

IV.

Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

Wir hatten mit der Betrachtung des Kreislaufs des Stoffs in den drei Naturreichen begonnen und dabei erfahren, wie die Pflanze aus einfachen unorganischen Stoffen Stoffe complicirter organischer Constitution fabricirt, das Thier dagegen die in solcher Weise umgewandelten Stoffe als Nahrungsmittel aufnimmt und wieder zerlegt, um sie in Form derselben einfachen unorganischen Verbindungen dem Mineralreich zurückzugeben, aus welchen sie die Pflanze wieder für das organische Leben zurückgewinnt.

In Bezug auf die Atome haben wir dann die Einsicht gewonnen, dass sie durch ihren Eintritt in chemische Verbindungen irgend welcher Art nichts an ihrer Masse und ihren Eigenschaften verlieren. Man kann aus allen, auch aus den complicirtesten zusammengesetzten chemischen Stoffen die Elementarstoffe vollkommen nach Form, Gewicht und Kräften wieder erhalten, wie sie zur Bildung des betreffenden Körpers zusammengetreten sind.

Auch dann, wenn Stoffatome Bestandtheile eines lebenden Organismus geworden sind, verlieren sie nichts an den ihnen im isolirten Zustande zukommenden Eigenschaften; der Kohlenstoff verbrennt im Organismus ebenso zu Kohlensäure wie ausserhalb desselben; der Wasserstoff bildet in beiden Fällen bei seiner Verbindung mit Sauerstoff Wasser. Andererseits ist der Lebensprocess auch der beste Scheidekünstler, indem er aus den organischen Verbindungen stets ihre Elemente wieder zu gewinnen versteht — zum neuen Beweise des Satzes, dass nirgends in der Natur Etwas, auch nur ein Atom von den vorhandenen Stoffelementen verschwindet oder neu gebildet wird. Die Materie trägt für den Naturforscher den Charakter der unvergänglichen Beständigkeit. Ueberall, wo das Auge des Menschen ein Neuentstehen von Stoff, ein Vergehen desselben zu erblicken meint, lehrt uns die exacte Wissenschaft nur einen Wechsel der Form, einen Wechsel der chemi-

schen Verbindung, der mechanischen Mischung und des Aggregatzustandes der Materie kennen. Sie zeigt uns, wie aus gasförmigen, unsichtbaren Stoffen sich feste, sicht- und greifbare Körper zusammensetzen können, die nach kürzerer oder längerer Zeit des Bestehens wieder zu vergehen scheinen, indem ihre Bestandtheile von Neuem die chemischen und physikalischen Eigenschaften annehmen, die sie vor der Bildung des festen Körpers besessen hatten. Immer wieder stossen wir auf das Grundgesetz von der Erhaltung oder Unzerstörbarkeit des Stoffes.

An die nachgewiesene Unveränderlichkeit und Constanz der Elementarstoffe und die nicht mehr zu bezweifelnde Thatsache: dass allen Naturerscheinungen nur Veränderungen der **Vertheilung** der Atome im Raume zu Grunde liegen, schliesst sich die weitere Folgerung von fundamentaler Bedeutung an: dass alle Vorgänge in der Natur, so verschieden und mannigfaltig sie auch immer sein und erscheinen mögen, in letzter Instanz durch **mechanische Bewegung** zu Stande kommen. — So löst sich, wie Sie sehen, vor dem Blicke des exacten Naturforschers alles Geschehen in der Natur in Bewegung der Atome, Molecüle und Molecülaggregate oder Molen auf; für ihn werden darum auch alle die verschiedenen Kräfte, welche man früher als Ursachen der Erscheinungen postulierte, letzten Endes insgesamt mechanische Bewegungskräfte, nichts als verschiedene Combinationen derselben Anziehungs- und Abstosungskräfte sein.

Sind aber alle Naturkräfte mechanische Bewegungskräfte, alle also wesentlich gleichartig und nur verschiedene Erscheinungsformen derselben Kraft, so müssen sie auch alle mit demselben Maasse, mit dem Maasse der mechanischen Kraft zu messen sein, und nach diesem Maasse sich aus einer in die andere Erscheinungsform überführen oder »transformiren« lassen — was erfahrungsgemäss auch der Fall ist, wie wir später zeigen werden.

