

Verdienste von Johannes und Daniel Bernoulli um den Satz der Erhaltung der Energie.

Vortrag

von Prof. **Ed. Hagenbach-Bischoff.**

Wenn man von den Fortschritten auf technischem Gebiete in den hinter uns liegenden hundert Jahren spricht, so pflegt man ganz besonders die mit der Verwerthung der Naturkräfte zusammenhängenden mannigfachen Erfindungen hervorzuheben. Zu Ende des vorigen und im Anfange unseres Jahrhunderts brachte hauptsächlich die Verwendung der Wärme in der Form des Dampfes eine Erfindung nach der andern und schuf dadurch gewaltige neue Mittel für Arbeit und Verkehr, während später immer mehr die Electricität mit ihren wundervollen und überraschenden Wirkungen dazutrat; und allem Anschein nach scheinen wir in dieser Hinsicht erst am Anfang einer noch weiter gehenden, unsere Lebensverhältnisse mannigfach umgestaltenden Entwicklung zu stehen. Mit Recht fragen wir desshalb nach den Männern, welchen man diese Fortschritte verdankt. Wenn wir uns die aufgewandte Geistesarbeit etwas näher ansehen, so ist leicht zu erkennen, dass wir diese

Bahnbrecher wesentlich in drei verschiedene Categorieen bringen können; wenn auch schon nicht in allen Fällen die Grenzlinien genau zu ziehen sind und mancher Mann der Wissenschaft und Technik bis zu einem gewissen Grade den drei Categorieen zugleich angehört.

In erster und vorderster Linie, das heisst zunächst bei den zu Tage tretenden glänzenden Resultaten stehen die Männer der Praxis, welche wir als die Erfinder bezeichnen können; sie geben der Einrichtung die bestimmte zweckentsprechende Form. In diesem Sinne reden wir von den Erfindern des Fernrohrs, der Dampfmaschine, des Telegraphen, des Telephons. Ich möchte die Verdienste solcher Erfinder nicht schmälern, aber es ist leicht zu erkennen, dass alle ihre Erfolge nur ermöglicht waren durch die vorangegangene Erforschung der Naturgesetze; denn ohne die Kenntniss der Gesetze der Lichtbrechung, der Dampfspannung, des Electromagnetismus und der Induction wären sicherlich die genannten Erfindungen niemals gemacht worden. Es geht somit der Erfindung als nothwendige Bedingung voran die Forschung, und den Männern, die diese Erforschung der Naturgesetze besorgen, und die wir kurzweg als Forscher bezeichnen können, verdanken wir in zweiter Linie die erlangten Resultate. Aber auch die Forschung gründet sich wieder auf Vorbedingungen; wir brauchen zu derselben nicht nur mannigfache Apparate und Instrumente, sondern vor Allem auch bestimmte Vorstellungen und Begriffe. Die Natur verstehen und die Erscheinungen derselben erklären heisst Vorstellungen und Begriffe auf dieselbe anwenden. Gerade so wie die Erfindung bedingt wird durch die Forschung, kommt auch ihrerseits die Forschung zu keinem klaren Resultate ohne die Entwicklung der auf die Natur anwendbaren Vorstellungen und Begriffe durch das Werk-

zeug der Logik und Mathematik. Die dritte Kategorie der Männer, denen wir die grossen Fortschritte auf dem Gebiete der physikalischen Wissenschaft und Technik verdanken, bilden somit die Theoretiker und Mathematiker, welche sich mit der Entwicklung der nöthigen Begriffe und ihres logischen Zusammenhanges beschäftigt haben.

Erfinder, Forscher und Theoretiker, alle drei müssen also zusammen arbeiten, und ihre Thätigkeiten wirken sich gegenseitig fördernd und befruchtend auf einander ein, es ist deshalb ziemlich überflüssig zu untersuchen, welchen von den dreien das grösste Verdienst zukommt. Nur das mag bemerkt sein, dass die jeweiligen Zeitgenossen und die grosse Menge, die mehr das momentane Resultat anstaunt, sich mit Vorliebe für die Erfinder interessiert, während in den Augen des wissenschaftlichen Historikers, der den ganzen Entwicklungsgang der Erkenntniss begreifen und nicht nur die praktischen Resultate geniessen will, Forscher und Theoretiker mehr in den Vordergrund treten. Und besonders in Betreff der letztern können wir sagen, dass es sich mit ihnen gewissermaassen verhält wie mit den hohen Bergen unseres Vaterlandes, die in der Nähe von den Vorbergen verdeckt werden, aber um so höher und mächtiger hervortreten und die andern überragen, je grösser die Entfernung ist, aus der wir sie betrachten.

