem normal entwickelten Gebilde oder einem krankhaften Zustande zu thun haben.

Am deutlichsten werden die Gesetze, welche den Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung bestimmen in der Mechanik und an den physikalischen Erscheinungen überhaupt, erkannt: die Physik kann daher als die Lehre von den Bewegungen in der unorganischen Natur erklärt werden.

Da nun aber diese, durch die Physik erkannten Bewegungsgesetze ihre Gültigkeit auch in der organischen Natur behalten und hier nur, wegen des Zusammentreffens mannigfaltiger Bewegungen, verwickelter und schwerer erkennbar werden, so bildet das Verständniss der physikalischen Bewegungsgesetze das gemeinsame Band zwischen allen Naturwissenschaften. Bei einigen derselben, wie z. B. der Physiologie, einzelnen Zweigen der Chemie, der Mineralogie und selbst der Heilkunde ist es schon gelungen viele Erscheinungen völlig klar auf die einfacheren Gesetze der Physik zurückzuführen. Bei andern widerstrebt noch die Verwicklung der Umstände. Dennoch dürfen wir nach der Analogie erwarten, es werde sich dereinst der strenge Nachweis führen lassen, dass alle Zweige der Naturkunde aus derselben Wurzel entsprossen sind, welche in dem alten umfassenden Namen »Physik« als die Naturkunde bezeichnet ist.

Wenn ich hiernach meine Aufgabe zusammenfasse: dass ich Ihnen die Grundgesetze der Bewegungen vorzuführen habe, so erkenne ich die Schwierigkeit sehr wohl. Nicht glänzende Erscheinungen, an denen die Physik, geschweige die Gesamtheit der Naturwissenschaften überreich ist, habe ich zu besprechen, sondern die sehr trockne Untersuchung anzustellen, auf welchen Bedingungen die Naturerscheinungen beruhen. Ich wage jedoch den Versuch indem ich mich mit einem Gleichniss zu decken suche: der Oberbau eines schönen Gebäudes ist viel anziehender als das tragende Fundament. Wer aber die Sicherheit des Baues erkennen, die Durchdachtheit der ganzen Anlage verstehen will, muss sich um das Fundament kümmern. Sagen wir doch sprüchwörtlich: Der versteht seine Sache aus dem Fundamente.

Mit dem Erwachen der Naturwissenschaften gegen Ende des 16. Jahrhunderts war es eine ihrer ersten Thaten, die irrigen Ansichten der Aristotelischen Schule über die Bewegung der Körper zu beseitigen.

Galileo Galilei entdeckte (1583—89) die richtigen Gesetze des freien Falles der Körper und der Pendelbewegungen, zwei fundamentale Gesetze, auf denen ein grosser Theil der physikalischen Bewegungslehre beruht und welche zugleich den Keim einer richtigen Vorstellung von den Beziehungen zwischen den Bewegungen und den sie veranlassenden Kräften enthalten.

Eine zusammenhängende Lehre der Mechanik begründete Galilei nicht, dies war seinem grossen Nachfolger, dem im Todesjahre Galilei's (1642) geborenen Isaak Newton vorbehalten, der in seinem berühmten Werk »mathematische Grundsätze der Naturlehre« (Philosophiae naturalis principia mathematica) die Gesetze der Bewegung und deren Verhältniss zu den Kräften in wenigen einfachen Sätzen aufstellte und aus diesen eine Anzahl der zusammengesetzteren Bewegungserscheinungen ableitete.

Diese sogenannten Newton'schen Axiome sind zum Theil schon von Vorgängern Newton's ausgesprochen, von ihm aber zuerst in einem geschlossenen Systeme vereinigt und mit weitreichenden Folgerungen ausgeführt worden; sie werden noch jetzt in ihrer vollen Gültigkeit anerkannt und vielleicht ist niemals einer Wissenschaft eine so einfache und zugleich so umfassende Grundlage gegeben worden. Zwar beabsichtigte Newton nur der Mechanik im engeren Sinne und der Astronomie eine sichere Begründung zu geben. Die Folgezeit hat aber gelehrt, dass er die allgemein geltende Grundlage der Gesetze jeder Art von Bewegungen geschaffen hat, welche in erweiterter Form sich auf Gebieten anwendbar erwies, in denen zu Newton's Zeit erst spärliche Erfahrungen vorlagen.

Wir werden daher zuerst die Newton'schen Axiome zu besprechen und demnächst ihre allgemeine Anwendbarkeit auf verschiedene Zweige der Naturkunde zu prüfen haben.

Ohne Zweifel sind vielen der geehrten Anwesenden die Newton'schen Axiome, wenn nicht unmittelbar aus der Lernzeit und aus Schriften, so doch dadurch bekannt, dass sie im allgemeinen Bewusstsein als alltägliche Wahrheiten empfunden werden und als solche sogar in Redewendungen zum Vorschein kommen.

Das erste Axiom lautet in wörtlicher Uebersetzung:

»Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in geradliniger Richtung, so lange

er nicht von einwirkenden Kräften gezwungen wird, diesen seinen Zustand zu ändern^a *).

Dieser Satz ist unter dem Namen des Axioms vom Beharrungsvermögen oder der Trägheit bekannt, vielleicht weniger allgemein bekannt als physikalisches Grundgesetz denn als eine auch zutreffende Erfahrung über das geistige Beharrungsvermögen, welches das Hinüberleiten in neue Bahnen erschwert.

Das erste Axiom rührt nicht von Newton her. Es ist, wenn auch nicht mit Worten ausgedrückt, in der von Galilei gegebenen Theorie der Fallbewegungen enthalten. Descartes aber hat in seinen Principien der Philosophie den Satz fast mit denselben Worten ausgesprochen, nämlich:

»Jedes Ding bleibt wie es ist, immer in demselben Zustande und ändert sich niemals, es sei denn veranlasst durch äussere Ursachen. Kein Theil der Materie strebt von sich selbst dahin, sich in krummen Linien zu bewegen, sondern nur gradlinig^a **).

Newton drückt die Thatsache nur noch schärfer aus, indem er die Gleichförmigkeit der Bewegung hinzufügt. Jetzt scheint uns der Satz so selbstverständlich! Wie sollte wohl ein bewegter Körper zur Ruhe kommen, wenn nicht eine seiner Bewegung widerstrebende Veranlassung da ist; wie sollte er schneller laufen, wenn ihn nicht eine Ursache dazu treibt; und was sollte ihn veranlassen, von seinem graden Wege abzuweichen nach links oder rechts, nach oben oder unten, wenn nicht nach einer dieser Richtungen hin eine besondere Veranlassung ihn führt?

Und doch wurde erst mit diesem Satze die seit dem Alterthum geltende irrige Vorstellung von der Beziehung zwischen Bewegung und Kraft, welche selbst Kepler noch theilte, beseitigt. Man hatte früher nämlich angenommen, jede Bewegung sei ein Beweis für das Vorhandensein einer das bewegte Ding in jedem Augenblicke treibenden Kraft, während sie nur der Beweis dafür ist, dass Einmal eine Kraft gewirkt haben muss, um der ruhenden Materie Bewegung zu ertheilen. Galilei traf zuerst das Richtige indem er zeigte, dass erst die Aen-

*) Lex I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutari. Newt. Op. ed. Horsley II. p. 13.

**) Unamquamque rem quatenus est simplex et indivisa manere quantum in se est in eodem semper statu nec unquam mutari nisi a causis externis. Descartes princ. phil. ed. Amstel. 1656 p. 43 Nr. XXXVII.

Unamquamque partem materiae seorsim spectatam non tendere unquam, ut secundum ulla lines obliquas perget moveri sed tantummodo secundum rectas. I. c. Nr. XXXIX.

derung der Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit auf die augenblicklich stattfindende Wirkung einer Kraft hinweise.