Das Endziel der modernen mechanischen Naturauffassung ist also: die allem Geschehen zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden, und die gesammte Naturwissenschaft als ein Problem der analytischen Mechanik zu behandeln. —

Diese raschen Schlussfolgerungen und überraschenden Anschauungen, welche ich eben angedeutet habe, werden die Meisten von Ihnen überaus fremdartig anmuthen, und wohl den Wenigsten schon so ganz verständlich erscheinen. Ich will Sie deshalb ausdrücklich auffordern, weder das Interesse noch den Muth und die Geduld zu verlieren, um zu

klarern Verständniss vorzudringen. Wenn Sie mit einigem Aufwande von Aufmerksamkeit, Hingebung und Consequenz, ohne welche freilich in keiner Wissenschaft Etwas zu erreichen ist, meinen weiteren Auseinandersetzungen, die sich nunmehr dem sogenannten Gesetze von der Erhaltung der Kraft zuwenden, folgen wollen, darf ich hoffen, Ihnen das Verständniss der modernen naturwissenschaftlichen Anschauungen so weit erschliessen zu können, als es heutzutage von Jedem, der auf wahre allgemeine Bildung Anspruch macht, gefordert werden muss. Denn die Zeiten sind vorüber, wo man sich auf der Höhe der allgemeinen Bildung stehend wähnte, wenn man auch keine weitere Kenntniss der Naturerscheinungen und ihres causaln Zusammenhanges besass, als aus dem täglichen Leben und aus der mosaischen »Genesis« zu holen ist! —

Was besagt zunächst das Gesetz von der Erhaltung der Kraft? Es statuirt mit Bezug auf die Kraft wesentlich dasselbe, was durch das Gesetz von der Unveränderlichkeit des Stoffes bezüglich der elementaren Stofftheilchen gilt. Ich könnte Ihnen also kurz sagen: Gerade so wie die Quantität des Stoffes ewig und unveränderlich ist, d. h. das kleinste Stoffatom weder vernichtet noch neu geschaffen werden kann, ebenso sei auch die Quantität der im Naturganzen vorhandenen wirkungsfähigen Kraft ewig und unveränderlich, d. h. Kraft könne ebenso wenig erschaffen wie vernichtet werden — und gerade so wie der seltsame Wechsel in den Eigenschaften der Materie nur durch die Veränderung der Anordnung der an sich unveränderlichen Stoffatome zur Erscheinung kommt, ebenso beruhe nach unserem neuen Gesetz auch alle Mannigfaltigkeit der Vorgänge der Natur einzig und allein auf einem Wechsel des Ortes im Raume, wo, und auf einem Wechsel der Erscheinungsform, wie die an sich unveränderliche und unzerstörbare Kraft wirksam wird. — In der That, dies ist eine kurze Formulirung unseres Gesetzes.

Allein für die Meisten von Ihnen sind dies nur Worte ohne Begriffe. An Worte lässt sich trefflich glauben, vom Wort kann man kein Iota rauben — und wo Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein u. s. w. Hier wollen wir aber Mephisto's Recept: »Haltet euch an Worte«, nicht befolgen; denn zum Begreifen gehören Begriffe, und diese stammen aus der Erfahrung. Ich muss also etwas weiter ausholen, um verständlich zu sein, und zwar um so mehr, als ja die tägliche Erfahrung mit unserem Gesetze in schreiendstem Widerspruch zu stehen scheint, indem bekanntlich allenthalben die Vergänglichkeit und Zerstörbarkeit der Kraft uns entgegentritt. Die Kugel z. B., welche dem tödtlichen Rohr entfliegt und die Kraft besitzt, auf ihrem Wege

Alles zu zertrümmern, sie ist das unschuldigste Spielzeug, wenn sie endlich in der Scheibe stecken geblieben ist oder zu Boden gefallen dalegt. Die in ihren Wirkungen furchtbare Kraft, die sie besass, ist augenscheinlich verschwunden; ist sie nun vernichtet oder bleibt sie irgendwo und irgendwie erhalten — etwa an einem andern Orte und unter einer andern Erscheinungsform, an sich aber unzerstört und unvermindert, — ähnlich wie das Sauerstoffatom, welches, mit Wasserstoffatomen zu einem Wassermolecül verbunden, zwar in der Bildung eines neuen Körpers mit neuen Eigenschaften, des Wassers nämlich, seine Individualität aufgibt, dabei aber keineswegs vernichtet worden ist? Um dies zu beantworten, wollen wir einige andere Beispiele, welche gleichfalls einen Wechsel in der Erscheinungsform zeigen, näher betrachten.