Zu diesen Theoretikern und Mathematikern, denen wir die Entwicklung der auf die Natur anwendbaren Begriffe verdanken, gehört in hervorragender Weise Daniel Bernoulli; und heute, wo hundert Jahre mit den mannigfaltigsten Errungenschaften auf dem Gebiete der physikalischen Forschung zwischen seinem Tode und uns liegen, lohnt es sich, dass wir uns vergewärtigen, wie er einst durch seine geniale Be-

handlung der mathematischen Begriffe ganz wesentlich in den Entwicklungsgang der physikalischen Wissenschaft eingriff und dadurch eine Saat ausstreute, die seither üppig aufgieng, reichliche Früchte trug und hoffentlich noch weitere tragen wird.

Welches sind nun aber die Vorstellungen und Begriffe, deren klare Darlegung nach ihrem Inhalt und gegenseitigem Zusammenhang die Grundlage jeder physikalischen Forschung bildet? Die Antwort auf diese Frage wird wohl von allen, die sich heutzutage ernstlich mit der physikalischen Wissenschaft beschäftigen, in übereinstimmender Weise dahin abgegeben werden, dass es die Begriffe der Mechanik sind, und ganz besonders alle die, welche zusammenhängen mit dem Begriffe der Kraft, der Ursache der Bewegungsänderung; pflegt man ja geradezu die Physik häufig als die Lehre von den Naturkräften zu bezeichnen.

Wenn wir einen Körper auf die Hand legen und entweder ruhig halten oder auch hinauf- und herunterschieben, so fühlen wir die Anstrengung, die nöthig ist, um den Körper zu halten, zu heben oder zu senken. Aus diesem Gefühle schliessen wir auf eine dem äusseren Körper inwohnende Kraft, die nach der Erde gerichtet ist und das Gewicht des Körpers genannt wird. Bei diesem Vorgange halten die gleichen in entgegengesetztem Sinne wirkenden Kräfte, die Muskelkraft des Arms und das Gewicht des Körpers, sich das Gleichgewicht. Wenn ich nun die Hand wegziehe, so wird dem Gewichte nicht mehr das Gleichgewicht gehalten und die Schwerkraft setzt dann den Körper in Bewegung; er fällt mit stets wachsender Geschwindigkeit und schlägt schliesslich mit einer der Fallhöhe entsprechenden Wucht unten auf. Dieser höchst einfache Versuch, der so alt ist als die Welt besteht, enthält im Keime die verschie-

denen mechanischen Begriffe, welche die Grundbedingungen jedes Verständnisses der mechanisch-physikalischen Wissenschaft bilden. Wir haben dabei zuerst das Gleichgewicht zwischen zwei Kräften und daraus entstand die Lehre des Gleichgewichtes überhaupt, die Statik, eine Wissenschaft, die schon bei den alten Griechen hauptsächlich durch Archimedes zu einer bedeutenden Entwicklung gelangt war. Dass ferner ein schwerer Körper, der nicht unterstützt ist, fällt, das haben die Menschen seit der ältesten Zeit in allen möglichen Formen gesehen und gefühlt, und dennoch wurde erst im Anfang des 17. Jahrhunderts durch den Italiener Galilei dieser Vorgang genau studiert; er wurde dadurch zum Schöpfer des zweiten wichtigen Theiles der Mechanik, der Dynamik, in welcher von der Aenderung der Bewegung unter der Einwirkung der Kräfte gehandelt wird; und es war darauf dem Genie eines Newton vorbehalten, in der grossartigsten Weise die von Galilei geschaffenen Begriffe auf die mannigfachen Bewegungsvorgänge im gesammten Weltall, am Himmel und auf Erden, anzuwenden. Der Fortschritt der Wissenschaft ist jedoch wesentlich dadurch gegeben, dass man eine immer grössere Anzahl von Erscheinungen von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus betrachtet. Es ist somit ein grosses Verdienst von Joh. Bernoulli, des Vaters des heute gefeierten, dass er für die gesammte Statik einen solchen einheitlichen Satz aufstellte; er gelangte zu demselben dadurch, dass er die mechanische Leistung der Kräfte ins Auge fasste. Wenn einige Arbeiter den Auftrag erhalten, einen Baustein in die Höhe zu schaffen, und einen ganzen Tag an einem Seile ziehen ohne den Stein auch nur um die Breite einer Hand vom Boden zu heben, so haben sie entschieden ihre Kräfte wirken lassen, aber auf eine so ungeschickte Art, dass nichts

