



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

**Spiller, Philipp**

**Berlin, 1865**

Dritter Abschnitt. Von den Kräften im Allgemeinen.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75469](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75469)

Ein Punkt des Erdäquators bei der Aendrehung . . . . .	1431,5	"
Eine 24pfündige Kanonenkugel . . . . .	2300	Fuß
Die Erde in ihrer Bahn um die Sonne . . . . .	4	Meilen,
Das Licht fast . . . . .	42000	"
Die Elektrizität in einem Kupferdrahte bis . . . . .	62000	"

Weiß man die Geschwindigkeit eines Körpers und die zu seiner Bewegung erforderliche gewesene Zeit, in Sekunden, so gibt das Produkt aus beiden den zurückgelegten Weg. Ist z. B. eine Brieftaube mit einer Geschwindigkeit von 120' eine Stunde geflogen, so ist der von ihr zurückgelegte Weg  $60 \cdot 60 \cdot 120 = 432000$  Fuß oder 18 Meilen.

Heißt die in Sekunden ausgedrückte Zeit  $Z$ , die Geschwindigkeit  $G$ , so ist der zurückgelegte  $W = Z \cdot G$ .

### Dritter Abschnitt.

#### Von den Kräften im Allgemeinen.

##### Begriff der Kraft.

Wenn ein Körper seine Gestalt oder seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung ändert, so muß stets eine Ursache dazu vorhanden sein, und diese Ursache nennen wir Kraft. Ein kugelförmiger Gummiball z. B. bekommt nicht von selbst eine Vertiefung, er setzt sich nicht von selbst in Bewegung, wenn er auf einer horizontalen Diele liegt, er bleibt nicht von selbst an einem gewünschten Punkte seiner Bahn stehen, wenn er sich bewegt, sondern es ist in allen diesen Fällen eine Kraft dazu nöthig, und so ist es in allen anderen Fällen.

Wenn ein kleines Volumen Schießpulver beim Verbrennen in ein großes Volumen Luft sich verwandelt; wenn ein Baum während seines Wachstums mit den Wurzeln Felsenstücke absprengt; wenn das Wasser, welches ein abgesperrtes Gefäß füllt, dasselbe bei seiner Verwandlung in Eis zersprengt; wenn die kleinen Termiten ihre 10 bis 12 Fuß hohen kegelförmigen Wohnungen bauen; wenn der Dampf, das Wasser, die Luft, das Gewicht eines Körpers Maschinen in Bewegung setzen; wenn wir nach unserem Willen die Gliedmaßen bewegen und auf diese Weise selbst Veränderungen von Zuständen erzeugen können: so sind dieses Alles Aeußerungen von Kräften, die an sich wohl unsichtbar, oder überhaupt etwas Abstraktes sind; aber nie ohne Zusammenhang mit einem Stoffe erscheinen können. Wir können also die Behauptung aufstellen, daß es ohne Stoff keine Kraft gibt.

In der Physik betrachten wir solche Kräfte nicht, welche die Natur der Körper verändern oder welche die Ursache der organischen Lebensthätigkeit sind, denn sie gehören in die Chemie und Physiologie; sondern nur die Kräfte, welche das Wesen der Stoffe nicht verändern.

Die Werkzeuge, durch welche wir uns die Naturkräfte dienstbar machen, heißen Maschinen oder Motoren; sie sind solche, bei denen 1) die Menschen- oder Thierkraft in Anwendung kommt, 2) Dampf- motoren, 3) Wassermotoren (Wassermühlen, Wassersäulenmaschinen, hydraulische Widder, Turbine), 4) Luftmotoren (Windmühlen, calorische Maschinen, Gasmaschinen), 5) magnetoelektrische Motoren.

### Bewegungsgröße.

Es entsteht nun die Frage, in welcher Beziehung die Kraft zum Stoffe steht. Wenn wir das, was sich nicht selbst in Bewegung setzt, Masse nennen, so werden gleiche Massen der Bewegung einen gleichen Widerstand entgegen setzen, und wir werden gleicher Kräfte bedürfen, um ihnen gleiche Geschwindigkeiten zu ertheilen. Liegen zwei 80pfündige eiserne Kugeln auf der horizontalen Diele, so werden die Muskelkräfte, welche erforderlich sind, um jede in einer Sekunde einen Fuß hoch zu heben, oder jede in der ersten Sekunde durch drei Fuß zu rollen, gleich sein.

Die doppelte Masse oder eine doppelte Menge von Stofftheilchen einer gewissen Art und Größe bedarf auch einer doppelten Kraft, um ihr die Geschwindigkeit der einfachen Masse zu geben, weil ja jedes Stofftheilchen an der Bewegung theilnehmen soll und jedes einer gleichen Anregung bedarf. So ist es weiter für jedes andere Massenverhältniß, so das wir sagen können:

die Kräfte verhalten sich wie die Massen, welchen sie gleiche Geschwindigkeit ertheilen.

Eine bestimmte Kraft wird einer bestimmten Masse auch nur eine bestimmte Geschwindigkeit zu ertheilen im Stande sein; sollte die Geschwindigkeit verdoppelt werden, so dürfte nur die halbe Masse vorhanden sein, oder es müßte bei der ursprünglichen Masse die Kraft verdoppelt werden, und so können wir überhaupt sagen:

die Kräfte verhalten sich wie die Geschwindigkeiten, wenn sie gleichen Massen ertheilt werden sollen.