Sie sehen hier eine kleine Maschine, ein Uhrwerk; lasse ich das Gewicht los, so geräth das Uhrwerk sofort in Bewegung. Die Schwere des Gewichts liefert also hier die Triebkraft. Sowie das Gewicht den Boden erreicht

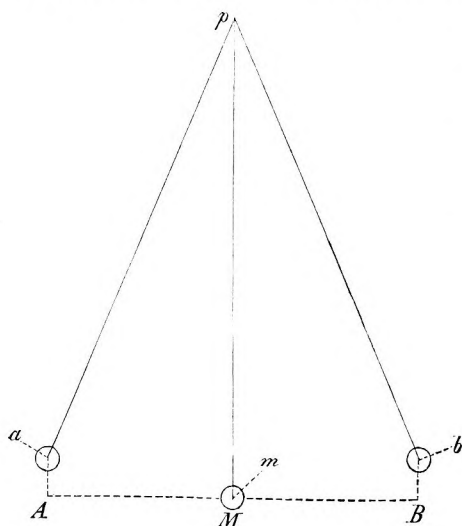


Fig. 3.

hat, so dass seine Schwere weiter zu wirken gehemmt ist, bleibt die Uhr stehen. das Uhrwerk ist, wie wir sagen, abgelaufen. Wollen wir es von Neuem in Gang bringen, so müssen wir das Gewicht heraufwinden, erst dadurch geben wir dem Gewichte die verlorene Triebkraft wieder zurück. Was beobachten wir also? Es sinkt das Gewicht und treibt dabei das Uhrwerk; indem es sinkt, verausgibt es also

scheinbar seine Triebkraft, die immer geringer wird, je mehr sich das Gewicht dem Boden nähert, die aber wieder hergestellt werden kann, wenn wir das Gewicht heben, d. h. wenn wir die Muskelkraft unseres eigenen Armes aufwenden. Was heisst das nun? Drängt sich Ihnen nicht die Vermuthung auf, dass die Kraft Ihrer Armmuskeln sich auf das Gewicht überträgt und sich da in die Triebkraft desselben unwandelt? dass wir also wohl einen Wechsel in der Form wie und im Orte

wo die Kraft in Erscheinung tritt, vor uns haben, dass aber die Kraft selbst sich unvermindert erhält?

Ein anderes Beispiel. Ein Pendelgewicht hängt, seiner Schwere folgend, ruhig senkrecht herab. Ziehe ich es unter Aufwand meiner Armmuskelkraft von seinem Ruhepunkt M (Fig. 3) nach der Seite, so beschreibt es einen Kreisabschnitt, und wenn ich es in einem Punkte desselben festhalte, in a zum Beispiel, so habe ich es um die Höhe Aa gehoben, und ihm, wie im vorerwähnten Falle, durch meine Muskelkraft Triebkraft mitgetheilt, die sich dadurch kund gibt, dass das Pendel, sobald es losgelassen wird, sich in Bewegung setzt, und zwar sinkt es jetzt nicht nur nach dem ursprünglichen Ruhepunkt M herab, sondern, beachten Sie wohl, anstatt in M angelangt daselbst stehen zu bleiben, wie es sein Gewicht erfordern würde, bewegt es sich nach der andern Seite hin und leistet in dieser Weise Arbeit, indem es die eigene Masse der Schwere entgegen bis zu jener Höhe hebt, auf welche es die Triebkraft meiner Muskeln zuerst gehoben hatte, bis zum Punkte b nämlich; denn die Höhe Bb ist gleich der Höhe Aa . Durch die Mittheilung oder Uebertragung meiner Muskeltriebkraft auf das Pendel habe ich hier also nicht nur die Triebkraft der Schwere im Pendel wieder hergestellt: es geschah weit mehr; denn das Pendel bewegt sich in Folge meiner aufgewendeten Kraft auch der Richtung seiner Schwere entgegen; es hebt sein eigenes Gewicht empor, scheint also in den Besitz einer neuen Triebkraft gelangt zu sein.

