

rückens zu bemerken sind, die sich an den höchst gelegenen Marken des Zungenendes (XII und XI) zeigen und die anzudeuten scheinen, daß die Pasterze in der Linie der größten Strömungsgeschwindigkeit auch am Gletscherende bereits vorzurücken beginnt, während die Eisplatten des Zungenendes und die Randpartien des mittleren Keesbodens (Franz Josepfs-Höhe, Hofmannshütte, Seelandfels) noch im Abschmelzen und Zerfallen begriffen sind. Damit stehen auch die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen, soweit dieselben nicht etwa ungenau sind, in bestem Einklang, da die vergrößerte Geschwindigkeit der Gletscherbewegung im Jahre 1902/03 gegenüber jener der Jahre 1900/01 und 1901/02 gleichfalls als erste Spuren eines nunmehr beginnenden Gletschervorstößes aufgefaßt werden können.

Der physikalische Satz von der Erhaltung der Energie.

Nach einem Vortrage von Dr. Franz Sapatitsch.

Im Entwicklungsgange der menschlichen Naturerkenntnis, deren Fortschreiten immer auch eine größere Beherrschungsfähigkeit der Naturkräfte mit sich brachte, sind entsprechend dem jeweiligen Stande dieser Erkenntnis Probleme aufgetaucht, die vor allem durch die große praktische Bedeutung, die ihre Lösung gehabt hätte, eine weitaus größere Menge von berufenen und unberufenen Forschern in ihren Bann zogen und darin festhielten, als dies sonst gewöhnlich naturwissenschaftlichen Fragen gelingt. Die Probleme, die mir vorschweben, haben noch das Gemeinsame, daß ihre Lösung trotz der eifrigsten, jahrelangen Arbeit tausender von Forschern nicht gelang — weil sie nicht gelingen konnte. Wenn der Gedanke daran, daß so viele emsige Forschungsarbeit ihr Ziel nicht erreichte, uns traurig stimmen könnte, so können wir uns doch wieder durch die Ueberzeugung trösten, daß diese vielfältige emsige Arbeit doch für die Fortentwicklung der Naturerkenntnis und Naturbeherrschung nicht verloren war. Solche Probleme waren nämlich das Lebenselixir zu finden, aus minderwertigem Material Gold zu erzeugen und schließlich das perpetuum mobile zu konstruieren. Die auf die Lösung der ersten beiden Aufgaben gerichteten Bestrebungen hatten den Gewinn gebracht, daß sie einerseits die Arzneimittelfunde wesentlich förderten, daß sie andererseits überhaupt Veranlassung zu chemischen Unter-

fuchungen gaben in einer Zeit, die für alles andere eher, als für Betrachtung und Erforschung der Natur Sinn hatte. Die Bemühungen Gold zu machen, sind zwar gescheitert, dafür gelang es einem solchen Goldmacher am sächsischen Hofe, die Herstellungsweise des Porzellans zu finden, und damit auch eine Goldgrube für Sachsen aufzuschließen. Uns interessiert heute vor allem das dritte Problem: ein perpetuum mobile zu konstruieren. Unter einem perpetuum mobile versteht man eine Maschine, die, einmal in Gang gesetzt, ohne Zutun von außen, ohne fortwährenden Neuaufwand eines Betriebsmittels immer in Gang bleibt und dabei noch imstande ist, fortwährend eine ihrer Größe angemessene Arbeit zu leisten. Daß eine solche wunderbare Maschine für ihren Besitzer ein kostbares Gut wäre, leuchtet sofort ein; denn die Anschaffungskosten und Ausgaben für eine allfällige Reparatur abgerechnet — die ja auch bei allen anderen Maschinen vorhanden sind — würde dieses perpetuum mobile seinem Besitzer ohne weitere Kosten fort und fort Arbeit leisten, während die gewöhnlichen Maschinen Geldaufwand, sei es für Pachtung einer Wasserkraft, für Brennmaterial, für elektrischen Strom u. s. w. erfordern, oder mindestens von äußeren Betriebsbedingungen, über die wir keine Gewalt haben, abhängig sind. Die Windmühlen versagen bei zu schwachem Winde oder bei Sturm, die durch Wasser getriebenen Maschinen können oft gerade dann nicht voll ausgenützt werden, wenn es am nötigsten wäre, weil zu wenig Wasser im Gerinne fließt. Aus diesem praktischen Gesichtspunkte betrachtet, mußte dieses perpetuum mobile etwas sehr Verführerisches sein, so daß es gar nicht wundernehmen kann, wenn so viele auf der Suche nach ihm sich befanden und teilweise noch sich befinden. Ich erinnere mich, daß ich mir als Kind eine Maschine ausgedacht habe, die nach meiner Meinung immerfort von selbst gehen mußte. Ein oberflächliches Wasserrad wurde durch das aus einer Rinne herabfließende Wasser getrieben, das unten vom Rade wegsfließende Wasser sollte durch eine vom Rade betriebene Pumpe wieder zur oberen Rinne gebracht werden, von wo es wieder herabfallend, das Rad treiben konnte u. s. w. Natürlich ging die Sache nicht. So ging es im Laufe der letzten Jahrhunderte wohl Tausenden, die am Papier die kunstreichsten Maschinenriem zusammenge stellt hatten und triumphierend verkündeten, ihnen sei der große Wurf gelungen. Wenn es dann zur

praktischen Ausföhrung kam, klappte es nicht. Zwar hatten schon im 18. Jahrhundert mit den Ergebnissen der Mechanik vertraute Männen die Ueberzeugung, daß ein perpetuum mobile unmöglich sei. Als Beleg dafür läßt sich anführen, daß schon im Jahre 1775 die Akademie der Wissenschaften in Paris den Beschluß faßte, Arbeiten über die Erfindung des perpetuum mobile überhaupt nicht mehr anzunehmen, weil ein solches unmöglich sei. Zugleich ersehen wir aus diesem Beschlusse, wie sehr das perpetuum mobile in den Köpfen der Leute herumspuken mußte. Welches allgemeine Naturgesetz mußte den Mitgliedern der Akademie vor Augen stehen, wenn sie mit solcher Sicherheit erklären konnten, daß ein perpetuum mobile unmöglich sei? Es war das Gesetz von der Erhaltung der Energie, dessen Gültigkeit damals zwar nur für einen beschränkten Kreis von Kräften nachgewiesen war, dessen Allgemeingültigkeit aber diese Männen vermuteten.

Um die Bedeutung des Gesetzes der Erhaltung der Energie verstehen zu können, ist es notwendig, uns einige Vorbegriffe in Erinnerung zu bringen. Wenn wir irgendeine Veränderung in der Außenwelt wahrnehmen, so ist es für uns selbstverständlich, für diese Veränderung eine Ursache anzunehmen. In der Physik nennt man diese Ursachen „Kräfte“. Da die Physik bemüht ist, alle möglichen, in der Natur auftretenden Veränderungen auf Lagenänderungen und Bewegungsänderungen der verschiedenen Körper und ihrer Teile zurückzuführen, so können wir Kraft auch als Ursache für Lagen- und Bewegungsänderungen definieren.