Aus den beiden aufgestellten Gesetzen ergibt sich nun, daß das Verhältniß zweier Kräfte aus den geraden Verhältnissen der Massen und der ihnen ertheilten Geschwindigkeiten zusammengesetzt ist, oder allgemein das Gesetz:

daß sich die Kräfte verhalten wie die Produkte der Massen und ihrer Geschwindigkeiten.

Wir müssen somit auf gleiche Kräfte zurückschließen, wenn die Produkte der Massen und der ihnen zukommenden Geschwindigkeiten gleich sind.

Wird einer dreifachen Masse die doppelte Geschwindigkeit von der,

welche die einfache Masse besitzt, ertheilt; so kann dies nur von einer Kraft geschehen sein, die das Sechsfache der ersten ist.

Wenn zwei Kräfte vorhanden sind, von denen die eine die Masse 3 auf die Geschwindigkeit 4 bringt, während die andere die Masse 6 zur Geschwindigkeit 2 anregt; so müssen wir diese Kräfte als gleich ansehen. Statt dessen könnten auch die Massen 4 und 2 die Geschwindigkeiten beziehungsweise 3 und 6 haben. In solchen Fällen, d. h. für gleiche Kräfte, verhalten sich die Massen stets wie umgekehrt die Geschwindigkeiten.

Es hängt also die Kraft eines bewegten Körpers von dem Produkte, aus seiner Masse und Geschwindigkeit ab und dieses Produkt heißt seine Bewegungsgröße.

### Dauer und Stärke der Einwirkung einer Kraft.

Zur Entwicklung der obigen Gesetze ist die Vorstellung festzuhalten, daß die Kräfte zu ihrer Einwirkung auf den zu bewegenden Körper nur eines außerordentlich kleinen, gewissermaßen untheilbaren Zeittheilchens bedürften und dann zu wirken aufhörten. Annähernd würde dies z. B. der Fall sein, wenn beim Abschießen eines Gewehres die Kugel an dem äußersten Punkte des Laufes angelangt ist und nun durch die Kraft der im Laufe enthaltenen Gase fortgeschleudert wird oder wenn ein Billardspieler einen Ball recht geschickt stößt ohne im Geringsten mit dem Stabe hinter ihm herzufahren.

Kräfte, welche in dieser Weise wirken, heißen momentane und sie treiben, wenn es andere Kräfte nicht verhindern, das Bewegliche, ohne daß es eines neuen Antriebes bedarf, in gleichen Zeiten durch gleiche Wege oder ertheilen ihm in alle Ewigkeit eine gleichmäßige Geschwindigkeit.

Daß eine auf der Kugelbahn hingeworfene Kugel ihre ursprüngliche Geschwindigkeit nicht behält, sondern immer langsamer geht, liegt nur daran, daß sie theils an der Luft, welche sie beim Vorwärtsgen aus dem Wege drängen muß, theils an den Unebenheiten der Bahn, und wäre sie auch noch so sorgfältig bereitet, Widerstände findet.

Man kann sich ferner eine Kraft denken, welche zu wirken niemals aufhört und dann heißt sie eine fortwährende oder kontinuierliche. Ist z. B. das Gehegewicht einer Wanduhr aufgezogen, so wirkt es während seines Fallens fortwährend als bewegende Kraft auf das Uhrwerk. Ebenso wirkt stets fließendes Wasser auf das von ihm getroffene Mühlrad als kontinuierliche Kraft.

Wenn die Geschwindigkeit und die Menge des ein Mühlrad stoßenden Wassers fortwährend dieselbe bliebe, so hätten wir ein Beispiel von einer sich gleichbleibenden beständigen oder konstanten Kraft.

Eine fortwährend wirkende Kraft können wir uns aber auch noch in der Zu- oder in der Abnahme begriffen, also veränderlich denken, wie wenn der Wind mit größer oder geringer werdenden Geschwindigkeit auf die Flügel einer Windmühle trifft. Diese Veränderlichkeit kann nun noch eine in bestimmten Regeln sich haltende oder eine unregelmäßige sein.

Endlich kann noch die Richtung der Kraft in Beziehung auf die Richtung des bereits in Bewegung begriffenen Körpers fortwährend dieselbe sein oder fortwährend sich ändern.

Aus dem Zusammentreffen dieser verschiedenen Umstände entstehen die bereits früher erwähnten verschiedenen Arten von Geschwindigkeiten und Bewegungen, worauf wir aber erst bei den einzelnen Erscheinungen näher eingehen werden, um dem Verständnisse nicht unnütze Schwierigkeiten zu bereiten.

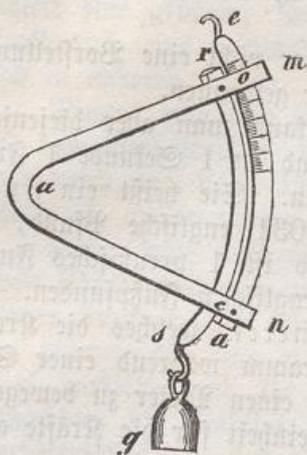
Nur dann, wenn Kräfte entweder augenblicklich (momentan) oder während gleicher Zeiten beständig (konstant) wirken, verhalten sie sich wie die Bewegungsgrößen.