geleistet wurde. Eine Leistung, die einen Werth repräsentiert und die man entsprechend bezahlt, findet nur statt, wenn das Gewicht wirklich gehoben wird. Es ist nun leicht ersichtlich, dass die Grösse der mechanischen Leistung sowohl mit dem Gewicht als mit der Höhe proportionel wächst, denn ich werde einen Lastträger ebensogut doppelt bezahlen, wenn er die doppelte Last auf die einfache Höhe, als wenn er die einfache Last auf die doppelte Höhe trägt. Das Maass der mechanischen Leistung ist somit das Produkt der Kraft in den in der Richtung der Kraft zurückgelegten Weg; man bezeichnet diese Grösse mit verschiedenen Namen, im Deutschen nennt man sie gewöhnlich Werk oder Arbeit; Joh. Bernoulli hat ihr den Namen Energie gegeben und neuerdings wendet man in der Wissenschaft wieder ziemlich allgemein diesen Namen an. Die Einheit des Werkes, der Arbeit oder Energie ist der Kilogramm-meter, d. h. ein Kilogramm gehoben auf die Höhe eines Meters; 75 Kilogramm-meter haben den nicht sehr passenden Namen Pferdekraft erhalten. Joh. Bernoulli hat nun gezeigt, dass bei allen statischen Aufgaben, wenn die Maschinen auch noch so compliciert sind, stets die positiven und negativen, oder um bildlich zu reden, die ausgegebenen und eingenommenen Energien einander gleich sind. Mit Hebel, schiefer Ebene, Schraube und Keil können wir in beliebigem Verhältniss an Kraft gewinnen, aber wir verlieren immer im gleichen Verhältniss an Weg, und das Produkt der beiden, d. h. das Werk oder die Energie bleibt sich gleich. Dass dieser Satz auch für die praktische Mechanik von der grössten Wichtigkeit ist, leuchtet ein; und es haben deshalb auch die Praktiker, die Maschinenbauer und Ingenieure alle Ursache, mit Verehrung zu unserem Basler Mathematiker Joh. Bernoulli hinauf zu bli-

cken. Eine kleine Erfahrung aus meinem Leben mag diess illustrieren.

Im September 1875 wurde in unserer Nähe bei Rheinfeldern nach Kohle gebohrt, und die dortigen Arbeiten wurden von einem sehr gewandten österreichischen Ingenieur geleitet. Als ich in Gesellschaft einiger Freunde und Collegen die Bohrstelle besuchte, führte uns derselbe seine Bohrmaschine vor und er zeigte mit einem besondern Stolze, wie er im Stande sei, mit einem Finger das ganze Bohrgestänge zu heben und zu lenken. Nachher begleitete uns der freundliche Leiter der Bohrversuche nach Basel und wir kamen hieher ins Bernoullianum. Im Corridor fielen die Blicke auf die schönen Büsten, die beim Bau unserer Anstalt von der Familie Bernoulli gestiftet wurden, und ich merkte bald, dass die berühmten Basler Mathematiker für den österreichischen Ingenieur ganz unbekannte Grössen waren und er sie für beliebige Basler Bürger hielt, die sich um irgendwelche locale Verhältnisse verdient gemacht haben. Ich stellte ihm dann Joh. Bernoulli vor als den Mann, der zuerst klar das Princip aufgestellt hat, dem er die so zweckmässige Construction seiner Bohrmaschine verdanke. Darauf sah er sich das geistig kräftige von der wuchtigen Perrücke überdeckte Gesicht denn doch etwas genauer an und bezeugte feierlich durch Hutabziehen und Compliment seine dankbare Verehrung.