Je nach der besonderen Wirkungsart haben die Kräfte noch besondere Namen. Die „Schwerkraft“ sucht alle Körper in der Richtung gegen den Erdmittelpunkt zu bewegen; wenn wir durch die Kraft unseres Armes einen Körper hindern, dem Zuge nach abwärts zu folgen, so spüren wir die Einwirkung der Schwerkraft an unserer eigenen Gegenanstrengung. Die „elastischen Kräfte“ oder „die Elastizität“ setzen der Gestalts- oder Volumsänderung eines elastischen Körpers einen Widerstand entgegen und bewirken, wenn die gestaltändernde Kraft nachläßt, das Zurückkehren der verschobenen Teile in die ursprüngliche Lage. Die „Spannkraft“ des Dampfes bewegt den Kolben der Dampfmaschine, die „Spannkraft“ der bei der Entzündung des Dynamits sich bildenden Gase sprengt die Felsen, die „Wider-

standskraft der Reibung“ verursacht die Geschwindigkeitsabnahme bewegter Körper. Aus dem gleichen Grunde müssen wir auch den „Widerstand des Mittels“ (Luft, Wasser) zu den Kräften rechnen, denn durch ihn wird die Geschwindigkeit bewegter Körper verringert. Wir sprechen von „chemischen Kräften“, welche gewisse Stoffe zu einander ziehen und fest miteinander verketteten. Die „magnetische Kraft“ bewegt das Eisenstück zum Magneten hin und hält es dort fest. „Elektrische Kräfte“ bewirken die Anziehung und Abstoßung von Körpern und rufen jenen eigentümlichen Zustand hervor, den wir elektrischen Strom nennen.

Da wir die Kräfte eigentlich nur durch ihre Wirkungen kennen und wir in den meisten Fällen von der Beschaffenheit der Ursachen, die wir Kräfte nennen, keine anschauliche Vorstellung haben, so ist es klar, daß wir die Stärke dieser Kräfte nach ihren Wirkungen beurteilen müssen. Setzt z. B. eine Kraft einen Körper in Bewegung, so daß letzterer bei einer Einwirkungsdauer von einer Sekunde eine Geschwindigkeit von einem Meter per Sekunde erhält, und würde derselbe Körper unter sonst gleichen Umständen durch die einsekundlange Einwirkung einer anderen Kraft eine Geschwindigkeit von zehn Meter per Sekunde bekommen, so wird man die Stärke der zweiten Kraft für zehnmal so groß erklären, als die der ersten. Nach dieser Beurteilungsart sind dann zwei Kräfte als gleich zu erklären, wenn beide unter gleichen sonstigen Umständen gleich lange, aber zu verschiedenen Zeiten auf einen Körper einwirkend, diesem in beiden Fällen die gleiche Geschwindigkeit erteilen.

Doch können wir auch noch in anderer Weise untersuchen, ob zwei auf einen Körper wirkende Kräfte gleich sind. Wir werden nämlich zwei Kräfte auch dann gleich stark nennen dürfen, wenn sie, auf einen Körper zu gleicher Zeit, aber in entgegengesetztem Sinne einwirkend, keine Bewegungsänderung hervorrufen oder — wie man auch sagt — sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. Auf Grund dieser Ueberlegung können wir leicht die Stärke zweier Kräfte, seien sie gleicher oder verschiedener Art, vergleichen. Es handelt sich da nur noch die Einheit der Kraft zu wählen, gerade so wie wir für Längenmessungen eine Längeneinheit festsetzen müssen. Als Vergleichskraft nimmt man am vorteilhaftesten jene Kraft, die einem überall und immer zur Verfügung steht, das ist die Schwerkraft, das

heißt, die Kraft, durch die jeder Körper gegen die Erde hin angezogen wird. Diese Kraft spürt man als Zug oder Druck nach abwärts und nennt sie auch das Gewicht. Als Maßeinheit hat man die Stärke jener Kraft festgesetzt, mit der ein Liter Wasser von der Erde angezogen wird; man nennt diese Maßeinheit ein Kilogramm-Gewicht. Mit Hilfe eines Gewichtsfasses sind wir imstande, die Stärke beliebig gearteter Kräfte zu messen. Um zum Beispiele zu bestimmen, wie groß die Anziehungskraft eines Magneten auf ein etwa einen Zentimeter entferntes Eisenstück ist, hänge ich das Eisenstück an einem Faden in der angegebenen Entfernung dem Magnet gegenüber auf. Würde ich das Eisenstück nicht mit der Hand festhalten, so würde es gegen den Magnet hingezogen werden; vorläufig wird die Wirkung der magnetischen Kraft aufgehoben durch die Gegenwirkung meiner Hand. Zum Zwecke der Messung ersetze ich die Kraft meiner Hand durch den Zug, welchem ein Gewicht durch Vermittlung einer über eine Rolle geleiteten, an der Rückseite des Eisenstückes befestigten Schnur ausübt. Habe ich das Gewicht so gewählt, daß der magnetischen Anziehung von dem Gewichtszuge das Gleichgewicht gehalten wird, so weiß ich jetzt, wie viele Maßeinheiten die magnetische Anziehung beträgt.

In dem oben geschilderten Messungsversuche wirkt auf das Eisenstück unzweifelhaft die magnetische Kraft ein; es zeigt sich aber keine Wirkung der anziehenden magnetischen Kraft, nämlich keine Bewegung (d. i. Lagenänderung). Man sagt, die Kraft arbeitet nicht, weil sie keine Veränderung verursacht. Nehme ich jedoch das Gegengewicht weg oder verringere ich es, so daß die magnetische Anziehung den Gegenzug des angehängten Gewichtes überwiegt, so folgt das Eisenstück der magnetischen Kraft und bewegt sich gegen den Magneten hin. Jetzt sagt man: Die magnetische Kraft leistet eine Arbeit, weil das Eisenstück unter der Einwirkung dieser Kraft einen Weg zurücklegt (eine Veränderung erleidet). Dieser physikalische Begriff der „Arbeit einer Kraft“ ist offenbar von dem gewöhnlichen Gebrauche des Wortes „Arbeit“ bei Tätigkeiten der Menschen entnommen. Um einen Wagen fortzuziehen, muß ich z. B. eine Kraft anwenden, die gleich dem Zuge von 30 Kilogramm ist. Bewege ich den Wagen bei gleichbleibender Kraftanstrengung zehn Meter weit fort, oder genäher, übe ich längs eines Weges von zehn Metern diese

Kraft von 30 Kilogrammen auf den Wagen aus, so leiste ich eine Arbeit, deren Betrag in der Physik durch das Produkt aus Kraft mal Weg berechnet wird. Die geleistete Arbeit wäre 30×10 Meterkilogramme (kgm). Das Arbeitsmaß ein Kilogramm-meter ist ein aus Kraftmaß und Längenmaß zusammengesetztes. Daß diese Art der Arbeitsberechnung nicht willkürlich, sondern in der Natur der Sache begründet ist, geht aus folgender Ueberlegung hervor. Würde ich bei gleicher Kräfteanstrengung (30 Kilogramm) den Wagen statt zehn Meter 20 Meter weit bewegen, so hätte ich offenbar die doppelte Arbeit geleistet; also wird die Arbeit zwei-, drei-, viermal so groß, wenn bei gleicher Kräfteanstrengung der Weg zwei-, drei-, viermal so groß ist. Man würde aber im Vergleich zur ersten Arbeit das Doppelte leisten, wenn man einen Wagen, der eine Kraft von 60 Kilogramm beansprucht, zehn Meter weit verschieben würde. Die Arbeit wächst daher auch mit der Größe der Kraft. Hebe ich einen Liter Wasser (welches ein Kilogramm wiegt) einen Meter in die Höhe, so muß ich gegen die Schwerkraft die Muskelkraft des Armes mindestens in der Stärke 1 Kilogramm wirken lassen; ich leiste dabei die Arbeit von 1 Kilogramm-meter. Bekanntlich zieht die Erde alle Körper so an, daß sie beim freien Falle nach einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 9.8 Meter erhalten; würde die Anziehung der Erde schwächer sein, etwa nur so, daß die Fallgeschwindigkeit nach einer Sekunde nur 1 Meter wäre, so hätte man nur eine entsprechend kleinere Kraft anzuwenden, um einen Liter Wasser emporzuheben. Es wäre dann auch die Arbeit beim Heben eines Liter Wassers um einen Meter entsprechend kleiner. Diese Arbeit wäre $\frac{1}{9.8}$ eines Kilogramm-meters oder beiläufig $\frac{1}{10}$ Kilogramm-meter. Man nennt diese Arbeit 1 Soule. Wie man sieht, haben wir zur Messung derselben Größenart zwei Maßeinheiten: Kilogramm-meter und Soule.