### Maß der Kräfte.

Die Bewegung ist nichts Körperliches, sie ist ohne Körper kraftlos; die Kraft ist also, wie wir wissen, von dem Körper unzertrennlich. Es liegt nun im praktischen Leben das Bedürfnis nahe, die Größe der Kräfte beurtheilen zu können. Dies sind wir nur dann im Stande, wenn wir Maße für sie annehmen, denen selbst wir eine ganz bestimmte Vorstellung zum Grunde legen.

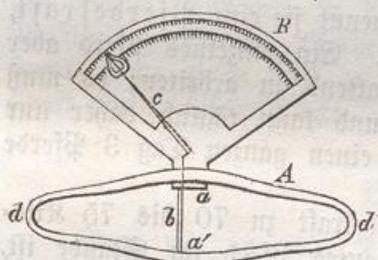
Wenn wir die Kraft eines Menschen wollen kennen lernen, so können wir hierbei verschiedene Zwecke im Auge haben; z. B. wie viel er dem Gewichte nach auf dem Kopfe, auf den Schultern, auf dem Rücken, in der Hand während einer gewissen Zeit und durch einen gewissen Weg zu tragen im Stande ist, oder welche Kraft er beim Schlagen mit der Faust ausübt, oder wie viel er Last auf irgend eine Weise zu ziehen vermag, oder wie groß der Widerstand ist, der beim Hobeln, Feilen, Sägen, Pumpen, beim Ziehen z. B. eines Pfluges in verschiedenem Erdboden bei bestimmter Tiefe dargeboten wird und zu überwinden ist. Alle diese Angaben sind aber zu unbestimmt, als daß man mit ihnen andere Kräfte genau vergleichen und ihren Werth bestimmen könnte.

Man hat allerdings zur Beurtheilung solcher Verhältnisse verschiedene Kraftmesser oder Dynamometer angegeben. Ein ganz einfacher besteht aus einer starken winkelförmig gebogenen Stahlfeder man (Fig. 16); gegen die Oeffnung des Winkels sind zwei bogenförmige Metallstreifen  $ae$  und  $sr$  angebracht, von denen der erstere an dem Schenkel  $un$  bei  $a$ , der andere an dem Schenkel  $um$  bei  $r$  befestigt ist; das andere Ende dieser Streifen geht lose durch Schlitze der Stahlfeder



(Fig. 16.)

verschiedenen Arbeitsmaschinen anbringen, um die Größe der dabei wirkenden Kräfte zu beurtheilen.



(Fig. 17.)

Ein für den Druck und Zug eingerichteter Kraftmesser ist der von Régnier Fig. 17. Er besteht aus einem länglich runden Stahlbügel A, der kleinere Durchmesser ist ein Stäbchen b, welches an dem einen Ende festsetzt und mit dem anderen auf einen drehbaren Zeiger c stößt, dessen Ende einen eingetheilten Kreisquadranten B trifft.

Will man die Muskelkraft der Hände prüfen, so umfaßt man das Instrument quer, drückt es zusammen, wodurch die Punkte a und a' einander näher kommen und der Zeiger c durch das Stäbchen b fortgeschoben wird. — Will man die Zugkraft z. B. der Schenkel bestimmen, so befestigt man es bei d, bringt bei d' einen Riemen zum Ziehen an, wodurch die Feder um so mehr in die Länge gezogen und um so schmäler wird, je kräftiger der Zug wirkt.

Die Kraft der Hände eines erwachsenen Mannes beträgt durchschnittlich 90 bis 100 Pfunde, die Zugkraft der Schenkel aber mindestens 300 Pfunde; bei Manchen bis 1000 Pfunde.

Nach vielen in England angestellten Versuchen beträgt die Kraft eines guten Pferdes beim Ziehen eines Pfluges durchschnittlich 163 englische Pfunde mit einer Geschwindigkeit von 2,5 englischen Meilen in einer Stunde.

Wenn die Tragfähigkeit eines Menschen 1 gesetzt wird, so trägt ein starker Hund auch 1, das Rennthier 3, ein Esel 4, ein Pferd oder Maulthier 8, ein Dromedar 25, ein Kamel 31, ein Elephant 147.

Für das horizontale Ziehen sind die relativen Kräfte; der Mensch 1,

Spiller, Physik.

der Hund 0,6, das Rennthier und der Esel 2, das Maulthier und das Pferd 7, der Ochse 4 bis 7.

Durch solche Angaben ist aber noch immer nicht eine Vorstellung von der absoluten Leistungsfähigkeit einer Kraft gewonnen.