Wie schwierig es den ersten Begründern der neuen Vorstellung schien, dieselbe annehmbar zu machen, geht aus den Erklärungsversuchen hervor. So sagt z. B. Descartes, dass »aus der Unbeweglichkeit Gottes einige Gesetze begriffen werden könnten, welche die Ursache der Bewegungen erklären«^{*)}, und führt dann das erwähnte Gesetz vom Beharrungsvermögen an. Diesem Gedanken, der aus dem Gebiete der Naturkunde in das der Speculation hinüberleitet, kann auch im Sinne der neuern Physik eine richtige physikalische Deutung gegeben werden, wie wir später sehen wollen.

Einen besonders scharfen Gegensatz mit den alten Vorstellungen bildet in dem ersten Axiome die Behauptung, dass ohne eine einwirkende Ursache der einmal bewegte Körper sich gradlinig im Raume fortbewegt.

Im Mittelalter war die Aristotelische Naturlehre von der Kirche angenommen und ward deren unbedingte Annahme gefordert so gut als ob es sich um Dogmen gehandelt hätte. Nun hatte aber Aristoteles unter den 3 Arten der Bewegung die er aufstellt, als die einfachste und vollkommenste die Bewegung im Kreise bezeichnet. Als Beweis wurde die Bewegung der Himmelskörper angeführt. Alles was in der Natur ist, ist am zweckmässigsten und einfachsten. Die Himmelskörper gehen in Kreisbahnen — also sind diese die vollkommenste Bewegung. So ist der teleologische Schluss. Das erste Axiom vernichtet diese Vorstellung und weist darauf hin, dass jede andre als gradlinige, gleichförmige Bewegung aus der Einwirkung neuer Kräfte entspringen müsse.

Das zweite Axiom schliesst sich unmittelbar an das erste an indem es auf die Behauptung in demselben, dass der Beharrungszustand sich nicht ändert ausser wenn Kräfte dies bewirken, nunmehr die Wirksamkeit der Kräfte so angiebt:

»Die Aenderung der Bewegung steht in demselben Verhältnisse wie die einwirkende Kraft und erfolgt in der Richtung der graden Linie, in welcher die Kraft wirkt«^{**}).

Dies Gesetz wird dann von Newton folgendermaassen umschrieben: Bewirkt also eine Kraft eine bestimmte Bewegung, so bewirkt die doppelte Kraft eine doppelt so grosse, eine dreifache Kraft eine dreimal so grosse Bewegung u. s. w. Es ist einerlei, ob die Wirkung mit

*) Ex hac eadem immobilitate Dei, regulae quaedam sive leges cognosci possunt, quae sunt causae secundariae diversorum motuum. Desc. I. c. Nr. XXXVII.

**) Lex II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundum lineam qua vis illa imprimitur. Newton Op. I. c. p. 14.

einem Male oder allmählig nach einander erfolgt. Im letzteren Falle addirt sich die neue Bewegung zu der schon vorhandenen wenn sie mit ihr übereinstimmt, oder vermindert die letztere, wenn sie ihr entgegengesetzt ist. Beide werden sich endlich zu einer einzigen neuen Bewegungsrichtung vereinigen, wenn die Richtungen der Kräfte einen Winkel mit einander bilden.

Auch für dieses Axiom finden sich die Grundlagen in der Galilei'schen Theorie vom Falle der Körper, indem diese Art der Bewegung aus der Summirung einer vorhandenen, mit einer neu hinzutretenden Bewegung entsteht. Aber Newton gab dem Axiom wieder einen umfassenderen Inhalt, indem er in demselben und besonders in den ausführenden Anmerkungen, die Grundsätze feststellte, nach denen sich die Wirkungen mehrerer Kräfte zusammensetzen, und wie aus den Bewegungen ein Maass für die Grösse der wirkenden Kräfte entnommen werden kann.

Diese Consequenzen des zweiten Axioms sind von so durchgreifender Bedeutung für die gesammte Bewegungslehre geworden, dass ich die wichtigsten derselben in folgenden 4 Punkten besonders hervorheben muss.

- 1) Eine nur einen Augenblick wirkende Kraft bringt eine gradlinige gleichförmige Bewegung hervor.

Also z. B. die auf glatter Fläche fortgestossene Kugel rollt mit gleichmässiger Geschwindigkeit gradlinig fort.

Hier erkennen wir also die Beziehung der gleichförmigen nach den Beharrungsvermögen unablässig fortschreitenden Bewegung zu der Kraft. In dem so sich bewegenden Körper ist es nicht, wie man früher annahm, eine denselben unablässig treibende Kraft, die Kraft der Trägheit, sondern in dem ersten Anstosse ist die Wirkung der Kraft beendet und die Bewegung erhält sich, wofern sie nicht durch eine neue Kraft gehemmt wird.

- 2) Wenn zwei Kräfte die einen Körper bewegen in ihren Wirkungsrichtungen einen Winkel mit einander bilden, so vereinigen sich ihre Bewegungen in einer einzigen mittleren Richtung.

Also z. B. wenn Wind und Strömung das Schiff in verschiedenen Richtungen treiben, so folgt es weder dem Winde noch der Strömungsrichtung, sondern treibt in einer Linie zwischen beiden.

Dies ist das physikalische Seitenstück zu dem auch auf andern Gebieten vorkommenden Compromiss zwischen zwei Kräften. Ein erheblicher Unterschied besteht aber darin, dass im sonstigen Leben die eine, stärkere Kraft ihre Richtung gewöhnlich fast ganz durchsetzt, während in der Natur eine feste, unabänderliche gerechte Würdigung der verhältnissmässigen Grösse der Kräfte gilt. Diese feste Regel wird

mit dem Namen des Parallelogramms der Kräfte oder Bewegungen bezeichnet. Stellen wir uns nämlich die Kräfte oder die von ihnen bewirkten Bewegungen als grade Linien vor die an den zu bewegendenden Punkten befestigt sind, so erfolgt die Bewegung durch die vereinte Wirkung beider Kräfte unabänderlich so, dass der Punkt in der Diagonale desjenigen Parallelogramms sich bewegt, zu dem die beiden Kraftlinien die Seiten sind.

- 3) Wenn eine Kraft nicht bloss einen Augenblick sondern unablässig auf einen Körper wirkt, so erfolgt eine ungleichförmige Bewegung. Ist nämlich die Kraft stets in demselben Sinne wirkend, so wird die Bewegung schneller und schneller, wirkt die Kraft einer Bewegung unablässig entgegen, so wird diese immer langsamer und langsamer.

Also z. B. der fallende Stein fällt mit um so grösserer Geschwindigkeit, je länger sein Fall dauert, je längere Zeit die unablässig wirkende Anziehung der Erde seine Bewegung beeinflusst. Dagegen steigt der in die Höhe geworfene Körper immer langsamer und zuletzt gar nicht mehr, wenn die ihm durch den Wurf einmal mitgegebene Aussteuer an Bewegung durch den fortwährend davon zehrenden entgegengesetzten Zug der Erdanziehung aufgebraucht ist.

- 4) Kräfte werden ihrer Grösse nach bestimmt, durch die Grösse der Bewegung welche sie hervorbringen und die Grösse der Masse oder der Zahl der materiellen Theilchen, welche sie bewegen. Das Maass für die Grösse einer Kraft ist das Produkt der bewegten Masse mit der derselben ertheilten Geschwindigkeit.

Also eine kleine aber mit grosser Geschwindigkeit bewegte Masse kann auf eine ebenso grosse Kraft hindeuten, als eine sehr grosse, aber sich langsam bewegende Masse.