Wenn wir irgendwo eine Arbeitsleistung beobachten, so suchen wir nach Körpern, denen wir diese Arbeitsleistung zuschreiben. Wir wollen eben etwas sinnlich Wahrnehmbares finden, an dessen Vorhandensein die beobachtete Veränderung mit Notwendigkeit geknüpft ist, da unser nach Anschaulichkeit verlangender Geist mit dem abstrakten Kraftbegriff allein nicht zufrieden ist. Die Physik sucht alle Naturvorgänge womöglich durch Uebertragung von Bewegungen und durch vermittelte Druck- und Spannungswirkungen zu erklären. Das

Pferd, das den Wagen zieht, leistet Arbeit; indem ich eine Last emporhebe, leiste ich Arbeit; wenn die gehobene Last wieder heruntersinkt, leistet die Schwerkraft Arbeit. Wo ist nun in dem letzten Beispiel der Körper, dem ich diese Arbeitsleistung zuschreibe? Ist's die Erde, ist's die Last? Wie sehr sinnreiche Versuche gezeigt haben, ist die sogenannte Gravitation oder Schwerkraftsanziehung nicht eine Kraft, welche etwa nur von unserer Erdkugel ausgeht, sondern es besteht eine gegenseitige Schwerkraftsanziehung zwischen allen Körpern, daher müssen wir schließen, daß die letzterwähnte Arbeit der Erde und der Last zugleich zukommen. Das bewegte Wasser, die bewegte Luft übertragen wenigstens einen Teil ihrer Bewegung auf andere Körper und leisten dadurch Arbeit.

Jedem Körper, der vermöge besonderer Umstände Arbeit leisten kann, schreiben wir Arbeitsfähigkeit zu. Für Arbeitsfähigkeit ist in der Physik das Wort „Energie“ gebräuchlich. Die Arbeitsfähigkeit eines Körpers kann durch Aenderung der „besonderen Umstände“ größer oder kleiner werden. Es ist daher wünschenswert, die Arbeitsfähigkeit oder Energie eines Körpers messen oder doch wenigstens bestimmen zu können, um welchen Betrag die Energie eines Körpers bei Aenderung der „besonderen Umstände“ sich ändert. Offenbar werde ich die Energie eines Körpers durch dasselbe Maß messen, wie die Arbeit, da ja Energie eines Körpers die Arbeitsmenge ist, die der Körper noch leisten kann. Energiemaß ist daher das Kilogrammeter oder $\frac{1}{9.8}$ Kilogrammeter = 1 Joule.

Es soll nun an Beispielen gezeigt werden, was diese besonderen Umstände sind, infolge deren ein Körper Energie besitzt. Der Verschiedenartigkeit dieser Umstände werden auch verschiedene Arten von Energie entsprechen.

Soll etwa ein Güterwagen auf dem Geleise um eine Strecke verschoben werden, so wird man eine Zugkraft so lange auf ihn wirken lassen, bis er an der gewünschten Stelle sich befindet, dabei hat die Zugkraft eine in Kilogramm Metern angebbare Arbeit geleistet. Das gleiche Ergebnis erzielt man aber auch dadurch, daß man einen anderen frei rollenden Wagen mit gewisser Wucht auf den ersteren stoßen läßt. Der stoßende Wagen hat somit eine Arbeit geleistet. Der besondere Umstand, durch den der stoßende Wagen diese Arbeit leisten konnte, war seine Bewegung. Seine Energie beruhte in seiner Bewegung

gegenüber dem ersten Wagen. Man sagt daher, der stoßende Wagen besaß *Bewegungsenergie*. Man findet durch Versuche leicht, daß die Arbeitsfähigkeit größer ist, wenn die Geschwindigkeit größer und zwar z. B. viermal so groß wird, wenn die Geschwindigkeit den doppelten Betrag erreicht. Die Arbeitsfähigkeit eines bewegten Körpers wird aber auch größer, wenn seine Masse zunimmt. So wäre beispielsweise die Bewegungsenergie eines 3000 Kilogramm schweren Wagens, der eine Geschwindigkeit von 4 Metersekunden besitzt = 24.000 Joule oder beiläufig 2400 Kilogramm²meter; er würde imstande sein, durch seinen Zug 1 q auf eine Höhe von 24 Meter emporzuheben. Bedeutende Arbeiten können durch die Energie bewegten Körper geleistet werden. Der herablaufende schwere Kammbar treibt den Pfahl in das feste Erdreich hinein, während, er auf dem Pfahle liegend, trotz seines großen Gewichtes ihn nicht von der Stelle rücken würde. Die Bewegungsenergie fließenden Wassers vermag die schwersten Mühlräder und durch diese alle die angehängten Maschinen zu treiben, sie leistet somit sehr bedeutende Arbeit. Hat man große Wassermassen zur Verfügung, so genügt schon eine kleine Geschwindigkeit, um große Arbeitsleistungen vollführen zu können, ist die verfügbare Wassermenge klein, so muß man, um eine gleich große Energie zu erhalten, dem Wasser eine größere Geschwindigkeit erteilen, man muß dem Gerinne ein größeres Gefälle geben. Welche ungeheure Energiemenge in Körpern von großer Masse und außerdem von großer Geschwindigkeit enthalten ist, sehen wir an dem furchtbaren Zerstörungswerke, das in voller Fahrt entgleisende Eisenbahnzüge, Lawinen, Wildbäche, Orkane u. s. w. vollbringen! In allen Fällen, wo ein Körper durch seine Bewegungsenergie eine Arbeit leistet, finden wir, daß dadurch seine Geschwindigkeit verringert oder ganz vernichtet wird, wodurch wieder seine Arbeitsfähigkeit kleiner wird. Genaue Messungen haben gezeigt, daß seine Bewegungsenergie gerade um den Betrag der geleisteten Arbeit abgenommen hat. Der stoßende Waggon verliert seine Geschwindigkeit ganz oder teilweise. Die Gewalt der Lawine bricht sich, je mehr Widerstand sie auf ihrem Wege zu überwinden hatte.