Als ein Maß für die Kräfte überhaupt kann man aber diejenige Kraft ansehen, welche im Stande ist, 1 Pfund in 1 Sekunde 1 Fuß hoch mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zu heben. Sie heißt ein Fußpfund. — Da 1 preussisches Pfund = 1,031 englische Pfund, 1 preussischer Fuß = 1,029 englische Fuß ist; so ist 1 preussisches Fußpfund gleich  $1,031 \times 1,029$  d. i. = 1,061 englischen Fußpfunden. — In Frankreich hat man das Millegrammometer, welches die Kraft bedeutet einen Widerstand von einem Millegramm während einer Sekunde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch einen Meter zu bewegen, oder auch das Kilogrammometer als Maßeinheit für die Kräfte angenommen.

Um für Maschinen von bedeutender Wirksamkeit nicht allzugroße Zahlen zu bekommen, nimmt man noch eine größere Krasteinheit an, nämlich eine Kraft, welche 500 Pfunde binnen 1 Sekunde 1 Fuß hoch mit gleichmäßiger Geschwindigkeit hebt und nennt sie eine Pferdekraft, wozu im Mittel 6 Menschenkräfte gehören. Ein einzelnes Pferd aber ist nicht im Stande mit dieser Kraft anhaltend zu arbeiten; es muß nach 2 Arbeitsstunden 4 Stunden ruhen und kann täglich daher nur 8 Stunden so arbeiten, so daß man für einen ganzen Tag 3 Pferde oder 18 Menschen zum Abwechseln bedarf.

In Frankreich nimmt man eine Pferdekraft zu 70 bis 75 Kilogrammometern an oder nimmt an, daß ein gutes Pferd im Stande ist, während jeder Sekunde einen Widerstand von 70 Kilogrammen durch den Raum von einem Meter zu überwinden.

Die Leistungen von Dampfmaschinen werden in der Regel nach Pferdekraften angegeben; nur daß man dabei eine Pferdekraft zu 75 Kilogrammometern annimmt; aber man kann ihre Wirkungen, wie wir sehen werden, auch aus der Menge des verbrauchten Wassers oder des Feuerungsmaterials beurtheilen, welches für sie das Futter ist, wie der Hafer und das Heu fürs Pferd, durch deren Verwandlung es ja auch seine Kraft bekommt. Es ist nicht weniger unpassend, wenn man sagt: das Futter des Pferdes zieht den Wagen, als wenn es heißt: der Dampf bewegt den Eisenbahnzug.

Wenn eine bestimmte Masse nicht durch eine momentane, sondern durch eine bestimmte, fortwährend wirkende und sich gleichbleibende Kraft nach einer Sekunde eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hat, so kann auch diese Geschwindigkeit als Maß für die beschleunigende Kraft dienen. Wenn man z. B. mit der Hand an dem Umfange eines um seine Are drehbaren Rades in gleichen Zeittheilchen gleich starke Drehungsstöße macht, so hat das Rad z. B. nach 1 Sekunde eine gewisse Geschwindigkeit;

werden ebenso viele kräftigere Stöße gemacht, so ist auch die Geschwindigkeit eine größere, stets indeß für eine bestimmte dauernd wirkende Kraft auch eine bestimmte. Ebenso ist es beim Fallen eines Körpers und in anderen Fällen.

Nimmt man nun für verschiedene Kräfte dasselbe Maß an, so läßt sich das Verhältniß derselben entweder durch zwei unbenannte Zahlen oder durch zwei grade Linien ausdrücken, welche anzeigen, wie oft diese Kräfte die angenommene Maßeinheit in sich enthalten.

Hätte man zwei momentan wirkende Kräfte, von denen die eine einen Körper während einer Sekunde durch 3 Fuß, die andere denselben Körper durch 4 Fuß triebe, so würde man zwei grade Linien zeichnen, von welchen die eine eine ganz beliebige Maßlinie 3mal, die andere 4mal enthielte und ihr Verhältniß stellt das der beiden Kräfte dar. Jenachdem die Maßlinie klein oder groß ist, sind es auch die beiden Verhältnißlinien. Hat man nun noch eine beliebige dritte Linie, die eine auf dasselbe Maß sich beziehende Kraft darstellt; so kann man leicht die wirkliche Größe der durch diese Linie dargestellten Kraft bekommen. Man darf nämlich nur untersuchen, wie oft die für die Kräfteinheit angenommene Maßlinie in der dritten Linie enthalten ist. Stellte die Maßlinie z. B. eine Pferdekraft dar, und wäre sie in der dritten Linie 5mal, ohne einen Rest zu lassen, enthalten; so stellte diese Linie eine Kraft von 5 Pferden dar.

### Lebendige Kraft.

Wenn wir an einer Schnur ein Stück Metall oder einen anderen Körper so halten wollen, daß er in Ruhe ist, so müssen wir eine nach oben wirkende Ziehkraft anwenden, welche gleich ist der nach unten wirkenden Kraft des Körpers. Es halten dann die beiden gradlinig entgegengesetzt wirkenden Kräfte einander das Gleichgewicht. Der angehängte Körper zeigt unstreitig eine Kraft, aber diese Kraft verrichtet keine Arbeit, oder sie bringt keine Veränderung in der Gestalt und dem Zustande eines anderen Körpers hervor.

Wenn aber die haltende Kraft den Körper aufwärts bewegt, so ist sie eine Arbeitskraft und, wenn bestimmt ist, durch welchen Weg die gewisse Masse gehoben wird, so kennen wir die Arbeitsgröße. Durch die Bewegung erhält ein Körper das Vermögen, eine Arbeit zu verrichten und daher heißt die darin liegende Kraft die lebendige Kraft.