Gerade so wie Joh. Bernoulli ein einheitliches Princip für die Statik aufstellte, war es Leibnitz, der schon etwas früher durch Einführung eines anderen Begriffes für die Dynamik einen neuen sehr wichtigen Gesichtspunkt eröffnete. Eine mechanische Leistung kann nicht nur ausgeübt werden durch eine Kraft, die einen Weg beschreibt, so z. B. durch ein sinkendes Gewicht,

sondern auch durch eine Masse in Bewegung; ich kann einen Nagel oder Pfahl nicht nur hineindrücken, sondern auch hineinschlagen. Die Vorgänge des Stosses beruhen hauptsächlich auf dieser Art mechanischer Leistung; und es sind dieselben schon früher besonders von dem französischen Philosophen und Mathematiker Descartes studiert und für die Erklärung mancher Naturerscheinungen verwendet worden. Nach ihm erhält man das Maass für die mechanische Leistungsfähigkeit einer bewegten Masse, wenn man die Masse mit der Geschwindigkeit multipliziert; er nannte dieses Produkt Quantität der Bewegung und nahm an, dass beim Stoss und überhaupt bei der Uebertragung von Geschwindigkeit stets die Quantität der Bewegung gleich bleibe, ja, er bezeichnete es geradezu als eine der Haupteigenschaften Gottes, dass er für die Erhaltung der Quantität der Bewegung im ganzen Universum Sorge. Dieser Auffassung trat der berühmte Leibnitz entgegen mit der Behauptung, dass die mechanische Leistungsfähigkeit eines bewegten Körpers nicht gemessen werde durch das Produkt der Masse mit der Geschwindigkeit, sondern mit dem Quadrate der Geschwindigkeit; dass somit eine Kugel mit doppelter Geschwindigkeit nicht zwei, sondern vier mal so tief in eine weiche Lehmschicht eindringt, dass ein Fluss oder ein Wind von doppelter Geschwindigkeit vier mal so stark auf ein entgegengesetztes Hinderniss drückt, dass ein Hammer geschwungen mit doppelter Geschwindigkeit einen vier mal grösseren Effect ausübt, und, um noch ein triviales Beispiel zu gebrauchen, dass ein uns mit doppelter Geschwindigkeit treffender Stock nicht nur zwei, sondern vier mal so weh thut. Leibnitz hat diesem Maass für die Leistungsfähigkeit einer bewegten Masse den Namen „vis viva“ gegeben, zu deutsch „leben-

dige Kraft“, wobei das Wort lebendig nicht lebend, sondern bewegt bedeutet.

Wohl selten hat eine Behauptung auf dem Gebiete der mathematischen Wissenschaft die gelehrte Welt in eine so grosse Aufregung gebracht als die Leibnitz'sche Lehre von der lebendigen Kraft. Mehr als sechzig Jahre dauerte der Streit zwischen den Cartesianern und Leibnitzianern, und es beteiligten sich daran nicht nur alle bedeutenden Mathematiker und Physiker der damaligen Zeit, sondern selbst Philosophen, Dichter und geistreiche Damen, wie Kant, Voltaire, Madame du Chastelet, fühlten sich gedrungen, über diese wichtige Frage grosse Abhandlungen zu schreiben. Die Leibnitz'sche Anschauung fand wohl den gewandtesten Verfechter in unserem Joh. Bernoulli; die von ihm in stets neuer Fülle vorgebrachten triftigen Gründe machten unter anderem auf den Philosophen Kant einen so gewichtigen Eindruck, dass er ihn den grossen Schutzgott der lebendigen Kräfte nannte. Wir haben es auch Joh. Bernoulli ganz besonders zu verdanken, wenn die Leibnitz'sche Anschauung nicht nur immer mehr durchdrang, sondern auch zugleich in präcisere Formen gegossen wurde.

Der Hauptgewinn des neu eingeführten Begriffes der Wucht besteht darin, dass dadurch das ganze Gebiet der Dynamik unter einem einheitlichen Gesichtspunkte betrachtet werden konnte; in so fern sich beweisen liess, dass überall wo zwischen elastischen Körpern eine Uebertragung von Bewegung stattfindet, stets im Ganzen die Wucht oder lebendige Kraft sich gleich bleibt, und dass da, wo Kräfte Geschwindigkeit erzeugen, die eingenommene Wucht dem ausgegebenen Werke gleich ist. Der Leibnitz'sche Begriff der lebendigen Kraft steht somit in innigem Zusammenhang mit dem