In der That wird diese Triebkraft in der Physik als Geschwindigkeit erlangter Bewegung bezeichnet, die durchaus nicht identisch ist mit der Triebkraft der Schwere oder irgend einer andern Triebkraft, die Sie noch kennen lernen werden, sondern es tritt dieselbe als Wirkung einer jeden Bewegung auf, gleichviel ob diese eine Aeusserung der Triebkraft der Schwere oder sonst welcher Triebkraft sei.

Ein eclatantes Beispiel dieser Geschwindigkeit bewegter Massen bietet Ihnen auch dieses Modell. Ich habe hier einen gegen die Richtung der Schwere aufsteigenden Wasserstrahl. Halte ich das kleine Schaufelrädchen in den Wasserstrahl, so wird es in lebhaftes Umdrehungen versetzt. Das Wasser besitzt hier Triebkraft, wie Sie sehen, sogar entgegen der Richtung seiner Schwere. Die Triebkraft des Wassers kann also nur aus der Geschwindigkeit stammen, die es erlangt hat. Ja, unsere Windmühlen, was anders treibt sie als die Geschwindigkeit der bewegten Luft? — Wer von Ihnen ein unterschlächtiges Mühlrad gesehen hat, weiss ferner, dass dasselbe unbewegt bleibt, so lange dem Wasser das Gefälle fehlt und es daher

nicht, wie auf das oberflächliche Mühlrad, als fallendes Gewicht wirken kann. Das Mühlrad bewegt sich dagegen sofort, wenn man eine andere Triebkraft aufgewendet hat, durch welche das Wasser eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, bevor es die eintauchenden Mühlradfächer füllt. Hier ist es also wieder nicht die Schwere oder das Gewicht des sinkenden Wassers, sondern die erlangte Geschwindigkeit desselben, welche die Triebkraft für das Rad liefert.

Bei der grossen Bedeutung, welche die Triebkraft bewegter Massen für uns hat, will ich, zum vollkommeneren Verständniss derselben, Ihnen noch folgenden Versuch an der ARWOOD'schen Maschine zeigen. Sie sehen hier eine Rolle auf diesem Gestelle. Ueber dieselbe geht ein Faden, an dessen beiden Enden Gewichte hängen, die genau gleich schwer sind. Sie halten sich daher im Gleichgewicht, es herrscht Ruhe. Legen Sie nun ein kleines Gewicht auf das eine oder andere der beiden Gewichte auf, so wird der Ruhezustand des Gleichgewichtes gestört und es entsteht sofort Bewegung im Sinne und in der Richtung des aufgelegten Uebergewichtes: das belastete Gewicht fällt mit beschleunigter Geschwindigkeit, während das unbelastete in derselben Weise aufsteigt. Die Schwerkraft des Uebergewichtes äussert sich hier in Form von Bewegung, und indem diese Kraftäusserung continuirlich vorhanden ist, so muss die Geschwindigkeit der Bewegung fortwährend zunehmen. In der That, in jedem Augenblick ist die erlangte Geschwindigkeit der bewegten Massen grösser als im vorhergehenden. Was geschieht nun aber, wenn plötzlich das aufgelegte Uebergewicht von dem mit beschleunigter Geschwindigkeit fallenden Gewichte abgehoben und damit also jene Kraft ganz entfernt wird, welche die ganze Bewegung herbeigeführt hat? Sie können dies bewerkstelligen, wenn Sie das belastete Gewicht durch einen Ring gehen lassen, auf welchem das hervorstehende Uebergewicht liegen bleibt. Von dem Momente ab, wo das Uebergewicht abgehoben und die die Bewegung erzeugende Schwerkraft aus dem Apparate entfernt wird, hört wohl die weitere Beschleunigung der Bewegung auf, nicht aber die Bewegung selbst. Die Geschwindigkeit der Bewegung, welche die Massen als Wirkung der nunmehr eliminirten Schwerkraft in dem Momente bereits erlangt hatten, wo das Uebergewicht abgehoben wurde, äussert sich nunmehr selbst als Bewegungsursache und überwindet noch eine Zeit lang den Widerstand der entgegenstehenden Kräfte, bis sie allmählich immer mehr und mehr verzögert, endlich gleich Null wird, und Alles zur Ruhe kommt. Was nun hier nach Entfernung der ursprünglichen Triebkraft, — der zwischen dem Uebergewicht und der Erde