Eine Kraft, welche z. B. 10 Klgr. mit einer Geschwindigkeit von 1 Meter zu bewegen vermag, ist eben so gross als eine solche, welche 5 Klgr. um 2 Meter oder eine solche, welche 1 Klgr. um 10 Meter bewegt. Die Kräfte sind gleich gross wenn Produkt der Masse mit Geschwindigkeit gleich ist, in unserm Beispiel $10 \text{ Klgr.} \times 1 \text{ Mt.} = 10$, ebenso wie $5 \text{ Klgr.} \times 2 \text{ Mt.} = 10$ u. s. w. Man drückt dies jetzt häufig durch ein besonderes zusammengesetztes Wort: Kilogramm-meter oder Fussfund, aus und versteht, wenn man beispielsweise sagen würde, eine Kraft ist = 600 Kilogramm-meter gross, darunter, dass diese Kraft entweder 100 Klgr. mit 6 Meter oder 10 Klgr. mit 60 Meter u. s. w. Geschwindigkeit treiben kann. Der bekannte Ausdruck Pferdekraft ist nur eine versteckte Anwendung derselben Bezeichnung, eine Pferdekraft bedeutet in der Mechanik so viel wie 510 rheinl. Fussfund oder

wie 75 Kilogrammometer, d. h. eine durchschnittliche Pferdekraft wird so gross geschätzt, dass sie in der Sekunde 75 Klgr. mit 1 Meter Geschwindigkeit oder 25 Klgr. mit 3 Meter u. s. w. zu bewegen vermöchte.

In diesen Ausführungen des zweiten Axioms hat Newton die wichtigste Grundlage für die eigentliche Mechanik geschaffen. Besonders einflussreich ist aber die letzte Ausführung über das Maass der Kraft geworden, indem in der neuesten Zeit auf diesen Begriff auch die Vorstellungen von den Kräften zurückgeführt wurden, auf welchen die schwingenden Bewegungen der kleinsten Körpertheilchen beruhen, wie ich dies nachher noch auszuführen haben werde.

Das dritte Axiom endlich lautet:

»Jede Wirkung hat immer eine gleiche und entgegengesetzte Gegenwirkung zur Folge, oder die Wirkungen, welche irgend zwei Körper auf einander ausüben, sind immer gleich gross und einander entgegengerichtet«*).

Wenn also ein Körper auf einen andern stösst und diesem dadurch eine Bewegung ertheilt, so erhält er von ihm genau die entgegengesetzte Bewegungsänderung zurück. Gewinnt der eine an Bewegungsgrösse, so verliert der andre genau eben so viel.

Dass auch dieses Axiom wie die beiden andern sein Spiegelbild im Bereiche des Lebens hat, braucht kaum hervorgehoben zu werden.

Newton benutzte dasselbe vorzugsweise zur Erklärung von Erscheinungen eines beschränkten Theiles der Mechanik, der Lehre vom Stoss. Er ahnte aber die weitgehende Bedeutung desselben, wie aus einem sehr merkwürdigen Zusatze hervorgeht, in welchem er das allgemeinste Gesetz der Bewegungslehre andeutet, mit dessen genauem Nachweise sich die heutige Physik beschäftigt.

Newton sagt nämlich:

»Wenn die Wirkung eines Agens aus der Zusammenfassung seiner Grösse und Geschwindigkeit bestimmt wird und ebenso die Gegenwirkung des Widerstandes durch die Geschwindigkeit seiner einzelnen Theile und zugleich durch die Grösse der widerstehenden Kräfte, mögen dieselben aus der Reibung, der Cohäsion, der Masse oder der Beschleunigung entstehen, so werden bei allen mechanischen Instrumenten Wirkung und Gegenwirkung einander gleich sein«**).

*) Lex III. Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se semper esse aequales et in partes contrarias dirigi. Newton Op. l. c. p. 14.

**) Nachdem nämlich erst gesagt ist: unde solvitur in omni aptorum instrumentorum genere Problema datum pondus data vi movendi aliamve datam resistantiam vi data superanda, heisst es dann weiter: hisce volui tantum ostendere, quam late pateat quamque

Damit will er also ausdrücken, wenn wir in unsern Maschinen eine bestimmte Kraft zur Bewegung verwenden, so würde die Wirkung, welche sie schliesslich ausübt in der hervorgebrachten Bewegung genau der angewendeten Kraft gleich sein, wenn wir nur im Stande wären alle Nebenumstände, welche bei den Maschinen einen Kraftverlust verursachen, wie Reibung, Cohäsion u. s. w. in Rechnung zu ziehen. Durch diesen Zusatz drückt Newton mit derjenigen Zurückhaltung, welche zu seiner Zeit deswegen geboten war, weil man über die Natur der sogenannten Widerstände keine klare Vorstellung hatte, im Wesentlichen das aus, was man heute den Grundsatz von der Erhaltung der Kraft nennt, mit welchem wir uns noch beschäftigen werden.

Dies sind also die drei Newton'schen Axiome, auf denen zunächst das ganze Gebäude der eigentlichen Mechanik errichtet wurde. Die Bewegungen der Körper werden nach diesen Grundsätzen mit völliger Genauigkeit erklärt und es ist kein Fall bekannt, in welchem, sobald die Stärke und Richtung der wirkenden Kräfte bestimmt werden kann, der Erfolg von dem zu berechnenden abweiche.

Zugleich aber wurden diese Axiome auch die Veranlassung einen andern Begriff, den der Kraft, in einer völlig gegen die früheren Vorstellungen abweichende Weise festzustellen. Hierbei muss ich einen Augenblick verweilen.

Ueber die besondere Natur der Kräfte, welche sich unsrer Sinneswahrnehmung in verschiedener Weise durch die hervorgerufenen Bewegungen kund thun, lehren die Axiome Nichts; im Gegentheil sie lassen, da sie von der Natur der Kraft nichts enthalten, den Schluss zu, dass eine und dieselbe Art und Stärke der Bewegung durch Kräfte beliebigen Ursprunges erzeugt werden könne, wenn nur deren Grösse und Richtung dieselbe ist.

Wenn man früher in der Physik und bis vor Kurzem noch in manchen Zweigen der Naturwissenschaften die verschiedensten Kräfte nach ihren verschiedenen Erscheinungsformen als mit den Körpern in eigenthümlicher Weise verknüpfte selbstständige Wesen betrachtete, wie z. B. Schwerkraft, elastische Kraft, Wärmekraft, chemische Kraft, Lebenskraft, so kennen wir jetzt nur eine Kraft, die wir zwar auch noch nach ihrer Erscheinungsform zuweilen mit dem alten Namen nennen, uns aber dabei bewusst sind, dass wir damit nur eine gewisse Art

certa sit lex tertia motus. Nam si aestimeter agentis actio ex ejus vi et velocitate conjunctim, et similiter resistentis reactio aestimeter conjunctim ex ejus partium singularum velocitatibus et viribus resistendi ab earum attritione, cohaesione, pondere et acceleratione oriundis; erunt actio et reactio, in omni instrumentorum usu, sibi invicem semper aequales. Et quatenus actio propagatur per instrumentum et ultimo imprimatur in corpus omne resistens, ejus ultima determinatio determinationi reactionis semper erit contraria.

von Bewegung meinen, über deren eigentliche Ursache wir nichts weiter wissen, als dass sie eben »von Aussen her« wie Newton sagt, wirke.

Ueber die Einwirkung der Kraft auf die Materie stellte nun Newton eine von der damaligen Naturbetrachtung ganz abweichende Hypothese auf. Die Ansicht, dass nicht in den bewegten Körpern der Sitz ihrer eignen Bewegung zu suchen sei, sondern denselben von Aussen her die Bewegung eingepägt werde, führte ihn zu der Vorstellung einer in die Ferne wirkenden Kraft. Bis dahin war die Lehre von der Ausfüllung des ganzen Raumes als ein unumstösslicher Grundsatz angesehen worden. Die Erklärung dafür war: dass die Natur einen Abscheu vor dem leeren Raume habe.