Die besprochene Energie ist Bewegungsenergie der ganzen Körper. Wir werden noch andere Arten von Bewegungsenergie kennen lernen: die Wärme, die ein Körper besitzt, ist nichts

anderes als Bewegungsenergie seiner kleinsten Teile, seiner Moleküle. Während man noch im Anfang des 19. Jahrhunderts glaubte, Wärme sei ein äußerst feiner Stoff, der den erwärmten Körper durchdringe und dadurch seine höhere Temperatur hervorrufe, hat sich im Laufe desselben Jahrhunderts angeregt durch Erfahrungen, welche sich mit der alten Annahme nicht mehr in Einklang bringen ließen, die Ueberzeugung Bahn gebrochen, daß Wärme kein Stoff sein könne, denn sonst wäre es unmöglich, aus Körpern von begrenzter Größe durch Reiben beliebige Wärmemengen herauszubringen, es wäre ganz unbegreiflich, daß zwei Eisstücke in luftleerem Raume, geschützt vor jeder Wärmestrahlung, durch Reiben zum Schmelzen gebracht werden können und so ohne Zufuhr von außen nun eine bedeutend größere Wärmemenge enthalten als früher. Man stellt sich jetzt vor, daß die Moleküle der Körper fortwährend in feiner, kreisender, schwingender, bei Gasen in fortschreitender, äußerst rascher Bewegung seien. Je heftiger diese Molekularbewegung ist, desto größer ist der Wärmehalt des Körpers, desto höher ist auch in allen Fällen, wo keine Änderung des Aggregatzustandes eintritt, die Temperatur. Daß der Wärmehalt eines Körpers ein Inhalt an Bewegungsenergie ist, erkennt man am leichtesten an den Gasen und Dämpfen. Wir wissen, je mehr Wärme wir einem Gase oder dem Wasserdampfe zuführen, desto höher steigt ihre Spannkraft und damit ihr Vermögen, Arbeit zu leisten. Woher rührt aber der Druck, den die Gase auf die Gefäßwände ausüben? Daher, daß die Gas-moleküle bei ihren äußerst raschen Bewegungen auf die Gefäßwände stoßen. Da ihrer in jeder Sekunde Millionen und Millionen mit außerordentlicher Geschwindigkeit auf jedes Wandstück treffen, so ist das Ergebnis ein sehr merklicher Druck auf die Gefäßwand, der das Gefäß selbst sprengen kann, wenn durch Zufuhr von Wärme (wie man, noch immer von der alten Vorstellung des Wärmestoffes befangen, sagt), die Bewegungsenergie der Moleküle vergrößert wird. Ist nun der Wärmehalt eines Körpers eigentlich ein Inhalt von Energie, so muß es möglich sein, die Zufuhr einer bestimmten Wärmemenge als Vermehrung der Energie durch Kilogrammeter auszudrücken. Tatsächlich hat zuerst der englische Physiker Joule durch vielfältige, genaue Versuche gefunden, daß die Zufuhr einer Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasser um 1 Grad C erwärmen

würde, gleichbedeutend ist mit einer Vermehrung der Bewegungsenergie der Moleküle um etwa 425 Kilogrammster.

Denken wir uns ein Gas von hoher Temperatur in einem zylindrischen Gefäße, dessen oberer Boden luftdicht verschiebbar sei. Die Gasmoleküle werden durch das Anprallen an den Deckel diesen ebenso in Bewegung setzen, wie der bewegte Waggon durch das Anprallen den ruhenden. Ebenso werden auch die Dampfmoleküle dadurch etwas an ihrer Geschwindigkeit einbüßen, ihre Bewegungsenergie wird kleiner, das heißt, das Gas hat durch die Arbeitsleistung bei der Ausdehnung einen Teil seiner Wärme verloren, es hat sich abgekühlt. Umgekehrt erhalten die anprallenden Moleküle einen stärkeren Rückstoß, wenn man von außen her den Deckel nach innen preßt, das Gas zusammendrückt; die Geschwindigkeit der rückprallenden Moleküle ist größer als sie beim Aufpralle war, die Energie der Gasmoleküle wächst, das Gas erwärmt sich durch Zusammenpressen.

Wenn ein Körper Wärme aufnimmt, so heißt das, die Bewegungsenergie der Moleküle wird größer; können wir auch die Moleküle nicht einzeln sehen und daher auch nicht sehen, ob sie schneller oder langsamer schwingen, so haben wir doch einen Sinn, der uns das raschere Schwingen der Moleküle verrät; es sind die Nerven für Temperaturempfindungen.

Ein Beispiel soll uns zeigen, daß nicht bloß die Gase, sondern auch feste Körper durch Wärmezufuhr ein Mehr an Arbeitsfähigkeit (Energie) erhalten. Will man die auseinander klaffenden Teile einer geborstenen Mauer wieder zusammenbringen, so zieht man durch beide Teile eine erhitzte Eisenstange und verkeilt ihre Enden. Durch das Abkühlen zieht sich die Stange wieder auf ihre ursprüngliche Länge zusammen und bringt dadurch auch die geborstenen Mauerteile wieder zusammen, da die Verkeilung Mauer und Stangenende fest verbindet. Die durch das Abkühlen sich verkürzende Stange hat dabei eine ganz beträchtliche Arbeit geleistet. Diese Arbeit zu leisten, war sie nur durch die frühere Erwärmung imstande, denn wäre sie nicht erwärmt gewesen, so hätte sie sich später nicht zusammenziehen und daher auch nicht diese Arbeit leisten können. Im erwärmten Zustande besaß die Eisenstange eine bedeutend größere Arbeitsfähigkeit (Energie) als nach der Abkühlung, mindestens um so viel mehr, als sie bei der Zusammenziehung Arbeit geleistet hat.

Dieses eben besprochene Beispiel von Energievermehrung durch Wärmezufuhr leitet uns zu einer anderen Energieform, als es die Bewegungsenergie der ganzen Körper oder ihrer Moleküle ist. Denn betrachten wir den letzterwähnten Vorgang genauer, so sehen wir, die der Eisenstange zugeführte Wärmemenge hat hauptsächlich 2 Wirkungen gehabt. Erstens wurde die Temperatur (d. i. die Bewegungsenergie der Moleküle) erhöht, damit in Verbindung wurden infolge der Wärmezufuhr die Moleküle in größere mittlere Entfernungen von einander gebracht, ihre gegenseitige Mittellage wurde geändert. Diese neue Lage behielten sie ohne Zwang nur so lange, als die Temperatur sich auf der entsprechenden Höhe erhält. Sinkt die Temperatur durch Wärmeabgabe an die Umgebung, dann wird diese neue Lage zur Zwangslage; die zwischen den Molekülen wirkenden Anziehungskräfte suchen die mittlere Entfernung zwischen den Molekülen wieder zu verkleinern; es entsteht ein Spannungszustand, hervorgerufen durch das Bestreben der Moleküle, immer den der jeweiligen niedrigeren Temperatur entsprechenden kleineren Abstand einzunehmen. Die durch die Erwärmung der Eisenstange zugeführte Energie trat also in zwei Formen auf: 1. in Bewegungsenergie der Moleküle (Temperaturerhöhung), 2. in einer Lagenänderung der Moleküle, durch deren Rückgängigmachung eine sehr bedeutende Arbeitsleistung (Zusammenziehung der geborstenen Mauern) gewonnen werden kann. Diese Energieform nennt man „Energie der Lage“ oder auch „potentielle Energie“. Der Ausdruck „potentiell“ deutet an, daß es, damit diese Energie in Arbeit umgesetzt werden kann, noch eines äußeren Anlasses, einer Art Auslösung bedarf. Die Energie ist zwar aufgespeichert, sie kann aber nur „gegebenen Falles“ bei gegebener Auslösung wirken. In unserem Falle besteht diese „Auslösung“ in der niedrigeren Temperatur der Umgebung.