herrschenden Anziehungskraft nämlich, — die bewegten Massen in Bewegung erhält und treibt, nennt man eben die Geschwindigkeit bewegter Massen. Sie erfahren somit auf's deutlichste, dass die als Triebkraft thätige Geschwindigkeit bewegter Massen zwar keine besondere, dem Stoffe inhärirende Kraft, sondern nur die übriggebliebene Wirkung einer solchen ist; dass aber diese Wirkung zur Ursache neuer Wirkungen werden kann, auch wenn die ursprüngliche Kraft gar nicht mehr dabei theilhaftig ist.

Dass ferner auch diese Form der Triebkraft in dem Maasse abnimmt, als sie wirkliche Arbeit leistet, und schliesslich völlig verschwindet, gerade so wie die Triebkraft des gehobenen Gewichtes, wenn es sinkend Arbeit leistet, sehen Sie deutlich bei meinem Versuch mit dem Springbrunnen. Sobald der Wasserstrahl Arbeit leistet, indem er das Rädchen treibt, springt er nicht mehr gleich hoch, wie wenn er frei in der Luft aufsteigt. Indem nämlich die erlangte Geschwindigkeit des bewegten Wassers sich als Triebkraft dem Rädchen mittheilt, wird sie kleiner und kleiner und geht dem Wasser allmählich ganz verloren; das Wasser gelangt dadurch früher, also in geringerer Höhe als beim freien Springen, zur Ruhe und fällt dann, dem Zuge der Schwere folgend, zu Boden. Es gibt eben keine Arbeitsleistung ohne Verlust von Triebkraft, in welcher Form die Triebkraft immer erscheinen mag.

Allein kehren wir zu unserm Pendelgewichte zurück, an dem wir die Geschwindigkeit bewegter Massen zuerst wahrgenommen haben. Nachdem es, seiner Schwere folgend, beim Punkte M eingetroffen ist, leistet es, wie wir sahen, noch Arbeit, die mit der Triebkraft des gehobenen Gewichtes nichts gemein hat, sondern der Richtung der Schwere entgegengesetzt, die eigene Masse wieder in die Höhe hebt. Wie das Gewicht zuerst mit stets zunehmender Geschwindigkeit von A nach M gesunken ist, so steigt es von da an mit stets abnehmender Geschwindigkeit von M auf b wieder hinan. Dort zur Ruhe gelangt, geräth es im nächsten Augenblick wieder in Bewegung, weil es durch Aufwendung seiner Triebkraft in Form von Geschwindigkeit die ursprüngliche Triebkraft in Form eines gehobenen Gewichtes wieder erlangt hat. Sie sehen hier, wie die beiden Formen der Triebkraft, die des gehobenen Gewichtes und die der Geschwindigkeit einer bewegten Masse, unmittelbar in einander übergehen. — In den Punkten a und b hat die Masse des Gewichtes keine Geschwindigkeit, sie ist aber um $Aa = Bb$ gehoben und kann daher ihre Schwere als Triebkraft manifestiren, insofern sie fallen kann. Im Punkte M , wo sie sich am Ende des Fallraumes befindet, ist sie zwar nicht mehr

gehoben, besitzt aber dafür Geschwindigkeit, also Triebkraft in anderer Form. Auf dem Wege von a oder b nach M setzt sich die Triebkraft des gehobenen Gewichtes in Geschwindigkeit um, auf dem Wege von M nach a oder b umgekehrt, Triebkraft der Geschwindigkeit in die Triebkraft eines gehobenen Gewichtes.

Dies ist nun wieder ein schönes Beispiel der Erhaltung der Kraft bei fortwährendem Wechsel der Erscheinung.