Legen wir als Maß der Kraft das Fußpfund zum Grunde und soll eine Kraft einen Widerstand von 8 Pfunden auf einen Fuß Länge überwinden, so muß sie eine 8 Mal größere Wirksamkeit haben und, sollte sie denselben Widerstand von 8 Pfunden auf 3 Fuß Länge überwinden, so müßte die Wirksamkeit der Kraft 24 Fußpfunde betragen. Daraus folgt:

daß die Arbeitsgröße das Produkt des Widerstandes (oder der Kraft) und des Weges ist, wobei es auf die Zeit nur insofern ankommt, als für eine kürzere Arbeitszeit die Kraft größer sein muß; ob nämlich z. B. ein Arbeiter einen Scheffel Korn zu einer gewissen Höhe in 3 oder in 5 Minuten trägt, und ob er einen mehr oder weniger steilen Weg zurücklegt, ändert die Arbeitsgröße nicht.

Die Wirkungen zweier Kräfte sind also gleich, wenn die Produkte der Widerstände und der zu ihnen gehörigen Wege gleich sind. Hat z. B. Jemand 10 Pfunde 5 Fuß hoch gehoben, so hat er dieselbe Arbeit verrichtet, als wenn er auf einer Eisenbahn 400 Pfunde 25 Fuß weit gezogen hätte, da auf der Eisenbahn der Reibungswiderstand der 200ste Theil von der Last, also hier zwei Pfund ist und somit in beiden Fällen die Arbeit 50 Fußpfunde beträgt. ( $5 \cdot 10 = 25 \cdot 2$ ).

Wir können auch aus der Arbeitsgröße bei Maschinen auf die Arbeitskraft zurückschließen. Soll auf einer Mühle eine bestimmte Menge Korn zu Mehl von bestimmter Beschaffenheit gemahlen werden, so kann dies geschehen durch die Kraft des wehenden Windes, des fließenden Wassers, durch ein Roßwerk, durch eine Dampfmaschine u. a. In allen Fällen ist die Arbeitsgröße dieselbe, gleichgiltig in welcher Zeit das Mehl zustande gebracht ist, und so ist auch die Arbeitskraft dieselbe. In je kürzerer Zeit die Arbeit von einer Maschine geschieht, desto besser oder wirkungsfähiger ist sie. Die Wirkungsfähigkeit einer Kraft heißt lebendige Kraft, weil sie eine ebensoviele Arbeit erzeugen kann, als die war, aus welcher sie entstanden ist.

Es ist wichtig, daß die Begriffe: Bewegungsmoment, Arbeitskraft und Arbeitsgröße nicht verwechselt werden.

Durch Maschinen bezweckt man eine gegebene, als Produkt angesehene Arbeitsgröße auf zweckmäßige Weise in andere Faktoren zu zerlegen und dadurch, wenn auch mit einigem Verluste, praktisch brauchbar zu machen. An einer zusammengesetzten Maschine sind drei Haupttheile zu unterscheiden:

- 1) die Kraftmaschine zur Aufnahme der Kraft, z. B. des Dampfes,
- 2) die Arbeitsmaschine zur unmittelbaren Erfüllung des Zweckes, z. B. zum Mahlen des Kornes die rotirenden Steine,
- 3) die Zwischenmaschine (Transmission) zur Vermittelung beider, also zur Verwandlung der Bewegungsarten und Uebertragung der Kraft (die gezahnten Räder und Riemenscheiben mit den Riemen).

Die lebendige Kraft, welche in der beim Niagarafalle unten ankommenden Wassermasse liegt, übertrifft bei weitem die aller bisher auf der Erde vorhandenen Maschinen zusammen und die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen, welche die Verdunstung der Gewässer auf der Erdoberfläche bewirkt, übertrifft bei weitem die Arbeitskraft aller arbeitsfähigen Menschen auf der Erde.

### Erhaltung der lebendigen Kraft.

Wenn ein Stein irgendwo ruhig liegt, so übt er verfahrungsmäßig einen Druck auf seine Unterlage aus; es liegt also in ihm eine Kraft, aber diese Kraft erzeugt keine Bewegung oder Aenderung des Zustandes, es ist keine lebendige Kraft.

Wenn aber der Stein  $M$  sich ohne Widerstand fortbewegen kann, so gibt ihm die Kraft eine gewisse Geschwindigkeit, die ihn durch einen gewissen Raum  $R$  treibt und er ist dann geeignet einen gewissen Widerstand  $m$  auf einem gewissen Raum  $r$  zu überwinden, bis er zur Ruhe gekommen ist, wobei dann die Produkte aus den durch die Massen angegebenen Widerständen und den Räumen einander gleich sind, nämlich  $m \cdot r = M \cdot R$  ist.

Ist der bewegte Stein durch den Widerstand zur Ruhe gebracht, so hat er zwar die ihm mögliche Arbeit vollendet; aber seine lebendige Kraft ist nicht verloren gegangen, denn sie ist in der neuen Masse enthalten.