Descartes sucht in seinen Grundzügen die Naturphilosophie ausführlich zu beweisen, wie die vollständige Ausfüllung des Raumes mit gröberem, feinerem bis zu den feinsten Stoffen durch die gegenseitige Abreibung der bewegten Körper zu Stande komme.

Und in der That, es folgt aus unsern Sinneserfahrungen, dass wir wohl begreifen können, warum eine Bewegung auf andre Körper übertragen werden kann, wenn eben Körper an Körper liegt und die Bewegung des einen den andern von seinem Platze verdrängen muss. Da trat die Newton'sche Hypothese von Kräften, die in die Ferne, durch einen leeren Raum hindurch, wirken sollten, als eine ungeheure Neuerung auf, gegen welche sich sowohl seine berühmten Zeitgenossen Huyghens, Leibnitz u. A., auflehnten, als auch noch jetzt viele Philosophen.

Man spottete über die wunderliche Idee, dass ein Ding einem andern in die Entfernung hin seinen Willen zu kommen oder zu gehen kund thun sollte, wie ein belebtes Wesen einem andern, wie das von Newton in seinem berühmten Gesetze der allgemeinen Anziehungskraft geschehen sei.

Dieses Gesetz, welches die Bewegungserscheinungen der getrennten Massen, der Himmelskörper ebensowohl wie von der Erdanziehung bewegten Körpern regelt, lautet bekanntlich:

»Die Körper ziehen einander mit einer Kraft an, welche den Massen derselben direkt, den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional ist«,

d. h. ein Körper von der doppelten Masse eines andern übt doppelte, von der dreifachen Masse eine dreifache Anziehung aus u. s. w.; ein Körper wirkt in der einfachen Entfernung 4 Mal so stark als er in der doppelten, 9 Mal so stark als er in der 3fachen Entfernung wirken würde.

Der glänzende Erfolg dieses Attraktions- oder Gravitationsgesetzes, welches ebenso genau die Bewegungen der Gestirne wie die des geworfenen Steines oder wie die Entstehung der Ebbe und Fluth zu be-

rechnen gestattet, ferner die Thatsache, dass nicht eine einzige bekannte Erscheinung diesem Gesetze widerspricht, lassen an der vollkommenen Gültigkeit desselben in seinem mathematischen Theile nicht zweifeln. D. h. die Wirkungen der Körper auf einander erfolgen wirklich so, als ob sie in die Ferne, nach Verhältniss ihrer Massen und im umgekehrten Verhältniss des Quadrantes ihrer Entfernung einander anzögen.

Mit dem Verstande begreifbar ist eine solche Wirkung nun in der That nicht; aber Newton verwarft sich auch selbst ganz entschieden dagegen, als habe er die Behauptung aufstellen wollen, ein Ding könne ein anderes mit dem es in gar keiner Beziehung steht, nach seinem Willen commandiren, als habe er, mit einem Worte gesagt, die physische Ursache für die Anziehungskraft aussprechen wollen. s'Gravesande sagt daher in seiner Vertheidigung der Newton'schen Principien ganz richtig:

»Anziehung nennen wir die wie immer beschaffene Kraft, durch welche zwei Körper gegenseitig zu einander streben — wir bezeichnen durch solches Wort die Erscheinung, nicht die Ursache«^{*)}.

Und das ist der richtige Standpunkt der Naturforschung. Wir müssen uns bescheiden die letzte Ursache der Dinge als ausserhalb unsres Erkenntnissvermögens liegend zu betrachten und zufrieden sein wenn wir allgemeine Regeln auffinden können, deren Folgerungen mit unsern Wahrnehmungen übereinstimmen.

Warum jene Regeln richtig sind, welche tiefere Ursache sie begründet, mag uns verborgen bleiben, schon darin liegt Befriedigung, die Regel selbst als Beweis der umfassenden Ordnung erkannt zu haben.

Ich habe die Einführung des neuen Kraftbegriffes durch Newton hervorheben müssen, einerseits weil derselbe mit der Abänderung, dass die Wirkungen der Kräfte nach andern Gesetzen in Beziehung auf Masse und Entfernung wie beim allgemeinen Gravitationsgesetze erfolgen kann, jetzt zur Erklärung aller Bewegungserscheinungen, ohne Ausnahme, angewendet wird. Andererseits um gleich hier nachdrücklich darauf hinzuweisen, dass auch die vollständigste und befriedigendste Erklärung der Bewegungen und der von ihnen abhängigen Sinneserscheinungen uns noch nichts über das eigentliche Wesen der Kraft lehrt.

Während nun auf der Grundlage der Newton'schen Theorie der Kräfte und Bewegungen die Mechanik mit Einschluss der theoretischen

^{*)} Attractionem vocamus vim quamcunque qua duo corpora ad se invicem tendant hoc nomine phaenomenon non causam designamus. s'Gravesande *physic. elem.* I. cp. V. 17.

Astronomie schnell zu einem folgerichtigen festen Systeme gelangte, blieben die übrigen Theile der Physik und noch mehr die andern Naturwissenschaften noch lange Zeit unberührt von den neuen Ansichten.

Zwar einen Versuch, die mechanische Bewegungslehre zu erweitern, darf ich nicht unerwähnt lassen, weil derselbe, wenn auch Anfangs wenig beachtet, später folgenschwer geworden ist.

Newton's Hypothese von den in die Ferne wirkenden Kräften, die von isolirten Körpermassen ausgehend den Weltraum durchdringen um auf andre Massen zu wirken und ihrerseits von dorthier beeinflusst zu werden, hatte offenbar, so wenig man den Mechanismus einer solchen Kraftäusserung begreifen kann, doch eine sehr starke sinnliche Stütze. Wir sehen ja die Himmelskörper als einzelne Punkte im Raume, wir erkennen deutlich ihre Einwirkung auf einander, soweit war die Fiktion nicht unnatürlich, solche ausgezeichnete Massenpunkte im Raum mit denjenigen Kräften begabt zu denken, die ihre Bewegungen vollständig erklären würden, wenn sie solche Kräfte hätten.

Diese Idee aber auf den einzelnen Körper, auf den Zusammenhalt und die Bewegung seiner kleinsten uns nicht mehr erkennbaren Theilchen auszudehnen, war eine kühne Gedankenthat.

Boscovich, ein gelehrter Jesuit, Astronom und Mathematiker in Italien, that im vorigen Jahrhundert diesen kühnen Schritt. In einer 1758 erschienenen Schrift, betitelt: »Die Theorie der Physik auf ein einiges Gesetz der Naturkräfte zurückgeführt« zeigt er, dass man in der That mit den Newton'schen Grundsätzen die Wirkungen der sog. Molekularkräfte, d. h. die innerhalb der Körper vor sich gehenden Bewegungen, z. B. elastischen Theilchenschwingungen, oder die Stärke des Zusammenhaltens oder die Aggregatform und zwar nach demselben Gesetze erklären könne, wie die grossartigen Bewegungen der Himmelskörper, wenn man nur den Gedanken fassen wolle, dass die Körper im Kleinen ähnlich gebaut seien, wie der Weltraum im Grossen.

Sie haben schon erkannt, dass Boscovich hiermit eine Theorie von der innern Beschaffenheit der Körper in die Physik einfuhrte, die in allgemeinen Grundzügen von dem alten griechischen Philosophen Democrit aufgestellt und als philosophische Theorie von Leibnitz in seiner Monadenlehre entwickelt worden war.

Kurz ausgedrückt kann man die atomistische Theorie etwa so schildern:

Die Körper bestehen aus äusserst kleinen unserer direkten Wahrnehmung entzogenen, von einander durch verhältnissmässig grosse Zwischenräume getrennten Theilchen, Atomen, Molekulan. Diese Theilchen folgen dem Gesetze des Beharrungsvermögens, und wirken auf einander nach Maassgabe ihrer verhältnissmässigen Grösse und Entfernung.