Freilich können Sie einwenden, dass die Erhaltung der Kraft augenscheinlich keine vollständige sei; denn allmählich würden ja die Schwingungen des Pendels immer kleiner und schwächer und schliesslich bleibt das Pendel in Ruhe. Allein gemacht, die Triebkraft scheint uns allerdings verschwunden; ja, aber sie ist nur aus dem Gewichte verschwunden; sie ist nicht vernichtet, sie bleibt erhalten und wir werden sie in unveränderter Quantität wiederfinden lernen, aber allerdings an einem andern Orte und in einer andern Form. Schreiten wir nur geduldig und steten Schrittes auf dem Wege der Beobachtung fort, es wird uns unvermerkt an's Ziel bringen.

Wenden wir uns zunächst von der Schwere zur Betrachtung einer andern Naturkraft, zu jener der elastischen Körper, welche in ganz derselben Weise wie die Schwere Triebkraft für Maschinen liefern kann.

Das populärste Beispiel bieten unsere Taschenuhren, bei welchen bekanntlich die nöthige Triebkraft statt durch gehobene Gewichte, durch gespannte stählerne Federn aufgebracht wird. Und gleich wie eine gewisse Quantität einer Triebkraft, die unsere Armmuskeln lieferten, aufgewendet werden musste, um das am Boden liegende Gewicht zu heben und erst durch die erfolgte Herstellung eines Zwischenraumes zwischen der Erde und dem Gewichte, dem letztern die Möglichkeit ertheilt ward zu sinken und im Sinken Arbeit zu leisten, ebenso bedarf es eines Aufwandes einer bestimmten Triebkraft, um einen elastischen Körper zu spannen, d. h. die unmessbar kleinen Zwischenräume zwischen den Molecülen desselben durch Zug zu verändern und durch diese Vergrösserung es, wie beim gehobenen Gewichte den groben Massen oder Molen, so hier den Molecülen zu ermöglichen, dass sie, ihrer Anziehungskraft, Cohäsion, folgend, sich nähern, gegeneinander fallen und dabei Arbeit leisten. Ich habe hier einen elastischen Kautschukstreifen, der durch einen Hebel mit diesem Räderwerk in Verbindung steht. Um das Räderwerk in Gang zu bringen, muss ich den Streifen spannen oder dehnen, d. h. ich muss eine gewisse Quantität Muskelkraft verbrauchen, um die Cohäsion,

welche die Molecüle des Kautschuks zusammenhält, zu überwinden; ähnlich wie wir's beim ruhenden Gewichte thun mussten, um die Attraction zwischen ihm und der Erde zu überwinden. Die hierzu aufgewendete Muskelkraft wird dabei nicht vernichtet, sondern sie ändert nur ihre Erscheinungsweise und ihren Ort im Raume, indem sie sich auf den gedehnten Kautschukstreifen so zu sagen überträgt, der dadurch, analog dem gehobenen Gewichte, zu einer Triebkraft gelangt, und wir lernen daher eine neue Art mechanischer Triebkraft kennen, die Spannung elastischer Körper.

Die Analogie in der Action der beiden Triebkräfte ist, wie ersichtlich, eine auffällige. Sowie das Gewicht sinken muss, wenn seine Schwerkraft als Triebkraft wirklich Bewegung erzeugen soll, ebenso muss der gespannte Kautschukstreifen sich entspannen, um das Räderwerk in Bewegung zu versetzen. In beiden Fällen verkleinern sich die früher durch die aufgewendete Muskelkraft hergestellten Zwischenräume, indem die Molecüle des elastischen Streifens ebenso gegeneinander fallen wie das Gewicht zur Erde fällt. In beiden Fällen wird die Triebkraft allmählich verausgabt und ist vollständig aus dem Gewichte und dem Kautschukstreifen verschwunden, wenn jenes am Boden liegt und dieser seine ursprüngliche Gleichgewichtsgestalt angenommen hat. Das Räderwerk bleibt stehen, — um es neuerdings in Bewegung zu setzen, müssten Sie dem Kautschukstreifen durch abermalige Dehnung seine Triebkraft zurückgeben. Also auch hier die Eigenheit der Triebkraft, durch wirklich geleistete Arbeit erschöpft zu werden; auch hier die Möglichkeit ihrer Wiederherstellung durch Aufwendung einer neuen Quantität einer andern Triebkraft.