Joh. Bernoulli'schen Begriffe der Arbeit; er ist eigentlich nur die Folge vom Uebergang der Statik zu der Dynamik. Es zeigt sich das wieder am deutlichsten bei dem einfachen Versuche mit einem schweren Körper. Wenn dieser herunterfällt, so haben wir eine Ausgabe an Werk, die gleich ist dem Produkte der Höhe und des Gewichtes; diese Ausgabe ist aber nicht verloren, denn der ruhige Körper ist durch den Vorgang des Falles in einen bewegten Körper umgewandelt worden und dem entspricht eine Einnahme an Wucht. Es lässt sich nun leicht beweisen, dass in diesem Falle das ausgegebene Werk und die eingenommene Wucht einander gleich sind. Werk und Wucht sind somit Grössen gleicher Natur und es hat sich daher das Bedürfniss Bahn gebrochen, einen Ausdruck zu finden, der auf beide angewendet werden kann. Wir haben schon erwähnt, dass Joh. Bernoulli für das Werk den Ausdruck Energie gebraucht hat, der berühmte Engländer Thomas Young hat den gleichen Ausdruck auch zur Bezeichnung der Leibnitz'schen *vis viva* eingeführt; und seit dieser Zeit gebraucht man immer allgemeiner, besonders bei wissenschaftlichen Arbeiten, dieses in den verschiedenen Sprachen leicht verwendbare griechische Wort, das so recht klar die mechanische Leistungsfähigkeit bezeichnet; und man pflegt die Energie potentiell zu nennen, wenn sie in der Form des vorrätigen Werkes auftritt, und kinetisch, wenn es sich um die Wucht oder lebendige Kraft handelt. Bei dieser Anwendung der Worte lässt sich der Vorgang des fallenden Körpers einfach so darstellen, dass man sagt: die potentielle Energie wird in kinetische Energie umgesetzt, oder kurz deutsch: das vorrätige Werk wird zu wuchtigem Werk. Das Herunterfallen eines Körpers ist nur das einfachste Beispiel, an dem ich versucht habe

den Begriff der mechanischen Energie Ihnen darzulegen; er lässt sich jedoch ganz allgemein auf alle die Fälle anwenden, wo eine beliebige Anzahl von Körpern durch Kräfte auf einander einwirken; und man kann ganz allgemein zeigen, dass wenn dabei auch noch so complicierte Bewegungen entstehen, doch unter allen Umständen die Gesammtmenge der Energie erhalten bleibt und jede Ausgabe durch eine entsprechende Einnahme gedeckt wird. Diesen wichtigen Satz, welcher den für die Statik geltenden Bernoulli'schen, sowie den die Dynamik umfassenden Leibnitz'schen zugleich in sich schliesst, pflegt man jetzt gewöhnlich den Satz der Erhaltung der Energie zu nennen; während man früher ihn als Satz der Erhaltung der Kraft bezeichnete, was zuweilen zu Missverständnissen geführt hatte.

Es handelt sich nun aber nicht nur um die abstrakte Aufstellung dieses Satzes, sondern auf die Anwendung desselben auf die Vorgänge in der Natur. Da diese höchst mannigfaltig und von complicierter Art sind, und da es sich dabei oft um Bewegungserscheinungen handelt, die nicht direct mit unseren Sinnen erkannt, sondern nur durch die mathematische Conception studiert werden können, so vergieng eine lange Zeit bis nach und nach die ganze physikalische Wissenschaft unter die Herrschaft des Satzes von der Erhaltung der Energie gebracht wurde.

Aller Anfang ist schwer; diess gilt auch hier; und es ist desshalb das Verdienst der Männer besonders gross, welche diesen Entwicklungsgang der physikalischen Wissenschaft angebahnt haben; und da dürfen wir neben Joh. Bernoulli seinen heute gefeierten Sohn Daniel Bernoulli ganz besonders hervorheben.

In der im Jahre 1738 publicierten Hydrodynamik zeigte er in gewandter und eleganter Weise, wie frucht-