Ist eine Uhr mit Gewichten oder Federn aufgezogen worden, so gibt sie diese in kurzer Zeit verrichtete Arbeit während der ganzen Zeit ihres Gehens wieder.

Die beim Füllen einer Winnbuche angewendete Arbeit erscheint als Kraft bei den abgeschossenen Kugeln.

Hat man eine Reihe gleichgroßer Elfenbeinkugeln so aufgehängt, daß ihre Mittelpunkte in derselben geraden Linie liegen und läßt man die erste in dieser Richtung auf die ruhende Reihe der übrigen fallen, so springt die letzte mit derselben Geschwindigkeit ab, mit welcher die erste aufstiel (es könnten hierbei auch bloß zwei Kugeln sein); läßt man zwei Kugeln auffallen, so springen auch zwei ab u. s. f. Hat von zwei solchen Kugeln die aufspringende 10 mal mehr Masse, als die getroffene, so geht diese mit der 10fachen Geschwindigkeit von jener fort.

Wenn auf eine recht leicht bewegliche Masse von 1 Zentner (3000 Lothen) eine Kugel von 1 Loth geschossen wird und jene Masse dadurch eine Geschwindigkeit von  $\frac{1}{2}$  Zoll erhielt, so würde die Geschwindigkeit der abgeschossenen Kugel müssen 1500 Fuß gewesen sein, weil  $\frac{1}{2} \cdot 3000 = 1 \cdot 1500$  ist.

Wird ein Körper von einem Punkte aus lothrecht aufwärts geworfen, so hat er in einem gewissen Höhepunkte seine ganze Kraft verloren, aber er hat sie genau wiedererlangt, wenn er zurück im Ausgangspunkte angekommen ist; die Kraft, welche den Körper warf, ist also nicht verloren gegangen.

Ist ein Körper auf eine recht elastische, mit ihrer Ase lothrecht gestellte Spiralfeder in der Richtung der Ase gefallen, und hat er dadurch seine Geschwindigkeit verloren, so erlangt er sie durch die Rück-

wirkung der Feder wieder und wird zum Ausgangspunkte zurückgeworfen.

Gleitet auf der Straße ein Lastwagen beim Fahren von einem Steine auf einen andern, so ist seine lebendige Kraft nicht verloren gegangen, denn die Bewegung der benachbarten Steine und Häuser zeigt sie.

Wenn ein Flußbett sich verengt, so wird das Wasser in der engen Stelle so schnell strömen, daß die lebendige Kraft des Wassers in den Querschnitten beider Stellen, der breiten mit langsamer Strömung und der schmalen mit schneller einander gleich ist.

Hat man zwei gleich weite Handspritzen mit ungleich weiten Springröhren und stößt man in beiden den Stempel mit gleicher Kraft auf das Wasser, so springt es aus der engeren Röhre weiter, als aus der weiteren, denn es muß zum kleineren Querschnitte der Röhre die größere Geschwindigkeit des Wassers gehören. Wäre z. B. 12 das Maß der stoßenden Kraft, und verhielten sich die Querschnitte wie 2 zu 3, so würden die Geschwindigkeiten der Wasserstrahle sich wie 6 : 4 verhalten. Die Arbeit der Kraft ist dieselbe, nämlich  $2 \cdot 6$  oder  $3 \cdot 4$ .

Leitet man Elektrizität durch einen Eisendraht mit abwechselnd dicken und dünnen Stellen, so werden die dicken bei einer gewissen elektrischen Kraft nur warm, während die dünnen glühen; aber das Bewegungsmoment ist in beiden gleich.

Wenn eine Eisenstange durch die aus 1 Pfund Steinkohlen erhaltene Wärme um 0,03 Meter oder 0,095 rhl. Fuß ausgedehnt wird und dabei einen Widerstand von 8000 Kilogrammen oder 17104 Pfunden überwindet, so ist die Wirkung der Kohle  $8000 \cdot 0,03 = 240$  Kilogrammeter oder 16249 Fußpfunde. Statt dessen hätte dieselbe Menge Kohle zur Verwandlung von Wasser in Dampf können verwendet werden, und dieser müßte dieselbe Arbeit geben.

Sowie Dampf eine gewisse Arbeit verrichtet hat, so enthält er genau so viele Wärme weniger, als der geleisteten Arbeit entspricht.

Fällt ein 10pfündiger Hammer 13500 mal 1 Fuß hoch auf einen Eisenkörper, so erzeugt er so viele Wärme, daß dadurch ein Pfund Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $100^{\circ}$  (zum Kochen) erwärmt werden kann, oder: 1350 Pfund Wasser, welche 1' herabfallen, können 1 Pfund Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$  erwärmen und die zu dieser Temperaturerhöhung verbrauchte Wärme ist im Stande 1350 Pfund Wasser 1' hoch zu heben, oder eine mit 1350 Pfund beschwerte Eisenstange so zu strecken, daß 1350 Pfund 1' hoch durch sie gehoben werden, gerade als wenn sie durch Wärme erwärmt würde, die im Stande war, 1 Pfund Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$  zu erwärmen.