Die Analogie reicht indess auch noch weiter; denn auch die Beziehung zu und der Zusammenhang mit der Triebkraft in Form von Geschwindigkeit sind bei der Triebkraft, welche ein gespannter elastischer Körper besitzt, genau dieselben wie bei der Triebkraft des gehobenen Gewichtes. Ein einfacher Versuch überzeugt Sie hiervon. Biege ich einen langen elastischen Metallstab nach der Seite und lasse ihn hierauf plötzlich los, so sehen Sie, wie er hin und her schwingt, gerade so wie vorhin das Pendel. Allerdings ist hier eine andere Kraft im Spiele; beim Pendel war es die Schwerkraft, hier ist es die Cohäsion elastischer Körper, welche als unmittelbare Bewegungsursache wirksam ist. In mechanischem Sinne ist jedoch hier wie dort der Vorgang genau derselbe. Hier wie dort sehen Sie, wie eine bestimmte Quantität einer fremden Triebkraft, der Kraft der Armmuskeln, aufgewendet wird, um an den Apparaten Veränderungen hervorzubringen, welche dort dem Pendelgewichte, hier dem elasti-

schen Stabe eine Triebkraft verleihen, und Sie sehen ferner, wie dieser mitgetheilte Vorrath an Kraft in beiden Fällen abwechselnd zwei verschiedene, ineinander sich verwandelnde Erscheinungsformen annimmt.

Die eine Erscheinungsform der Kraft ist beim Pendel die Triebkraft eines gehobenen Gewichtes, beim schwingenden Metallstab die Triebkraft eines gespannten elastischen Körpers; — die andere Erscheinungsform hingegen ist in beiden Fällen, beim Pendel wie beim Metallstab, dieselbe, nämlich die Geschwindigkeit bewegter Massen.

Man nennt die erste Erscheinungsform von dem Verhalten gespannter elastischer Körper, Spannkraft oder potentielle Energie, um damit jenen Zustand oder jene Form der Triebkraft scharf zu bezeichnen, wenn dieselbe zwar irgendwo vorhanden ist, aber die ihr mögliche Arbeit noch nicht thatsächlich leistet, d. h. wenn sie noch keine wirkliche Bewegung oder Veränderung erzeugt, — im Gegensatze zur zweiten Erscheinungsform, welche die lebendige Kraft oder actuelle Energie genannt wird, weil bei ihr, als im Zustande bewegter Massen, die Triebkraft bereits wirkliche Bewegung erzeugt, wirkliche Bewegung leistet.

Den gegenseitigen Umsatz der beiden Erscheinungsformen, die Umwandlung von Spannkraft in lebendige Kraft oder, was dasselbe ist, von potentieller in actuelle Energie, von möglicher Arbeitsleistung in wirkliche, und umgekehrt, können wir an dem schwingenden elastischen Stabe genau in derselben Weise beobachten, wie vorhin beim Pendel. Hier wie dort erscheint der Gesamtvorrath an Triebkraft oder die totale Energie, welche ich durch den Aufwand meiner Muskelkraft den Massen mitgetheilt habe, zuerst ganz in Form von Spannkraft, die sich aber, sobald ihr dies gestattet ist, sofort in lebendige Kraft zu verwandeln beginnt. Dabei spaltet sich die totale Energie in zwei Theile: der eine Theil, der immerfort kleiner wird, wenn das Gewicht fällt, der Metallstab sich entspannt, ist noch Spannkraft, der andere, der fortwährend wächst, ist schon lebendige Kraft geworden und hat Bewegung oder Geschwindigkeit erzeugt. In dem Maasse als die Spannkraft verschwindet, nimmt die lebendige Kraft zu; im Halbirungspunkte der Schwingungsbahn ist die Spannkraft gleich Null, sie erscheint vollständig verbraucht und in lebendige Kraft umgesetzt. Deshalb kann der ganz entspannte Metallstab ebenso wenig stehen bleiben, wie das in dem Ruhepunkt *M* angekommene Pendel. Beide besitzen im betreffenden Momente die ihnen mitgetheilte Triebkraft oder Energie in Form von erlangter Geschwindigkeit, welche fähig ist, Arbeit zu leisten. Diese Arbeit besteht darin, dass