bar dieses Princip sich beim Studium der Bewegungen der Flüssigkeiten erweist, und in einer Abhandlung vom Jahr 1748 „Sur le principe de la conservation des forces vives“ bewies er die Gültigkeit des Satzes von der Erhaltung der Energie bei den verschiedenartigsten Kräften. Es ist jedoch die genannte Hydrodynamik für die Geschichte der Physik noch besonders wichtig, weil darin zuerst in ganz klarer Weise die kinetische Gas-theorie auseinander gesetzt wird, nach welcher die Expansion der Luftarten nicht eine Folge ist der sich abstossenden, sondern der an die Wände anprallenden kleinsten Theile. Vor etwa dreissig Jahren sind die Deutschen Clausius und Krönig so wie der Engländer Joule ganz selbständig und unabhängig sowohl von einander als von früheren Aussprüchen zu diesen jetzt allgemein anerkannten Anschauungen über den gasförmigen Zustand gelangt, und erst nachträglich hat sich herausgestellt, dass Daniel Bernoulli mehr als hundert Jahre früher ganz ähnliche Ideen ausgesprochen und nach einigen Seiten näher entwickelt hatte. Mit dieser Theorie des gasförmigen Zustandes steht nun aber noch in innigem Zusammenhang die Vorstellung über das Wesen der Wärme. Der Annahme, dass die Grundursache der Wärme ein unwägbares Fluidum, der sogenannte Wärmestoff sei, trat mit der Zeit eine andere gegenüber, welche die Wärme als Folge eines Bewegungszustandes auffasst und als Maass der Wärme die den Molekeln oder kleinsten Theilchen inwohnende Wucht betrachtet. Diese mechanische Wärmetheorie gelangte erst in den letztvergangenen Jahrzehnten zum allgemeinen Durchbruch; allein schon im vorigen Jahrhundert hatte dieselbe ihre entschiedenen Vertreter, und unter diesen sind ganz besonders Johannes und Daniel Bernoulli und zugleich noch

ein dritter Basler Mathematiker Jacob Hermann hervorzuheben. Es würde mich nun viel zu weit führen, wenn ich im Einzelnen Ihnen vorlegen wollte, wie nach und nach in den verschiedenen physikalischen Disciplinen die stofflichen Theorien immer mehr durch die mechanischen verdrängt worden sind. Seit dem Jahre 1847, wo Helmholtz in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin seinen epochemachenden Vortrag über die Erhaltung der Kraft hielt, haben die Forscher auf dem Gebiete physikalischer Wissenschaft ganz allgemein sich der Anschauung zugewandt, dass für sämtliche physikalische Vorgänge, im grossen Weltall so gut wie im Laboratorium, der Satz der Erhaltung der Energie ausnahmslos seine Geltung hat, und dass Licht, Wärme, chemische Action, Magnetismus und Elektrizität so gut wie Schwerkraft und Schall nach mechanischen Grössen gemessen werden können. Jedermann weiss, dass die genannten Agentien in der mannigfachsten Weise entstehen und vergehen, dass wir sie erzeugen und verbrauchen können; allein der Satz der Erhaltung der Energie gebietet, dass jeder Einnahme eine Ausgabe und jeder Ausgabe eine Einnahme entspricht. Die Form, in welcher die Energie auftritt, kann in der mannigfaltigsten Weise sich ändern, es kann Arbeit in Schall, Elektrizität in Licht, chemische Arbeit in Wärme umgesetzt oder verwandelt werden, die Umwandlung kann in dem einen oder andern Sinne stattfinden, also z. B. Wärme in Arbeit oder Arbeit in Wärme; allein bei allen diesen Wechselwirkungen der Naturkräfte bleibt sich eines immer gleich, nämlich die Menge der vorhandenen Energie, indem bei Anwendung dieses mechanischen Maasses jeder Einnahme eine gleich grosse Ausgabe entspricht, und umgekehrt. So lässt sich bei dem jetzigen Standpunkte die Arbeit des forschenden

Physikers mit der eines gewissenhaften Buchhalters vergleichen, der streng darauf sieht, dass zwischen Soll und Haben stets die Bilanz gehalten wird; und der, wenn das irgend ein Mal nicht genau eintritt, nicht ruht, bis er in einem der vielen Conti den falsch eingetragenen Posten oder den Rechnungsfehler findet. So wenig als der Kaufmann an der Richtigkeit der Grundsätze der doppelten Buchhaltung, zweifelt der Physiker an der Gültigkeit des Satzes der Erhaltung der Energie. Der Vergleich mit dem Buchhalter gilt für den Naturforscher; dem Naturdichter wollen wir deshalb nicht zumuthen, dass er sich das Buch der Natur, in dem er zu lesen sucht, wie ein grosses Hauptbuch vorstelle.

Ich möchte nun gerne noch zum Schluss an einigen Beispielen, besonders auch solchen, welche mit dem Anfangs erwähnten Fortschritt auf dem Gebiete der Technik in Zusammenhang stehen, die Bedeutung des Satzes von der Erhaltung der Energie erläutern.