Sie sehen also, jeder Körper wird wie eine Welt im Kleinen gedacht. Dass wir die Theilchen nicht einzeln erkennen, liegt in unsern blöden Sinnesorganen; dass der Körper trotz der Isolirtheit seiner Theile nicht zerfällt, liegt an den von Atom zu Atom wirkenden Anziehungskräften.

Ein Bild solches Körpers im grossen Weltall stellt ein Sternhaufen dar, den das schwache Auge als ein gleichartiges Nebelfleckchen deutet, den aber das starke Fernrohr als ein aus einzelnen getrennten Lichtpunkten bestehendes, in sich zusammenhaltendes Weltensystem erkennt.

Boscovich gewann im Ganzen unter seinen Zeitgenossen nur wenig Anhänger, ja es wurde lange Zeit der Versuch aufgegeben, seinem Vorgange zu folgen. In der Chemie gelangten zwar atomistische Ideen zur Geltung, aber mehr um ein einfaches Symbol für die Gesetze der Verbindungen der Stoffe mit einander zu haben, als um eine Bewegungstheorie zu schaffen. Erst die neueste Zeit hat die Boscovich'schen Ansichten ausgebildet und in vielen Stücken völlig in die anerkannten Theorien aufgenommen.

Es war, als müsse die Physik sich erst von ihren theoretischen Anstrengungen erholen, ihre Arbeit bestand nach Newton vorzugsweise darin, neue Thatsachen zu sammeln, zu ermitteln, auf welchen Bedingungen die Entstehung einer einzelnen Erscheinung beruht; dann weiter — mehrere solcher Erscheinungen gruppenweise zusammenzustellen, also z. B. die auf der Zurückwerfung des Lichtes, oder auf der Brechung desselben, oder auf Reibungselektricität u. s. w. beruhenden Erscheinungen auf gemeinsame Regeln oder Gesetze zurückzuführen. Es sammelte sich ein grosser Schatz von Erfahrungen, eine Menge ganz richtiger Regeln oder Gesetze wurden entdeckt. Aber kaum auf einzelnen Gebieten, wie in der Optik ward eine einheitliche Theorie aufgefunden. Noch weniger konnte man daran denken, die Erscheinungen verschiedener Art unter dasselbe Princip zu stellen. Die Klasse der Lichterscheinungen stand unvermittelt neben der der Wärme, der elektrischen Phänomene u. s. w.

Vergegenwärtigen wir uns hiernach den Zustand der physikalischen Lehren, so war ein höchst wunderliches Gemisch von Vorstellungen vorhanden, die in einzelnen Winkeln der Naturwissenschaften noch heute herumspuken.

Erstlich gab es eine grosse Zahl von Erscheinungen die man unleugbar als Bewegungen der Materie anerkannte. Daneben aber nahm man für eine noch grössere Zahl von Erscheinungen die Existenz eigenthümlicher Stoffe an und zwar so vieler als sich etwa verschiedene Gruppen von besonderen Kraftäusserungen aufstellen lassen:

Lichtstoff, Wärmestoff, eine oder zwei elektrische Materien, zwei magnetische Flüssigkeiten. Da man nun an vielen Körpern bald Licht bald Wärme, bald elektrische Erscheinungen beobachten kann, so mussten es sich die unglücklichen Körper gefallen lassen, dass sie nach Bedarf mit allen diesen beliebigen Stoffen bepackt wurden. Das einzig Gemeinsame dieser verschiedenen Beobachtungsgebiete war der Namen: Imponderabilien, die Lehre von den unwägbaren Stoffen. Und doch waren schon eine Anzahl von Erfahrungen gemacht, welche solche Vorstellungen als ganz unhaltbar erscheinen lassen mussten. Man wusste z. B., dass eine mechanische Bewegung Wärme oder Licht oder Elektrizität produciren kann. Wollte man also die Vorstellung der Imponderabilien beibehalten, so musste man den logischen Widersinn begehen anzunehmen, dass eine Bewegung in einen Stoff verwandelt werden könne.

Zwar hatte es nicht an Physikern gefehlt, welche auf jenen logischen Widerspruch aufmerksam machten und den Satz aufstellten, dass auch Licht und Wärme auf Bewegung beruhen müsse. Da aber merkwürdiger Weise derselbe Mann, welcher die mechanische Theorie der Körperbewegungen so sicher begründet hatte, Newton, mit grossem Scharfsinn ein Hypothese von der materiellen Natur des Lichtes eronnen und die Erscheinungen des Lichtes aus den nach den Regeln der Mechanik fortgeschleuderten Lichtpartikelchen erklärt hatte, so hinderte theils seine Autorität, theils der Umstand, dass allerdings seine Hypothese fast alle damals bekannten optischen Erscheinungen erklären konnte, die Ausbildung einer reinen Bewegungstheorie.

Dennoch wurde zuerst in der Optik die Stoffansicht beseitigt. Schon Grimaldi, auch ein gelehrter Jesuit in Bologna, hatte 1665 einen auffallenden Versuch angegeben, aus dem hervorging, dass Licht mit Licht unter gewissen Bedingungen zusammentreffend, eine Verminderung der Helligkeit bewirken könne, eine Thatsache, die mit der Newton'schen Stofftheorie nicht zu vereinigen war, denn Lichtstoff auf Lichtstoff gehäuft hätte doch mehr Lichtstoff, also grössere Helligkeit geben müssen. Ist aber Licht so viel als Inbewegungbringen eines irgendwo befindlichen Körpers, so wird es denkbar, dass zwei in entgegengesetzter Richtung ankommende Anstösse sich aufheben und Ruhe, d. h. hier Dunkelheit bewirken können. Das Grimaldi'sche Experiment, dem später die Entdeckung vieler ähnlicher sogenannter Interferenzerscheinungen folgte, sowie eine Reihe anderer optischer Phänomene (Doppelbrechung, Polarisation) machten die Stofftheorie immer unmöglicher, da die Erklärung nur mit höchst gezwungenen Hülfs-hypothesen gegeben werden konnten, bis endlich zu Anfang dieses Jahrhunderts die von Hooke, Huyghens, L. Euler vorbereitete

neue Bewegungstheorie nach einer Anzahl glänzender Entdeckungen durch Thomas Young, Malus, Fresnel, Arago, Brewster u. A. zur allgemeinen Anerkennung gelangte.

Nach dieser Theorie besteht bekanntlich das Licht aus einer äusserst schnellen und vibrirenden Bewegung eines im ganzen Weltenraume und in allen Körpern vorhandenen sehr feinen Stoffes, des Lichtäthers. Man darf die Undulations- oder Vibrationstheorie des Lichtes mit vollem Rechte als ebenbürtig neben die Newton'sche Gravitationstheorie setzen. Wie nach dieser die Bewegungen der Körper mit solcher Sicherheit zu berechnen sind, dass die zukünftige Erscheinung im Voraus zu bestimmen ist, dass aus der Beobachtung von Abweichungen der regelmässigen Bewegungen das Vorhandensein von Welten, welche diese Störung bewirken, prophezeit werden konnte, so leistet in der kleinen Welt der Körper die Undulationstheorie dasselbe und lässt aus den Bedingungen des Entstehens die Beschaffenheit einer zuvor noch nie gesehenen optischen Erscheinung mit vollkommener Genauigkeit voraussagen.

Die geschlossene Phalanx der Imporderabilien war durch die Annahme der Lichttheorie durchbrochen, dennoch verging wiederum einige Zeit, bis über die mit dem Lichte so eng verbundene Wärme hinreichende Erfahrungen gesammelt waren, um auch hier mit der Stofftheorie aufzuräumen.