Energie der Lage besitzt z. B. jeder über die Erdoberfläche gehobene Körper, wie der aufgezogene Rannbär, der auf steiler Bergeslehne lagernde Schnee, das in einem hoch gelegenen Behälter befindliche Wasser. Wird der Tragehaken des Rannbären ausgeklinkt, so beginnt der Rannbär zu sinken und kann nun während des Sinkens oder durch das Aufsprallen am Boden Arbeit leisten, wodurch seine potentielle Energie wieder verringert wird. Ein wie geringer Anlaß, d. h. eine wie kleine Kraft, oft die Auslösung einer

ungeheureren Lagenenergie bewirkt, erschen wir aus der Tatsache, daß Lawinen oft durch ganz geringfügige Erschütterungen der Schneewände, etwa durch einen darauf fallenden Stein oder nur durch einen etwas stärkeren Knall in Bewegung gesetzt werden und bei ihrer verheerenden Talfahrt eine ungeheuer, leider aber nicht nutzbringende Arbeit leisten. Das Aufziehen der Schleuse löst die potentielle Energie des hochlagernden Wassers; beim Heruntersinken leistet es durch Treiben von Mühlrädern oder Turbinen Arbeit, es kommt dadurch in kleinere Lotrechte Entfernung vom Meerespiegel, seine Lagenenergie ist kleiner geworden. Diese drei legeterwähnten Beispiele haben das Gemeinsame, daß die Körper ihre potentielle Energie der über der Umgebung erhöhten Lage verdanken.

Energie der Lage hat aber auch die gespannte Feder eines Federwesohres, einer Armbrust; denn durch einen leichten Druck wird der Sperrhafen zurückgedrückt, die Feder schnellst aus und vermag so beim Fortschleudern eines Körpers eine bedeutende Arbeit zu leisten, worauf sie entspannt ist und ihre frühere Energie verloren hat. Potentielle Energie ist ferner in jedem Sprengmittel angesammelt, ein verhältnismäßig geringer Anstoß reicht hin, um diese Energiemenge auszulösen. Jedes geöffnete galvanische Element, jeder geladene Akkumulator besitzt einen Vorrat an Arbeitsfähigkeit, die durch das Schließen des Stromkreises ausgenutzt werden kann.

Wohl schon seit Jahrtausenden, seit der erfinderische Menschengeist sich damit befaßte, die Energievorräte, welche die Natur ihm bot, für seine Bedürfnisse auszunützen — z. B. das strömende Wasser, die bewegte Luft — galt es als eine dankenswerte Aufgabe, deren Lösung aber nur recht unvollkommen gelang, die oft unbenutzt vorhandene, von der Natur dargebotene Energie irgendwie aufzuspeichern, um sie dann im Bedarfsfalle zur Verfügung zu haben. Ich will, nur der Klarheit halber, erwähnen, in welcher Weise etwa man früher solche Aufspeicherungen bewerkstelligte. Die Arbeitskraft des Windes steht uns kostenlos zur Verfügung, doch oft gerade dann, nicht, wenn wir sie nötig hätten. Ruhendes Wasser in tiefer Lage hat, abgesehen bei Verwendung in Dampfmaschinen, keinen ausnützbaren Energievorrat, wohl aber, wenn es sich in höherer Lage befindet, da es dann beim Herabfließen Arbeit leisten kann. Verwendet man die Energie des Windes, wenn er gerade vorhanden ist,

dazu, durch eine Windmühle eine Pumpe in Tätigkeit zu setzen, die das tiefliegende Wasser in ein höheres Becken pumpt, so speichern wir dadurch mittelbar die Bewegungsenergie des Windes in Form von Lageenergie des Wassers an. Diese letztere können wir dann, wenn wir sie nötig haben, benutzen. Man sieht jedoch leicht ein, daß diese Art der Energieaufspeicherung ziemlich unständlich und daher nicht besonders vorteilhaft ist.

Erst durch die Fortschritte der Elektrotechnik ist die Aufgabe der Energieaufspeicherung in ziemlich vollkommener Weise lösbar geworden. Man läßt durch die verfügbare Energiequelle eine Gleichstrom-Dynamomaschine treiben, mit dem gewonnenen elektrischen Strome lädt man eine Akkumulatorenbatterie. Die geladenen Akkumulatoren enthalten nun einen Vorrat potentieller Energie, die jederzeit zu den verschiedenartigsten Arbeitsleistungen: Treiben eines Motors, Beleuchtung, Heizung u. s. w. verwendet werden kann. Auf diese Weise konnten sich die unter Nansen's Führung stehenden Polarforscher auf billige Weise mit prächtigem elektrischen Lichte für die ganze arktische Winternacht versehen. Ein auf Deck angebrachtes Windrad gestattete, den Wind als billigen Lichtlieferanten heranzuziehen.

Mögen wir was immer für einen Vorgang in der Körperwelt beobachten, so finden wir allüberall, daß dabei die dem Körper inwohnende Energie in Energie anderer Art verwandelt wird, oder daß ein Teil seiner Energie einem anderen Körper mitgeteilt wird, oder daß beides zugleich geschieht. Bei allen diesen Umwandlungen und Uebertragungen wurde ausnahmslos durch tausendfältige Erfahrungen und durch genaue Versuche festgestellt, daß das Resultat dieser Umwandlung nie eine Vermehrung der anfänglich vorhandenen Energie ist; dagegen läßt sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit behaupten, daß bei diesen Umwandlungen wohl eine andere Verteilung der Energie auf die in Betracht kommenden Körper stattfinden könne, daß aber dabei die Gesamtmenge der in den beteiligten Körpern anfänglich vorhandenen Energie unverändert bleibe. Dieser aus der Erfahrung abgeleitete Satz heißt „Satz von der Erhaltung der Energie“. Einige Beispiele sollen ihn anschaulicher machen. Die Arbeiter, die den schweren Kammklotz in die Höhe winden, leisten dabei Arbeit, sie geben dabei einen Teil ihrer Arbeitsfähigkeit-Energie

aus (sie ermüden), dadurch ist jedoch die potentielle Energie des Rammklozes vergrößert worden, denn er hat eine entsprechend höhere Lage über dem Erdboden erhalten als früher. Dieser Vorgang ist im großen und ganzen: Uebertragung der Energie von den Arbeitern auf den Rammkloz. Der oben angekommene Rammkloz wird ausgeklinkt und fällt mit zunehmender Schnelligkeit herunter. Infolge der Auslösung hat sich seine potentielle Energie in Bewegungsenergie verwandelt. Er stößt auf den einzurammenden Balken und treibt ihn ins Erdreich; er teilt so einen Teil seiner Bewegungsenergie dem Balken mit, ein anderer Teil seiner früheren Bewegungsenergie verwandelt sich in Wärme (Bewegungsenergie der Moleküle), beim Napralle erwärmt sich sowohl Balken wie Rammbär, noch ein anderer Teil der Bewegungsenergie des Rammbären wurde zur Erzeugung der Schallschwingungen verwendet. Schließlich hat der Rammkloz seine ganz verfügbare Energie an seine Umgebung abgegeben; soll er neuerdings zur Arbeitsleistung fähig sein, so muß ihm wieder Energie durch Hochziehen mitgeteilt werden.