durch Aufwand seiner eigenen lebendigen Kraft das Pendelgewicht gehoben, der Stab wieder gespannt wird, so dass im gehobenen Gewicht, wie im gespannten Stab die lebendige Kraft wieder in Spannkraft umgesetzt erscheint. Pendel und Stab gelangen am anderen Ende der Schwingungsbahn zur Ruhe, weil die lebendige Kraft gleich Null geworden ist; doch beginnen sie ihre Bewegung sofort von Neuem, indem die Spannkraft sich wieder in lebendige Kraft verwandelt. Sie ersehen hieraus, dass der gesammte Kraftvorrath oder die totale Energie, welche ich dem schwingenden Metallstab, wie vorhin dem Pendel mitgetheilt habe, an jedem Punkte der Schwingungsbahn eine Summe von Spannkraft und lebendiger Kraft, oder was dasselbe, von potentieller und actueller Energie ist. Die beiden Summanden ändern fortwährend in entgegengesetztem Sinne ihre Werthe. An den beiden Enden der Schwingungsbahn ist die totale Kraft Spannkraft, während die lebendige Kraft gänzlich fehlt; im Halbirungspunkte dagegen ist die gesammte Kraft lebendige Kraft, und die Spannkraft fehlt; an jedem andern Punkte der Bahn ist die totale Energie die Summe von so viel Spannkraft als noch nicht verbraucht ist, und von so viel lebendiger Kraft als der bereits verbrauchten Spannkraft entspricht, oder umgekehrt von so viel lebendiger Kraft, als noch nicht verbraucht ist, und von so viel Spannkraft als der bereits verbrauchten lebendigen Kraft entspricht.

Ich habe mich so lange bei dieser Erörterung aufgehalten, weil es mir dadurch erst möglich geworden ist, Ihnen den Sinn des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft ausserordentlich klar zu formuliren; denn erst jetzt können Sie mich vollkommen verstehen, wenn ich sage: nach diesem Gesetze muss immer und unter allen Umständen für das Quantum Spannkraft, welches verschwindet, ein äquivalentes, d. h. gleich grosses Quantum lebendiger Kraft auftreten, welches, in entgegengesetzter Richtung aufgewendet, dasselbe Quantum von Spannkraft wieder herstellt. Es bleibt sich somit die Summe dieser beiden Grössen oder die totale Energie, d. h. der gesammte Kraftvorrath, durch das ganze Universum stets gleich.

Jetzt begreifen Sie auch ganz und gar, dass es ebenso unmöglich ist, Kraft oder Arbeit zu erschaffen als zu vernichten, und sind so der Ansicht näher gekommen, dass alle die mannigfachen Umwandlungen in der That einzig und allein in einem Wechsel der Triebkraft oder Energie bezüglich ihres Ortes im Raume und ihrer Erscheinungsformen bestehen.

Allerdings lässt sich nicht läugnen, dass, wie beim Pendel so auch beim schwingenden Metallstab, dieser Wechsel der Triebkraft oder Energie im Raume und im Erscheinungsmodus dem Gesetze von der unverminderten Erhaltung der Kraftmenge zu widersprechen scheint. Wie das Pendel nämlich nach einer gewissen Zeit zur Ruhe gelangt, ähnlich hören auch die Schwingungen des Metallstabes allmählich völlig auf. Bei der Umsetzung der Spannkraft in lebendige Kraft und umgekehrt herrscht also augenscheinlich eben keine strenge Aequivalenz, d. h. beim Verschwinden eines bestimmten Quantums Spannkraft entsteht stets etwas weniger lebendige Kraft, und für die aufgewendete lebendige Kraft immer ein etwas kleineres Quantum von Spannkraft, so dass endlich die Summe beider oder die totale Energie gleich Null wird. Doch ich kann hier blos wiederholen, dass dieser Widerspruch mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft ein nur scheinbarer ist, und dass wir die dem Anschein nach vernichtete Kraft an einem andern Orte im Raume und in anderer Erscheinungsform, aber in unverminderter Quantität wiederfinden lernen werden!