Von älteren Beobachtungen, welche die Beseitigung des Wärmestoffes verlangten, ist das Experiment von Rumford (1798) zu nennen, welcher zeigte, dass durch das Bohren eines Metallstückes, also durch eine mechanische Bewegung, fortwährend Wärme erzeugt werde, ohne dass an dem Materiale des bearbeiteten Metalles die geringste Aenderung der Beschaffenheit erkennbar sei. Ein Gleiches würde jede gewöhnliche Electrisirmaschine für die Elektrizität nachweisen, die Bewegung der Glasscheibe ruft eine beliebige Menge Elektrizität hervor, ohne nachweisbare Aenderung des geriebenen Körpers. Wir haben hier also zwei Fälle, in denen man die nicht zulässige Annahme machen müsste, dass Bewegung in Stoffe umgesetzt werden könne.

Solche Erfahrungen, denen sich viele andre anreihen liessen, hätten schon früher dazu führen sollen die materiellen Hypothesen zu verlassen. Die Schwierigkeit für die Wärmeerscheinungen lag aber darin, dass man zwei verschiedene Arten der Wärmeverbreitung kennt, die von Scheele (1777) entdeckte sogenannte Strahlung der Wärme und die Wärmeleitung, welche, wie überhaupt die sonstigen Wirkungen der Wärme, auf ganz verschiedenen Bedingungen wie die erstere zu beruhen schienen.

Für die strahlende Wärme hatte der geniale italienische Physiker Melloni (1831 sequ.) überzeugend den Nachweis geführt, dass dieselbe wie das Licht gespiegelt, gebrochen, gebeugt polarisirt werden könne. Knoblauch und Fizeau lieferten auch den Beweis der Interferenz der Wärme, d. h. sie zeigten, dass Wärmestrahlen unter gewissen Bedingungen mit Wärmestrahlen zusammentreffend eine Verminderung der Wärme zur Folge haben könnten. Hierdurch war man gezwungen zuzugeben, dass, wenn Licht eine Bewegungserscheinung ist, dies auch für die strahlende Wärme der Fall sein müsse. Jetzt fragte es sich nur noch, wie der Wärmezustand der Körper und die mannigfaltigen Wirkungen der Wärme sowie die Wärmeleitung mit jener Ansicht in Uebereinstimmung zu bringen sei.

Die Antwort, welche die neuen Forschungen hierauf geben, lässt sich kurz so ausdrücken:

Die strahlende Wärme unterscheidet sich vom Lichte durch Nichts als durch die langsameren Schwingungen der Aethertheilchen, welche als Licht zu empfinden unser Auge nicht mehr fähig ist. Treffen diese Aetherschwingungen der strahlenden Wärme einen Körper, so werden dessen materielle Theilchen ebenfalls in Schwingungen versetzt und von diesen noch immer ausserordentlich schnellen und von unsrer Sinneswahrnehmung als solche nicht zu erkennenden Theilchenschwingungen hängt der Wärmezustand der Körper ab. Zwar ist die Masse der Körpertheilchen sicher ausserordentlich viel grösser als die der Aethertheilchen, welche wir direkt ja nicht einmal nachweisen können. Ist aber die Geschwindigkeit der Aetherschwingungen eine sehr grosse, so wird nach dem zweiten Newton'schen Axiome, doch durch die kleine schnell bewegte Masse die grössere Masse der Körperatome, wenn auch langsamer, in Bewegung gesetzt werden.

Die Schnelligkeit der Aetherschwingungen kennen wir. In der Optik wird streng bewiesen, dass z. B. die langsamsten, den Eindruck von rothem Lichte erweckenden Schwingungen über 400 Billionen Mal in der Sekunde erfolgen, eine Zahl die selbst in unsrer wegen der bekannten Milliarden an grosse Zahlen gewöhnten Zeit schwer vorstellbar ist. Gehen nun auch die Schwingungen der strahlenden Wärme, sobald dieselben von dunklen Wärmequellen herrühren, unter jene Ziffer hinab, so bleiben sie doch in den Billionen und machen es erklärlich, dass sie die viel schwereren Körpertheilchen in immer noch sehr schnelle Schwingungen versetzen könne.

Ueber das Genauere der Art Theilchenschwingungen, welche wir Wärme nennen, bestehen noch Meinungsverschiedenheiten und ist in dieser Beziehung die mechanische Bewegungstheorie der Wärme noch lange nicht zu der Ausbildungsstufe der Optik gelangt.

Dagegen hat die neue Theorie der Wärme vor der des Lichtes den grossen Vorzug voraus, dass sie zu einer Bestimmung der Bewegungsgrösse solcher Theilenschwingungen geführt hat, welche wir mit unsern Sinnen gar nicht mehr als Bewegungen erkennen und durch diese Bestimmung ist es möglich geworden, die ganze ehemalige Lehre der Imporderabilien zu stürzen und dieselben dem Reiche der Bewegungen einzuverleiben.

Dies hängt folgendermaassen zusammen:

Wie das zweite Newton'sche Axiom uns lehrte, kann die Grösse einer Kraft bezeichnet werden, wenn wir die Grösse der bewegten Masse und ihre Geschwindigkeit kennen. Zwei Kräfte sind gleich, deren Producte aus Masse und Geschwindigkeit gleich sind.

Beim Lichte kennen wir nun zwar die Geschwindigkeit, aber weder die Masse des bewegten Aethers, noch auch eine mechanische Wirkung des Lichtes, welche der Bewegungsgrösse desselben, dem dritten Axiome zufolge, gleich sein müsste.

Für die Wärme der Körper kennen wir weder die Geschwindigkeit noch die Masse der bewegten Körpertheilchen, dagegen können wir für die Wärme, die wir ja als bewegende Kraft vorzugsweise benutzen, durch den Versuch ermitteln, welcher mechanischen Kraft eine bestimmte ganz für die Bewegung eines Körpers aufgewendete Wärme, gleich zu setzen ist, d. h. wir können die gleichwerthige mechanische Kraft für die Wärmeschwingungen finden.

Unabhängig von einander kamen 3 Forscher auf den Gedanken, eine solche Vergleichung zu bewirken: Carnot, ein französischer Ingenieur, R. Mayer, ein deutscher praktischer Arzt in Heilbronn, und Joule, ein englischer Brauer, der, wie das in England eine beneidenswerthe, oft wiederkehrende Erscheinung ist, neben seinem bürgerlichen Berufe, in grossartiger Weise sich wissenschaftlichen Arbeiten widmet.

Die mathematischen Betrachtungen, welche Carnot und Mayer zur Durchführung der Vergleichung anwendeten, muss ich hier übergehen und verweile nur kurz bei den Joule'schen Versuchen, welche am sichtbarsten die Art und Weise zeigen, wie Kraftwirkungen verschiedenen Ursprunges mit einander vergleichbar gemacht werden können.

Es ist bekannt, dass durch Reibung zweier Körper an einander Wärme erzeugt wird. Um die Reibung auszuführen, ist eine bestimmte Anstrengung erforderlich, die sich auf ein gewisses Maass zurückführen lässt, wenn wir die Arbeit der Reibung durch eine Maschine ausführen. Für die bei der Reibung hervorgerufene Wärme lässt sich ebenfalls ein bestimmtes Maass angeben, indem z. B. ein

und derselbe Körper offenbar immer dieselbe Wärme verbrauchen wird, um eine gleiche Erwärmung zu erhalten.

Auf solchen Ueberlegungen beruhen Joule's Versuche. Ein bestimmtes, von einer gemessenen Höhe herabfallendes Gewicht war die, hierdurch genau messbare, Kraft, welche die Reibung zweier beliebiger Körper an einander verursachte. Die hierdurch entstehende Wärme wurde gemessen, indem die Reibung unter Wasser vor sich ging und die Temperaturerhöhung der zuvor gewogenen Wassermenge bestimmt wurde. Es ergab sich nun das bemerkenswerthe Resultat, dass die Wärmeerzeugung immer genau dieselbe war, wenn die wirkende Kraft dieselbe blieb, d. h. der Fall desselben Gewichtes durch denselben Weg erfolgte; dass dagegen die Beschaffenheit der gegeneinander geriebenen Körper keinerlei Einfluss ausübte.