Ein Meterzentner Kohle enthält in Verbindung mit dem erforderlichen Sauerstoffe der Luft eine Energiemenge, die unter dem Namen Verbrennungswärme bekannt und durch Versuche zahlenmäßig — ausgedrückt in Kalorien — bestimmt ist. Diese potentielle Energie verwandelt sich durch Anziünden der Kohle (Auslösung) in Wärme (Bewegungsenergie der Moleküle). Diese von der brennenden Kohle gelieferte Wärme kann bei einer Dampfmaschine auf das im Kessel befindliche Wasser übertragen werden; letzteres erhitzt sich und wird teilweise in Dampf verwandelt, der durch seine Spannkraft Arbeitsfähigkeit hat. Die in dem Dampfe vorhandene Energie ist ein Teil der beim Verbrennen der Kohle freigewordenen. Die im Dampfe enthaltene Energie wird dann durch die Dampfmaschine zum Teil in Bewegungsenergie des Kolbens verwandelt und kann so zur Leistung verschiedener Arbeiten verwendet werden. Dieses Beispiel zeigt uns, wie die in „Kohle — Sauerstoff“ enthaltene potentielle Energie nach mehreren Zwischenstufen zum Teile wenigstens in ausnützbarer Bewegungsenergie verwandelt wird, während allerdings dabei der größere Teil der ursprünglich vorhandenen Energie ungenützt verloren geht. (Die im ausströmenden Dampf und heißen Wasser, in den ausströmenden Verbrennungsgasen noch enthaltene

Wärme u. s. w.) Theoretisch genommen, ist daher die Dampfmaschine noch sehr weit von dem Ideale einer Maschine entfernt, weil die ausnützbare Energie nur ein kleiner Teil der zu ihrem Betriebe erforderlichen ist. In der Praxis stellt sich die Sache aber günstiger dar, weil Kohle eine billige Energiequelle ist, so daß ihre Verwendung sich trotzdem noch lohnt.

Strömt aus einem höheren gelegenen Behälter (Oberwasserkanal) etwa durch ein geneigtes zylindrisches Rohr eine Wassersäule nach abwärts in ein tiefer gelegenes Becken (Unterswasserkanal), so leistet dabei die Schwerkraft Arbeit, denn durch sie wird die Wassersäule im Rohre nach abwärts bewegt. Hat das Rohr überall gleichen Querschnitt, so ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit an allen Stellen des Rohres dieselbe, so lange die Wassersäule im Rohre zusammenhängend ist. Die Größe dieser mittleren Geschwindigkeit wird einerseits von dem Höhenunterschiede des Ober- und Unterswassers (Gefälle), andererseits von dem Reibungswiderstande an der Röhrenwand und im Inneren der Flüssigkeit, sowie von dem Widerstande, den das Unterwasser dem nachdrängenden Wasserzylinder entgegensetzt, abhängen. Die Geschwindigkeit, mit der der Wasserzylinder ins Unterwasser strömt, ist bedeutend kleiner als die Geschwindigkeit, mit der das Wasser im freien Falle beim gleichen Höhenunterschiede unten ankommen würde, dafür ist aber die Geschwindigkeit in der ganzen Röhre die gleiche, also im oberen Teile größer als sie beim freien Falle wäre. Ein Teil der von der Schwerkraft geleisteten Arbeit wird zur Ueberwindung der oben erwähnten Widerstände aufgebracht, der andere Teil ist in Bewegungsenergie der Wassersäule verwandelt. Setzt man nun in dieses Rohr eine Turbine ein, so wird diese von dem Wasserströme in Drehung versetzt und vermag durch Treiben anderer Maschinen Arbeit zu leisten. Bekomme ich nun die Arbeit dieser Turbine umsonst? Das heißt, bleibt trotz der getriebenen Turbine die Geschwindigkeit des Wasserzylinders die gleiche? Wäre letzteres der Fall, so könnte man ja in dasselbe Rohr noch eine Turbine einsetzen, ohne daß sich etwas ändern würde u. s. w. Schließlich könnte man dann das schönste perpetuum mobile bauen, indem man durch einen Teil der Turbinen Pumpen treiben ließe, die das herabgeströmte Wasser vom Unterswasserkanal wieder zum Oberwasserkanal hinaufpumpten, und die noch übrigbleibenden Turbinen zu anderweitiger

Arbeitsleistung heranzöge. Man bekommt aber die Arbeit der Turbine nicht umsonst; denn auch sie setzt der Bewegung des Wasserzylinders einen Widerstand entgegen, was zur Folge hat, daß die mittlere Geschwindigkeit des Wasserzylinders kleiner wird, als sie ohne Turbine war. Man kann also nicht beliebig viel Arbeit aus einem solchen Wasserzylinder gewinnen, denn die noch verfügbare Arbeitsfähigkeit desselben hängt von seiner Geschwindigkeit ab. Die Bewegungsenergie des ganzen Wasserzylinders wird um den Betrag kleiner, den die Turbinen an Arbeitsfähigkeit erhalten haben. Die ganze, im bewegten Wasserzylinder enthaltene Bewegungsenergie ist aber, wie schon erwähnt, um den zur Ueberwindung der verschiedenen Widerstände (Reibung u. s. w.) verbrauchten Arbeitsbetrag kleiner, als die von der Schwerkraft beim Herabbewegen des Wassers geleistete Arbeit, welche letztere aber ebenso groß ist, als die Arbeit, welche die Pumpen leisten müßten, um das herabfallende Wasser wieder auf die ursprüngliche Höhe hinaufzubringen. Ein perpetuum mobile in dieser Art ist unmöglich.

Ein Beispiel soll zeigen, daß die perpetuum mobile-Sucher auch auf die Elektrizität vergeblich ihre Hoffnungen gründen. Auch die Energie des elektrischen Stromes, die wir als Bewegungsenergie des Lichtäthers auffassen dürfen, fügt sich dem Gesetze, daß Energie nicht aus nichts entstehen und ebensowenig spurlos verschwinden könne. Sobald nämlich irgend eine neue Energieart gefunden wird, tauchen regelmäßig Projekte für das perpetuum mobile auf, bei denen die neuentdeckte Naturkraft die Hauptrolle spielen soll. Die Projekte bleiben aber doch nur Projekte, weil das Gesetz der Erhaltung der Energie, wie sich nachträglich immer zeigte, ein in der ganzen Natur geltendes ist.

In einer offenen galvanischen oder Akkumulatorenbatterie ist eine bestimmte Energiemenge (potentielle Energie) aufgespeichert. Schließt man die Batterie dadurch, daß man die beiden Pole durch einen Leitungsdraht verbindet, so verwandelt sich die potentielle Energie der Batterie nach und nach in Bewegungsenergie des Aethers, der den Leiter und dessen Umgebung erfüllt, es tritt jener Zustand in der Batterie und im Verbindungsdraht ein, den man elektrischen Strom nennt. Dieser Bewegungszustand des Aethers teilt sich den Körpermolekülen des Leiters mit, so daß das Vorhandensein eines elektrischen