Die Elektrizität, welche im Stande war, 1 Pfund Wasser um  $1^{\circ}$  wärmer zu machen, wird bei der Zerlegung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff gerade so viel Wasserstoff liefern, daß beim Ver-

brennen oder Verbinden desselben mit dem Sauerstoffe gerade so viele Wärme entwickelt wird, um dadurch 1 Pfund Wasser um  $1^{\circ}$  zu erwärmen.

Ebenso wird die Elektrizität, welche durch den von ihr erwärmten Leitungsdraht 1 Pfund Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$  erwärmt, einen Elektromagneten erzeugen, welcher 1350 Pfunde auf 1' hoch hebt.

Die in den Sonnenstrahlen vorhandene lebendige Kraft geht nicht verloren, denn wenn sie z. B. im Sommer den mit Bewegung verbundenen Stoffwechsel bei der Vegetation der Pflanzen erregt, so werden die Pflanzen dadurch eine Borrathskammer der Sonnenwärme, die wir beim Verbrennen der Pflanzen erhalten und die wir wieder in lebendige Kraft verwandeln können, wie es bei einer Dampfmaschine geschieht.

Wenn wir uns an der durch die Steinkohlen erzeugten Wärme erfreuen, so nutzen wir die lebendige Kraft der Sonne, welche sie vor Millionen von Jahren auf die Erde übertrug.

Diese lebendige Kraft der Sonnenstrahlen ist es auch, welche die Landleute im Sommer während der Erndte ungeachtet der geringen für den Schlaf gegönnten Zeit so arbeitsfähig erhält.

Es ist ein durchaus falsches Vorurtheil zu glauben, daß die Sonnenstrahlen uns abschwächen. Gleichwie Pflanzen, welche im Dunkeln gewachsen sind, kränkeln, ja sogar eingehen, wenn sie einem stärkeren Lichte ausgesetzt werden, so ist es mit den Stubenmenschen, die sich nur zeitweise der Sonne allzusehr aussetzen. Die Neger haben ihre gemein große körperliche Energie vorzüglich der Sonne zu danken.

Bei dem thierischen Körper sind die Muskeln das Kraftmagazin, welches durch den Stoffwechsel der genossenen Nahrung gespeist wird und von welchem wir sogar auch bei der Bewegung jedes Gliedes, selbst ohne eine Arbeit zu verrichten, zehren, natürlich aber um so mehr, je größer die geleistete Arbeit ist.

Daß dieser mit Atombewegung verbundene Stoffwechsel der aufgenommenen Nahrung auch zur Entwicklung des Körpers und zur Erzeugung der Wärme dient, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

Ist der Kräftevorrath aufgezehrt, so müssen wir der Atombewegung beim Stoffwechsel der genossenen Nahrung Zeit gönnen und wohl auch neue Nahrung aufnehmen, ehe wir dem Körper neue Leistungen zumuthen können.

Es wäre, wie schon angedeutet worden, sehr wohl zu rechtfertigen, wenn wir, indem wir ein Pferd einen Wagen ziehen sehen, sagten: Hafer, Heu, Wasser und Luft ziehen den Wagen. Der Stoffwechsel füllt das Magazin der lebendigen Kraft.

Wenn die Puppen der Gliederthiere eine fortschreitende Bewegung haben, so wollen und müssen sie auch Nahrung genießen, weil durch die Bewegung Stoff verbraucht ist. Im Winterschlaf bedarf das Thier keiner Nahrung und nur die warmblütigen verzehren dabei von ihrem Körper-

inhalte um so mehr, je geringer der Schlaf ist, indem dabei die Wärme an die Umgebung allmählig verloren geht. Daß Menschen, welche sich die nothwendige Bewegung nicht machen, einen Ueberfluß von Stoff ohne entsprechende lebendige Kraft ansetzen, ist ebenso bekannt, als natürlich.

Wenn eine eiserne Kanonenkugel von 12 Pfunden und 1000 Fuß Geschwindigkeit nicht dieselbe Wirkung auf einen von ihr getroffenen Körper hat, wie eine Eisenmasse von 1000 Pfunden und 12 Fuß Geschwindigkeit oder wie eine Lavine und ein Felsen ungeachtet gleicher Bewegungsmomente, so liegt dies daran, daß die Wirkungsfähigkeit, d. i. die lebendige Kraft, von dem Produkte der Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit abhängig ist. Es können auch gleiche Bewegungsmomente durch ungleiche bewegende Kräfte entstanden sein, wenn diese nämlich ungleiche Massen während verschiedener Zeiten allmählig in Bewegung setzten.

So wenig wie der Stoff, kann die Kraft aus nichts erzeugt werden. Es ist in der Welt eine gewisse Summe von Kräften, wie von Stoffen vorhanden gewesen, noch vorhanden, wird vorhanden sein und kann durch nichts vermehrt werden. Ueberall in der ganzen Natur geschehen nur Umwandlungen von Stoffen und Bewegungsarten durch den ewigen Kampf der Kräfte, welche vereinen und trennen, anziehen und abstoßen wollen. Da aber die Trennung, welche als eine Abstoßung erscheint, nur aus der Neigung zur Verbindung oder Assimilation mit einem Zweiten hervorgeht, so können wir alle Erscheinungen auf das Bestreben nach Einheit zurückführen.