Daraus folgt, dass die mechanische Leistung des fallenden Gewichtes einer bestimmten Wärmemenge gleichwerthig war; die mechanische Bewegung der fallenden Masse war in eine andere Art der Bewegung, in die der schwingenden Atombewegung der Wärme umgewandelt worden und nach dem dritten Newton'schen Axiome musste die Grösse der Bewegung in beiden Fällen genau dieselbe sein.

Aus diesen Versuchen ist ein Zahlenwerth für die Grösse der Wärmekraft im Vergleich zur mechanischen Kraft abgeleitet worden, eine Zahl, welche mit geringen aus Beobachtungsfehlern begreiflichen Abweichungen durch ganz verschiedene Methoden ebenso gross gefunden worden ist.

Danach wissen wir jetzt, dass jede Wärmemenge, welche ein Gewichtstheil Wasser um 1° C. erwärmt, einer Kraft gleich ist, welche 425 solcher Gewichtstheile um 1 Meter heben kann. Man nennt diese Zahl (425) das mechanische Aequivalent der Wärme.

Von diesem festen Anhaltspunkte aus ist es nun möglich geworden, auch für solche Erscheinungen, von deren sie veranlassenden Bewegungen wir so gut wie Nichts wissen, doch eine Vorstellung über die zum Grunde liegende Bewegungsgrösse zu erhalten, d. h. auch für sie ein mechanisches Aequivalent aufzustellen.

Wir besitzen nämlich zahlreiche Beobachtungen darüber, dass eine Erscheinungsform in eine solche eines andern Erscheinungsgebietes umgewandelt werden kann. Bringt etwa ein bestimmter chemischer Process eine bestimmte Wärmemenge hervor, so folgern wir: die in dem chemischen Process entwickelte Kraft ist gleich der Kraft, welche in der entwickelten Wärme steckt, diese ist aus dem mechanischen Aequivalente der Wärme zu finden, also lässt sich das mechanische Aequivalent des chemischen Processes berechnen. Die Verbrennung

von 1 Klgr. Kohle liefert völlig ausgenutzt z. B. so viel Wärme, um 8000 Klgr. Wasser um 1° C. zu erwärmen. Jeder $^{\circ}$ Wärme im Wasser repräsentirt aber eine mechanische Kraft von 425 Klgrmet., folglich würde die Verbrennung von 1 Klgr. Kohle bei vollständiger Benutzung der Wärmekraft eine mechanische Wirkung von 425×8000 Klgrmet. liefern.

Ganz Aehnliches gilt für elektrische Erscheinungen; z. B. giebt ein galvanischer Strom von ganz bestimmter Stärke eine genau zu bestimmende chemische Wirkung. Diese kann wieder mit einer Wärmewirkung, diese mit dem mechanischen Aequivalente verglichen werden und so gelangen wir zu einem Werthe des galvanischen Stromes verglichen mit einer mechanischen Bewegung.

Sie bemerken, dass wir bei solchen Vergleichen einen umfassenden Gebrauch von dem dritten Newton'schen Axiome machen; wir sagen, indem wir eine Kraft, etwa Elektrizität verbrauchen und dafür eine andere, etwa einen chemischen Process wie die Zersetzung von Wasser erhalten, Wirkung ist gleich Gegenwirkung, die in einer Form verwendete Kraft ist genau gleich gross wie die in anderer Form erscheinende Kraft.

In dieser umfassenden Gestalt heisst das Axiom: das Gesetz von der Erhaltung der Kraft oder der Bewegung.

Man kann dies Gesetz so aussprechen: Keine Kraft in der Natur geht verloren, sie kann in eine andere Erscheinungsform umgewandelt werden, aber diese repräsentirt alsdann eine genau ebenso grosse Kraft. Oder man kann auch sagen, da Kraft ja nur der Ausdruck für die von uns nicht erkennbare Ursache der Bewegung ist: Keine Bewegung in der Natur geht verloren; wenn es uns im Einzelfalle so erscheint, so ist der scheinbare Bewegungsverlust nur dazu verwendet worden, eine in der Erscheinungsform verschiedene, der Grösse nach aber völlig gleiche Bewegung zu erzeugen.

Nehmen wir ein ganz einfaches Beispiel. Ein Kreisel wird auf glatter Unterlage in Drehung versetzt, welche sich lange erhält, aber allmählig langsamer werdend endlich aufhört. Hier scheint, wie in allen Fällen der Bewegung unsrer Maschinen, die dem Kreisel ertheilte Bewegung verschwunden, sie ist aber nur in andere Bewegungsformen übertragen worden. Der Kreisel brachte die umgebende Luft mit in Drehung und an seiner Spitze hat sich durch Reibung an der Unterlage Wärme erzeugt. Die Bewegungsgrösse der in Rotation versetzten Luft addirt zu dem mechanischen Aequivalente der erzeugten Wärme giebt genau dieselbe Bewegungsgrösse, welche wir dem Kreisel mittheilten.

Dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft kann also nicht einge-redet werden, dass wir mit unsern Instrumenten niemals die volle Bewegungsgrosse wiedererhalten, welche wir aufwenden, dass wir also kein perpetuum mobile herstellen können, weil stets Nebenbewegungen erzeugt werden, die für die Arbeitsleistung der Maschine verloren gehen.

In der Gesamtheit der Natur ist dies anders; jeder Bewegungs-antheil wird an einer Stelle verschwinden, an einer anderen in dem Gesamtwerthe der Bewegung zum Vorschein kommen.

Mag dies noch an einem Beispiele dargestellt werden, in welchem wir ein kleines Stückchen der unendlichen Kette mit einander abwechselnder Bewegungen verfolgen wollen.

Wir nehmen eine beliebige mechanische Arbeit, ziehen etwa unsre Uhr auf. Dies erfordert einen bestimmten Bewegungsaufwand, bei der Gewichtsuhr das Heben des Gewichtes um eine bestimmte Höhe, bei der Federuhr die Spannung der Feder, damit sie mit demselben Gegendrucke sich ebensoweit abspannen lassen kann, wie wir sie aufspannten. Wir können fragen, wo kommt die bewegende Kraft her die wir auf die Uhr übertrugen und wo bleibt sie wenn die Uhr abgelaufen ist. Sie kam zunächst offenbar aus unsrer Muskelbewegung her, genau das mechanische Aequivalent der zum Aufziehen der Uhr verwendeten Muskelbewegung haben wir der Uhr mitgegeben. Die Muskelbewegung ist aber die räumliche Bewegung eines Körpers, und zwar, wie wir wissen, eine solche, dass zu ihrer Erzeugung eine Menge innerer Bewegungen gebraucht werden; die Nerven bringen in Begleitung elektrischer Ströme den Muskeln den Befehl sich zu bewegen und mit deren Bewegung treten ebenfalls elektrische Ströme auf, und jeder elektrische Strom für diese Muskel- und Nerventhätigkeit fordert einen bestimmten Stoffverbrauch, der in seinem mechanischen Aequivalente genau dem Aequivalente der die Muskeln bewegenden Kräfte gleich sein muss. Diesen Stoffverbrauch jeder unserer Körperthätigkeit müssen wir zur Erhaltung unsres Körpers ersetzen, was wir durch die Nahrung thun, welche ein chemischer Process, ein Verbrennungsprocess ist, indem die verbrennbaren Bestandtheile der Speisen durch Vermittlung des Athmens sich mit dem Sauerstoff der Luft verbinden, wir bilden durch diesen Verbrennungsprocess Blut und die verschiedenen Stoffe des Körpers. Für den kleinen Stoffverbrauch der Muskelthätigkeit, welche wir für das Aufziehen der Uhr brauchten, haben wir genau das mechanische Aequivalent der Verbrennungswärme von Nahrungsmitteln aufgewendet.