Stromes sich immer durch eine lebhafte Bewegung der Leitermoleküle, das heißt in einer Erwärmung der Leiter kundgibt. Hat der Strom keine andere Arbeit zu leisten, wie etwa chemische Zersetzung eines Stoffes, Bewegung eines Magneten und dergleichen, so verwandelt sich die elektrische Energie ganz in Wärme und es würde die elektrische Strömung schnell verschwinden sein, wie zum Beispiel bei der Entladung zweier durch einen Draht verbundenen Konduktorkugeln, wenn nicht die Batterie fortwährend neuen Strom liefern würde. Schickt man den elektrischen Strom durch die Drahtwindungen eines Motors, hält aber den Anker fest, so daß er der drehenden Kraft des Stromes nicht folgen kann, dann wird die Energie des Stromes nur in der Erwärmung der Leiter bemerkbar werden; die auftretende Wärme ist das Umwandlungsprodukt der elektrischen Energie. Die in der Sekunde entwickelte Wärme ist gleich der in der Sekunde verbrauchten Stromenergie. Läßt man jedoch den Anker los, dann wird er sich unter dem Einflusse des Stromes drehen, der Strom leistet bei Drehen des Ankers Arbeit, es wird ein Teil der Stromenergie in Bewegungsenergie des Ankers verwandelt; es kann jetzt nur mehr der noch übrige Teil der Stromenergie in Wärme verwandelt werden. Sobald der Motor läuft, wird in der Drahtwicklung weniger Wärme erzeugt, als wenn er festgehalten wird. Da aber die per Sekunde im Stromleiter entwickelte Wärme mittelbar auch ein Maß für die Stromstärke ist, so sagt man auch, von dem Augenblicke an, wo der Strom den Motor in Bewegung setzt, sinkt die Stromstärke. Es ist jetzt nicht mehr soviel Stromenergie zur Erwärmung oder allfälligen anderen Arbeitsleistungen zur Verfügung. Je mehr Arbeit der Motor zur Inbetriebsetzung erfordert, desto mehr Stromenergie wird dafür verbraucht, desto weniger bleibt für Erwärmung der Drähte übrig. Ein gewisser Betrag von Stromenergie muß aber übrig bleiben, weil derselbe zur Erhaltung des Stromzustandes im ganzen Leiterkreise notwendig ist. Die Sache verhält sich ganz ähnlich, wie wenn das Triebwasser einer Turbine seine ganze Bewegungsenergie an letztere abgeben würde; dann würde, weil das gebrauchte Wasser gar keine Bewegungsenergie mehr, also die „Geschwindigkeit Null“ hätte, eine Stockung eintreten müssen, da ja das gebrauchte Wasser nicht abfließen würde. Es ist demnach in der Natur des Strömungszustandes begründet, daß nie die ganze Stromenergie auf äußere

Arbeit verbraucht werden kann, sondern immer ein Teil der Stromenergie für Arbeit im Leiter (Wärmewirkungen, chemische Wirkungen) verfügbar sein muß, weil sonst eben kein Stromzustand mehr wäre.

Nach dem Gesagten wird es daher einleuchten, warum es unmöglich ist, ein perpetuum mobile in folgender Art zu konstatieren: Eine Dynamomaschine werde zunächst durch äußere Einwirkung in Bewegung gesetzt; der von ihr nun gelieferte Strom treibe einen Elektromotor, der nun seinerseits wieder die Dynamo antreibe, so daß jetzt der von außen kommende Antrieb der Dynamo überflüssig sei und der ganze Apparat nun von selbst weiterarbeite. Wenn dies möglich wäre, so hätte die endliche Energiemenge, die der Dynamomaschine zu Anfang durch den Antrieb von außen mitgeteilt worden wäre, hingereicht, um die unendlich große Arbeit, die mit der immerwährenden Ueberwindung der Bewegungshindernisse (Achsenreibung, Luftwiderstand) verknüpft ist, zu leisten. Um die Dynamomaschine in Betrieb zu setzen und darin zu erhalten, muß ihr per Sekunde eine bestimmte Energiemenge durch Antreiben zugeführt werden. Ein Teil dieser zugeführten Energie wird zur Ueberwindung der Achsenreibung und des Luftwiderstandes und dergleichen verwendet, der übrigbleibende Teil wird in Energie des elektrischen Stromes umgewandelt. — Man drückt letzteres auch so aus: der durch die Bewegung der Maschine entstehende Induktionsstrom sucht die Bewegung, durch die er entstanden ist, zu hemmen; um eine Verlangsamung des Laufes zu verhindern, muß eben die Dynamomaschine immerfort zur Bewegung angetrieben werden. — Man merke daher, nur ein Teil der zum Betriebe der Maschine erforderlichen Energie ist in Stromenergie verwandelt worden. Diese Stromenergie E_1 verwandelt sich zum Teile in Wärme (Erwärmung der Leitungsdrähte), der andere Teil E_2 verwandelt sich in Bewegungsenergie des durch den elektrischen Strom getriebenen Motors. Selbst wenn kein Teil dieser Energie E_2 zur Ueberwindung der Achsenreibung des Motors und dgl. verwendet würde und daher die ganze Energie E_2 wieder auf die Dynamomaschine übertragen werden könnte, so wäre diese zur Verfügung stehende Energiemenge E_2 , da sie nur ein Bruchteil der per Sekunde notwendigen Energie E ist, nicht mehr imstande, die Bewegung der Dynamo mit der früheren Geschwindigkeit aufrecht zu

erhalten. Es würde demnach der durch die langsamer laufende Dynamo erzeugte Strom schwächer sein wie früher und infolge dessen auch der Motor nicht mehr auf dieselbe Schnelligkeit kommen wie früher. So ginge es immer unaufhaltbar langsamer, bis in kurzem die Maschine zum Stillstand gekommen wäre. Wenn es möglich wäre, Reibung und sonstige Bewegungswiderstände zu beseitigen, so könnte man zwar sehr leicht eine Maschine machen, welche, einmal angetrieben, von selbst immer fort läuft. Man hätte nur nötig, ein Schwungrad in Bewegung zu setzen und dann sich selbst zu überlassen. Infolge der Trägheit würde es sich in alle Ewigkeit fort-drehen. Wollte ich aber die Bewegung des Rades zum Treiben irgend einer Arbeitsmaschine benützen, so würde das Rad, da es Energie an die Arbeitsmaschine abgeben muß, nach kürzerer oder längerer Zeit zum Stillstand kommen.

Ich habe nun an einigen Beispielen gezeigt, wie durch die Geltung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie sich die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile erklärt.

Wir bemerken bei Betrachtung dieser Beispiele, sowie bei Beobachtung beliebiger Naturvorgänge, daß bei der Energieverwandlung und Energieübertragung meist nur ein Bruchteil der ursprünglich vorhandenen Energie von dem einen Körper auf einen anderen übertragen oder in anderweitige Energie verwandelt erscheint. Das würde ja auch dem Gesetze der „Erhaltung der Energie“ widersprechen, das ja besagen will, wie Energie nicht aus Nichts entstehen könne, so könne sie auch nicht spurlos verschwinden. Diese scheinbaren Energieverluste kommen auf Rechnung der Reibung, des Luftwiderstandes, Wasserwiderstandes u. dgl., oder sind eine Folge der Zerreißung oder sonstiger dauernder Gestaltsänderungen der beteiligten Körper, oder bestehen in dem Wärmeverluste durch Leitung und Strömung, in der Beführung von Energie durch alle Gattungen von Wellenbewegungen: Schall, Licht, Wärme, elektrische Wellen. Wenn wir auch noch nicht imstande sind, in allen vorkommenden Fällen die Energieverteilung und Energiezerstreuung ziffermäßig anzugeben, so läßt sich dann doch wenigstens angeben, unter welcher Art von Energie und in welchen Körpern wir die bei einem Vorgange anscheinend verlorene Energie zu suchen haben. Zum Beispiel zeigt sich die auf Ueberwindung von Reibung und Mittelwiderstand ver-

brauchte Bewegungsenergie zum größten Teile in Wärme, zum Teile in Schwingungsenergie (Schallwellen) verwandelt und auf die umgebende Luft übertragen. Der Energieinhalt eines Körpers für sich kann sich ändern und es gibt wohl keinen Körper, dessen Energie sich nicht von Augenblick zu Augenblick ändern würde. Diese Änderung ist aber nur ein Energieaustausch zwischen den verschiedensten Körpern unserer Erde und des Weltalls. Denken wir nun an die im ganzen Weltall vorhandene Energie. So werden wir verstehen, was der große deutsche Physiker R. Clausius mit dem Satz „Die Energie des Weltalls ist konstant“ sagen wollte. Er hat den durch vielfältige, im menschlichen Forschungsgebiete gemachte Erfahrungen als äußerst wahrscheinlich erkannten Satz von der Erhaltung der Energie auf das Weltall angewandt, wodurch er in der obenwähnten gewaltigen Form auftritt.