Die Fortschritte auf dem Gebiete der Industrie in der ersten Hälfte der hinter uns liegenden hundert Jahre knüpfen sich, wie schon erwähnt wurde, wesentlich an die stets grössere Verbreitung der Dampfmaschine. Sie mag uns in erster Linie ein deutliches Beispiel geben für die Umsetzung der Energie. In jedem Kilogramm Steinkohle besitzen wir einen Vorrath chemischen Werkes, der in runder Zahl etwa 40,000 Pferdekräfte beträgt und der durch den Verbrennungsprocess in Molecularwucht umgesetzt werden kann und dann das erzeugt, was wir Wärme nennen. Von dieser Wärme sucht man so viel als möglich durch die Kesselwände dem Wasser zuzuführen; dadurch wird die kinetische Energie der Wassermolekeln in solchem Grade vermehrt, dass sie die Fesseln des flüssigen Aggregatzustandes sprengen

und in der neuen Form des Dampfes mit grosser Geschwindigkeit an die Wände schiessen und dadurch einen Druck ausüben, der dazu dient, den Kolben im Cylinder hin und her zu bewegen und so eine nützliche Arbeit zu verrichten. Bei dieser Ueberführung des vorrätigen chemischen Werkes der Steinkohle in nützlich verwendbare Arbeit erhält man bei den best gearbeiteten Maschinen nicht einmal den zehnten Theil; es gehen also neun Zehntel verloren, doch nur, wenn wir den rein praktischen Standpunkt des Industriellen einnehmen, der alles für verloren ansieht, was nicht dem von ihm beabsichtigten Nutzen entspricht; nicht verloren ist die Energie für das physikalisch gebildete Auge, es findet die vollen neun Zehntel in der Wärme des Kesselhauses, der durch den Schornstein abziehenden Verbrennungsgase, des Condensationswassers der Maschine und der durch die Reibung erhitzten Lager. Das umgekehrte Problem, das heisst die Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärme, kann in einer viel vollkommeneren Weise bewerkstelligt werden; da ist leicht dafür zu sorgen, dass schliesslich die gesammte aufgewandte mechanische Arbeit die Form der Wärme annimmt; allein diese Art der Umwandlung, die sich überall da, wo Hindernisse der Bewegung entgegentreten, von selbst einstellt, wird selten von uns beabsichtigt; die nützlich verwendbare mechanische Arbeit ist im Allgemeinen eine kostbarere Form der Energie als die Wärme; es lohnt sich desshalb mit merklichem Verlust die letztere in die erstere umzuformen, während es gewöhnlich ein schlechtes Geschäft ist, aus mechanischer Arbeit Wärme zu erhalten.

Wir haben schon erwähnt, dass in der zweiten Hälfte der hinter uns liegenden hundert Jahre die Elektrizität fast noch grössere Wunder zu Tage geför-

dert hat als es vorher der Dampf gethan; und die Zukunft lässt hier noch manches erwarten. Auch auf diesem Gebiete eröffnet uns der Satz der Erhaltung der Energie klaren Einblick in die mannigfachen Verwandlungen. Die in so mancher Hinsicht noch geheimnissvolle Naturkraft, der wir den Namen Elektrizität geben, verdankt ihre Allgewalt hauptsächlich dem Umstande, dass es verhältnissmässig leicht ist, alle möglichen Formen mechanischer Energie in Elektrizität umzuwandeln und ebenso auch aus dieser die andern Arten von Energie wieder zu erzeugen. Fügen wir noch dazu die Eigenschaft, dass die Elektrizität in hohem Grade canalisirbar ist und in der kürzesten Zeit nach jedem von einem Drahte erreichbaren Orte gebracht werden kann, so ist mit diesem werthvollen Agens ganz allgemein das Problem zu lösen, irgend eine Energie, über die wir verfügen, so zu sagen momentan an den gewünschten Ort zu bringen und zugleich in die dem Zweck entsprechende Form überzuführen; wenn auch schon die praktische Ausführung im einzelnen Falle noch manche Schwierigkeiten bieten mag.

Von hier an war der Vortrag mit Versuchen begleitet, welche die Bedeutung der Elektrizität bei Umwandlung und Uebertragung der Energie veranschaulichen sollten; für diesen Theil der Rede geben wir, um abzukürzen, nur den Gedankengang und die Aufzählung der angestellten Versuche.

Ein vierpferdiger Gasmotor im Souterrain trieb eine Bürgin'sche Dynamomaschine, deren Strom theils zur Demonstration der verschiedenen Wirkungen, theils zur Herstellung des elektrischen Lichtes beim Benützen eines Projektionsgalvanometers gebraucht wurde.