Unsere Nahrungsmittel stammen aus dem Thier- und Pflanzenreich. Für die Thiere ist der Ernährungsvorgang derselbe wie beim Menschen, aus der Verbrennung thierischer und pflanzlicher Stoffe hervorgehend, oder nur auf Pflanzenkost gegründet. Die Pflanze unterhält daher

schliesslich den Ernährungsprocess der Thiere (wenn auch vielfach in der umgewandelten Form als Fleisch). Das Aufziehen der Uhr, können wir daher sagen, fordert sein bestimmtes Aequivalent Pflanzensubstanz. Das Wachsen der Pflanzen stammt von der Sonnenwärme. Die Schwingungen des Sonnenlichtes verwandeln sich, auf die Erde stossend, in Wärmeschwingungen des Erdbodens; dann die sich aus der Erdwärme entwickelnde Pflanze treffend verwandeln sich die Schwingungen in die chemischen Verbindungen und Zersetzungen, deren mechanisches Aequivalent denen der Lichtvibrationen gleich ist.

Also Sonnenstrahlen gaben Pflanzenwuchs, die Pflanze als Nahrung ersetzte Stoffverbrauch, der Stoffverbrauch erzeugte die Muskelbewegung, die wir als mechanische Bewegungskraft der Uhr übertrugen und die Bewegungsgrösse ist unter wechselnden Gestalten dieselbe.

Man könnte also, so paradox es klingt, ganz richtig sagen, die Uhr geht, aufgezo-gen durch eine vor unbestimmter Zeit aufgewendete bestimmte Quantität Sonnenwärme.

Ich breche hier die Geschichte der Verwandlungen ab, die sonst zu stark an die endlose Kindergeschichte »der Herr der schickt den Jochen aus« erinnern möchte. Nur in welchen Richtungen die Kette der Bewegungen, von der wir ein Paar Glieder betrachteten, nach beiden Seiten ausläuft, sei angedeutet. Ist die Bewegung, können wir uns fragen, die wir der Uhr mittheilten, verloren, wenn die Uhr abgelaufen ist? Es wird hier offenbar wie beim Kreisel sein. Die sich drehenden Räder haben Bewegung der Umgebung und haben durch Reibung Wärme erzeugt; für uns ist diese Bewegung verloren, der allgemeinen Natur ist sie in anderer Form zurückgegeben.

Auf der andern Seite der Kette stand die Sonne, der letzte physikalische Bewegungsgrund für alle irdischen Bewegungen; sie muss ihre Wärme ebenfalls durch irgend welche Veranlassung erhalten haben und unterhalten und hier führt uns die Kette in die Lehre der Kosmogonie der Entstehung der Welten.

Also nicht wie Newton es zurückhaltend aussprach, nur beim Gebrauche von Instrumenten ist Wirkung gleich Gegenwirkung, sondern in der ganzen Natur, deren Erscheinungen sämmtlich auf Bewegung beruhen, wechselt nur die Form aber bleibt die Grösse der Bewegung.

Dieser schöne Gedanke ist philosophisch nicht neu, denn es ist der Gedanke oder die moralische Ueberzeugung von der Erhaltung der Welt, wie schon Descartes im Eingange seines Werkes über die Bewegungslehre es ausspricht:

»Was die allgemeine Bewegung anbetrifft, so scheint es mir offenbar zu sein, dass deren Ursache keine andere als Gott

ist, welcher die Materie zugleich mit der Bewegung von Anfang an geschaffen hat und stets in derselben Grösse im Weltall erhält^a *).

Aber über diese moralische Ueberzeugung konnte Descartes nicht hinauskommen, den Beweis für die Richtigkeit derselben nicht antreten. Newton gab den Weg für die Beweisführung in seinen Axiomen an. Durch die Feststellung des mechanischen Aequivalentes der Wärme war der erste Schritt zur Verallgemeinerung der Bewegungslehre gethan. Helmholtz endlich gab 1847 den Anstoss, die Lehre von der Erhaltung der Kraft auf alle Gebiete der Naturlehre auszudehnen.

Seitdem ist dieses oberste Gesetz der Bewegung, wie es die naturwissenschaftliche Methode verlangt, Schritt für Schritt in den Einzelfällen der Erscheinungen aufgesucht und nachgewiesen worden und hat sich zur Erweiterung unsrer Kenntniss von dem Zusammenhange der Dinge äusserst fruchtbar erwiesen.

Freilich sind wir noch sehr weit davon entfernt, auch nur die genauere Beschaffenheit der kleinsten Bewegungen zu kennen, auf denen die unendliche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen beruht. Noch weniger hat die mechanische Bewegungslehre über die Natur der, die Bewegungen veranlassenden, Kraft uns Aufklärung verschafft, hierüber wissen wir gerade so viel als man in alten Zeiten wusste, nämlich Nichts.

Aber die Naturkunde ist jetzt nicht mehr eine aus einer Reihe unvermittelt nebeneinander stehender Erfahrungen zusammengesetzte Wissenschaft, sondern wir haben die Ueberzeugung erlangt, dass allen Erscheinungen ein Gemeinsames, eine fest bestimmbare Bewegungsgrösse zum Grunde liegt. Wir sagen dies heut nicht in der allgemeinen Behauptung wie der alte jonische Philosoph Heraklit, der schon den obersten Grundsatz für die Naturerklärung aufstellte: *πάντα ῥεῖ*, Alles fliesst, Alles ist in Bewegung, sondern mit dem Bewusstsein eine solche Behauptung nach Maass und Zahl schon in vielen Fällen beweisen und dadurch verstehen zu können, wie eine Erscheinung folgerichtig in die andere überzugehen vermag.

Wenn nun in den folgenden Vorträgen über sehr verschiedene Gegenstände aus dem Gebiete der Naturwissenschaften berichtet wird, so kommt im letzten Grunde Alles auf besondere Formen der Bewegung hinaus.

*) Et generalem motum quod attinet, manifestum mihi videtur, illam non aliam esse quam Deum ipsum, qui materiam simul cum motu et quiete in principio creavit, jamque per solum suum concursum ordinarium tantundem motus et quietis in tota, quantum tum posuit, conservat.

Selbstverständlich ist es aber nicht meine Meinung, dass es auch nur wünschenswerth sei bei der Vorführung einer an sich anziehenden Naturbetrachtung auf die elementaren Ursachen einzugehen. So wenig angemessen wäre dies, als etwa beim Beschauen eines vollendeten Gemäldes an den Zeichnenunterricht zu denken, den der Künstler genossen hat. Wir geben uns gern den Genüssen eines schönen Phänomens, einer in sich abgerundeten Betrachtungsweise hin und es wäre schade, den Reiz der Empfindung durch nüchterne Verstandeserwägungen über die entfernt liegenden letzten Gründe abzuschwächen.

Lesen wir aber die Lebensbeschreibung eines tüchtigen Menschen, so interessirte uns auch seine Jugendausbildung, aus welcher sich der schaffende Geist entwickelte und wir erkennen mit Genugthuung, wie Grund und Anlage des Menschen seine schliesslichen von uns bewunderten Leistungen vorbereitete.

So ist es mit dem Fundamente der Naturkunde, mit den festen Grundsätzen der Bewegungslehre, sie wollen sich nicht bei jeder Gelegenheit vordrängen, aber sie sollen ordnend und sichernd alle weitergehenden Forschungen begleiten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein](#)

Jahr/Year: 1875

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Karsten Gustav

Artikel/Article: [VI. Die Gesetze der Bewegung. Populärer Vortrag 47-71](#)