Wenn wir auch gewiß annehmen, daß Energie nicht verschwinden könne, so bemerken wir bei Betrachtung der verschiedenartigsten Vorgänge auf unserer Erde, daß die Umwandlung irgend einer anderen Energieart in Wärme viel häufiger vorkommt, als die Umwandlung von Wärmeenergie zum Beispiel in Bewegungsenergie. Es wird kaum eine Art der Energieübertragung oder Verwandlung zu finden sein, bei der nicht auch nebenbei ein Energieanteil in Wärme verwandelt wird. Andererseits sehen wir, daß nie eine zur Verfügung stehende Wärmemenge ganz in Energie anderer Art umgewandelt wird, sondern, daß bei dieser Umwandlung immer ein Teil der Wärme durch Leitung, Strahlung, Strömung auf andere Körper übergeht, also Wärme bleibt, dabei aber infolge des Wärmeausgleichs auf eine tiefere Temperatur sinkt. Würde der Erde von außen keine Energie zugeführt werden, so würde ihr Energievorrat rasch verringert werden, da sich mehr Energie anderer Art in Wärmeenergie verwandelt als umgekehrt, und da ein großer Teil der entstandenen Wärme durch Strahlung in den kalten Weltraum verloren geht. Nun besitzt die Erde aber glücklicherweise einen Energiespender, der ihr den Verlust deckt. Dieser Spender ist die Sonne. Sie ist es in solchem Maße, daß wir sagen müssen, alle irdische Energie stammt von der Sonne her. Erstens ist die Erde ja eine Tochter der Sonne, aus ihrem Schoß hervorgegangen, ausgestattet mit einem großen Energievorrat, zweitens erhält sie jetzt noch in einem fort Zuschüsse

zur Bestreitung ihres Haushaltes. Durchmüßern wir die Energiequellen der Erde. Die Bewegungsenergie des fließenden Wassers haben wir jetzt nur noch mehr infolge der uns von der Sonne gesendeten Wärme zur Verfügung. Denn die Wärme der Sonnenstrahlen verdunstet das Wasser der Meere, dehnt den Wasserdampf aus, so daß er die Schwerkraft überwindend hoch emporsteigt und dort sich zu Wolken verdichtet. Man braucht nur daran zu denken, eine wie große Arbeit es erfordert, die riesigen in einer Wolke enthaltenen Wassermassen auf eine Höhe von mehreren tausend Metern hinaufzuschaffen; diese Arbeit wird von der Sonnenwärme geleistet. Die Winde, welche die Wolken vom Meere weg über das feste Land hinführen, werden auch durch die Sonne in Bewegung gesetzt, indem diese verschiedene Teile der Erde verschieden stark erwärmt und dadurch die Luftströmungen veranlaßt. Nur die von der Sonne gelieferte Energie (Wärme) bewirkt demnach, daß Niederschläge auf höheren Teilen des Festlandes stattfinden und dadurch Anlaß zur Bildung von Bächen und Flüssen geben. Die Dampfmaschine liefert uns Energie nur, wenn wir sie heizen. Mögen wir was immer für ein Brennmaterial wählen, es ist ein Werk der Sonne; die Pflanzen, die uns Holz oder Kohle liefern, brauchen zu ihrem Wachsen das Sonnenlicht, welches in den Zellen die aufgenommene Kohlenäure zerlegt, den Kohlenstoff in den festen Bestandteilen, wenn auch noch mit anderen Stoffen verbunden, ablagert und den Sauerstoff frei macht. Die Dynamomaschinen brauchen zu ihrem Betriebe Wasserkraft, Wind oder Feuerung, sie formen nur die von der Sonne gelieferte Energie um. Galvanische Elemente, die uns auch bedeutende Energiemengen liefern, können wir uns doch wieder nur mit Hilfe der von der Sonne gelieferten Energie verfertigen. Denn um zum Beispiel metallisches Zink zu gewinnen, müssen wir die Zinkerze hohen Temperaturen aussetzen, die wir uns nur durch Kohle oder Holz verschaffen können. Die im menschlichen und tierischen Körper aufgesammelte Arbeitskraft kommt schließlich doch nur von der durch die Sonne gelieferten Energie; denn ohne Sonnenwärme und Sonnenlicht würde auf unserem Planeten keine Pflanze gedeihen und infolge dessen auch kein Tierwesen bestehen können. Würde also Mutter Sonne ihre Tochter Erde im Stiche lassen, so würde der letzteren frei verfügbare Energie bald verankgabt und in das Welt-

all verstreut sein, es wäre das Ende aller Lebewesen auf der Erde.

Der entvölkerten Erde bleibt nur mehr die Bewegungsenergie infolge ihrer Bewegung um die Sonne und um ihre eigene Achse und die Lagenenergie, die sie als Bestandteil des Sonnensystems infolge der gegenseitigen Massenanziehung hat. Aus diesem totähnlichen Zustande würde die Erde nur dann zu neuem Leben erwachen, wenn sie, wie man glaubt annehmen zu dürfen, einmal zur Mutter Sonne zurückkehrt und dann bei diesem gewaltigen Zusammenstoße die ungeheure Bewegungsenergie wieder in Wärme und dadurch die Erde wieder in den glühend gasförmigen Urzustand verwandelt würde. Ob dieser ungeheure glühende Gasball dann in sich denselben Energievorrat besitzen wird, den unser Sonnensystem in seinem Urzustande vor Abtrennung der Planeten u. s. w. gehabt hat, das läßt sich nicht entscheiden. Falls dem Sonnensysteme während seines Bestehens nicht ebenso viel Energie aus dem Weltall zugekommen ist, wie es während derselben Zeit durch Strahlung abgegeben hat, so muß sein Energievorrat geändert sein. Ob mit dem ganzen Weltall etwas Ähnliches vorgehen wird, wie wir es auf unserer Erde beobachten, nämlich ob auch dort ein Ueberwiegen der Energieverwandlungen in Wärme über die umgekehrten Verwandlungen und ein allmählicher Temperaturausgleich im Weltall stattfinden wird, das sind Fragen, die man wohl stellen, die man aber nicht mit Sicherheit beantworten kann und will, eingedenk dessen, wie begrenzt das uns zugängliche Forschungsgebiet nach Raum und Zeit ist. Ob unser Weltall sich im ewigen Wechsel immer wieder erneuern oder ob es dem Wärmetode verfallen wird, wie sich Clausius ausgedrückt hat, das wissen wir nicht und werden wir auch nie wissen.

Kleine Mittheilungen.

† **Karl Alfred v. Zittel.** Am 5. Jänner d. J. erlag in München Dr. K. A. v. Zittel, königl. bayr. Geheimer Rat, Präsident der königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften, Professor der Geologie und Paläontologie an der Münchener Universität, einem Herzleiden, das ihn vor ungefähr Jahresfrist überfallen hatte. v. Zittel, ein Sohn des bekannten Führers des kirchlichen Liberalismus in Baden, Karl Zittel, wurde am 25. September 1839 zu Bahlingen bei Freiburg im Breisgau geboren, widmete sich geologischen und paläontologischen Studien in Heidelberg, Paris und Wien. Als Volontär der k. k. geologischen Reichsanstalt in

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [93](#)

Autor(en)/Author(s): Vapotitsch Franz

Artikel/Article: [Der Physikalische Satz von der Erhaltung der Energie
230-251](#)