Erzeugung der Elektrizität aus potentieller chemischer Energie.

Ein Zinkstreifen und ein Kupferstreifen, getaucht in ein Gefäss mit angesäuertem Wasser, geben einen Strom, der die Nadel des Projektionsgalvanometers ablenkt. — Galvanismus.

Leistung chemischer Arbeit durch Elektrizität.

Die kräftige Wasserzersetzung des ungefähr 25 Ampère starken Maschinenstromes wird gezeigt. — Elektrochemie, Galvanoplastik.

Erzeugung der Elektrizität durch Wärme.

Ein in warmes Wasser getauchtes Thermoelement giebt die Ablenkung der Galvanometernadel. — Die Gasflamme unter einer Noë'schen Thermosäule wird angezündet, wodurch eine elektrische Glocke zu läuten beginnt. — Thermostrome.

Erzeugung von Wärme und Licht durch Elektrizität.

Der Maschinenstrom wird durch einen längern Platindraht und durch ein dünnes Kohlenstäbchen geleitet und bringt dieselben ins starke Glühen; darauf wird er zur Erzeugung des elektrischen Bogenlichtes verwendet. — Galvanokaustik. — Elektrische Beleuchtung.

Erzeugung der Elektrizität durch Schall.

Die Drähte eines Bell'schen Telephons führen zu aufgehängten präparirten Froschschenkeln und diese werden durch die menschliche Stimme zum Zucken gebracht. — Abgabeapparat des Telephons.

Erzeugung des Schalles durch Elektrizität.

Empfangsapparat des Telephons.

Erzeugung der Elektrizität durch mechanische Arbeit.

Ein Magnet wird in eine Inductionsspule geschoben und gibt einen Strom, der die Galvanometernadel ablenkt. — Magnetoelektrische und dynamoelektrische Maschinen.

Erzeugung der mechanischen Arbeit durch Elektrizität.

Ein Elektromotor wird vermittelst des Stromes einer Batterie in Bewegung versetzt.

Uebertragung der mechanischen Energie durch Vermittlung der Elektrizität.

Telegraph. — Telephon. — Der von der im Souterrain arbeitenden Dynamomaschine kommende Strom wird auf eine zweite im Hörsaal aufgestellte Dynamomaschine, welche als Elektromotor wirkt, geleitet; eine Seiltransmission überträgt die von dieser

geleistete Arbeit auf einen als Pumpe wirkenden Schmid'schen Wassermotor, der das Wasser aus einem Zuber in die Höhe pumpt und dann in kräftigem Strahl wieder herunterfallen lässt. — Elektrische Kraftübertragung.

Ich bin mit den Versuchen, die ich Ihnen zur Veranschaulichung dieses für das gesammte Gebiet der physikalischen Wissenschaft höchst wichtigen Prinzipes vorführen wollte, zu Ende und Sie werden vielleicht finden, dass ich schliesslich weit von Daniel Bernoulli weggekommen bin und dass in der modernen Wissenschaft und Technik der Satz von der Erhaltung der Energie Anwendungen gefunden hat, die gewiss niemand vor hundert Jahren sich hat träumen lassen. Allein das hindert nicht, dass wir dennoch angesichts der Fortschritte unserer Zeit gerne und dankbar auf die Männer zurückblicken, die in früheren Jahrhunderten, getrieben vom reinen Drang nach Erforschung der Wahrheit, uns vorgearbeitet und den Weg gebahnt haben. Das ist ja gerade das Grossartige des richtigen wissenschaftlichen Gedankens, dass er bei allem Wechsel der äusseren Verhältnisse in stets neuer Form wieder ersteht; somit sind wir berechtigt auch auf diese Unsterblichkeit den Wahlspruch anzuwenden, der den im Kreuzgang des Münsters aufgestellten Grabstein unseres grossen Mathematikers Jacob Bernoulli, in Erfüllung eines von ihm selbst ausgesprochenen Wunsches, ziert und als Umschrift der durch Abwicklung bis in alle Ewigkeit sich stets wieder selbst erzeugenden logarithmischen Spirale kurz also lautet:

EADEM MUTATA RESURGO.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: [7_1885](#)

Autor(en)/Author(s): Hagenbach-Bischoff Eduard

Artikel/Article: [Verdienste von Johannes und Daniel Bernoulli um den Satz der Erhaltung der Energie 1019-1036](#)