Wir können durch Anwendung mechanischer Mittel wohl die Wirkungsweise einer Kraft umformen, nie aber sie selbst erzeugen, vergrößern oder vernichten. In demselben Maße, in welchem wir z. B. an Muskelkraft sparen, müssen wir an Zeit aufwenden. Es ist natürlich, daß wir hierbei in Betreff der Maschinen nicht bloß die wirkliche nutzbare Leistung, sondern auch die durch die Reibungswiderstände erzeugte Wärme, welche freilich für die meisten vorliegenden Zwecke nicht nur unbrauchbar, sondern sogar nachtheilig ist, als Wirkung in Anrechnung bringen müssen. Die nutzbare Leistung und die unnutzbare Wärme stehen im umgekehrten Verhältnisse, d. h. je größer die Reibung, desto größer die Wärme und desto kleiner die Leistung einer Arbeitsmaschine.

Ueberall steht der Verlust an lebendiger Kraft in gleichem Verhältnisse mit der ganzen geleisteten Arbeit.

Es war eine traurige Geistesverirrung, wenn sich Leute abquälten, Maschinen bauen zu wollen, welche Kraft aus sich selbst erzeugen sollten, was freilich ein großer Gewinn für die Menschheit wäre. Das Perpetuum mobile kann eben so wenig erfunden werden, als es möglich ist den Kreis zu quadriren. Es würde nicht heutzutage noch Menschen geben, die sich mit solchen unfruchtbaren Arbeiten um den Verstand

bringen, wenn sie sich etwas mehr bemühen wollten, die einfachsten Naturgesetze kennen zu lernen. Ich will beispielsweise anführen, auf welche Weise vor nicht gar langer Zeit ein polnischer Gutsbesitzer seinen See austrocknen wollte. Er ließ ein Wasserrad mit Schöpfern bauen und nebenan fast in der Höhe des Rades einen großen hölzernen Wasserbehälter. Man glaubte er, daß er den Behälter durch Menschenhände nur einmal vollzupumpen brauche, um dann die Maschine für immer dadurch im Gange zu erhalten, daß das durch einen Theil dieses Wassers einmal in Bewegung gesetzte Rad theils das verbrauchte Wasser im Behälter ersetzen, theils einen anderen Theil des geschöpften Wassers durch eine noch etwas hoch gelegene Rinne aus dem See fortführen werde.

Daß das Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft nicht nur für das ganze Maschinenwesen und praktische Leben überhaupt, sondern für die tieferen Forschungen in dem Naturleben von der größten Bedeutung ist, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

So felsenfest das Prinzip auch steht, so schwierig ist es oft dasselbe bei der Umwandlung der Erscheinungsformen in Rechnung zu bringen und es wird noch für späte Zeiten den größten Geistern einen eben so anziehenden als dankbaren Stoff gewähren.

#### Wirkung auf die Entfernung.

Wenn wir in einen Saal kommen, in welchem Hunderte von Webestühlen in scheinbar selbstständiger Thätigkeit Zeuge anfertigen und bei jedem einen Knaben oder ein Mädchen nur damit beschäftigt sehen, von Zeit zu Zeit eine neue Spule einzulegen oder den zerrissenen Faden zusammenzuknüpfen; so übermannt uns, wenn wir den inneren Zusammenhang noch nicht kennen, ein mit einem heiligen Schauer und mit Bewunderung verbundenes Gefühl. Bei genauerer Prüfung finden wir, daß eine Kraftmaschine mittelst Riemen und Riemenscheiben auf die Entfernung wirkt. Es ist dies eine Uebertragung oder Transmission von Maschine zu Maschine, nämlich von der Kraftmaschine zur Arbeitsmaschine.

Sieht man, wie in einer Mühle ein Beutel, in welchen zerriebene Getraidekörner fallen, fortwährend geschüttelt wird, um Mehl durchfallen zu lassen, und forscht man der ersten bewegenden Ursache nach, so findet man sie in einem fließenden Gewässer, in einem wehenden Winde u. s. w. Es ist die lebendige Kraft des Wassers übergetragen durch die Maschinenteile selbst, welche unmittelbar in einander eingreifen.

In beiden Fällen sind also Zwischenkörper vorhanden, welche an der Bewegung theilnehmen, sie aber auf mannigfaltige Weise verändern.

Solche Wirkungen auf die Entfernungen mittelst bestimmt begrenzter und wohl auch bestimmt geformter Zwischenkörper giebt es

unzählig viele: z. B. wenn man durch ein langes Zylinderrohr zu Jemandem spricht, durch einen Telegraphendraht telegraphirt.

In allen diesen Fällen findet eine Abschwächung der wirkenden Kraft statt, welche von der Natur des fortpflanzenden Körpers (Kupferdraht, Eisenbraht) und von der während der Bewegung stattfindenden Reibung der einander berührenden Theile abhängig ist.

Es kann aber auch die wirkende Kraft mit einem Stoffe ringsum umgeben sein, welcher die Fortpflanzung der Bewegung nach allen Seiten vermittelt; also wenn z. B. im Wasser eines Sees oder in der freien Luft durch das Zusammenschlagen zweier Steine ein Schall erregt wird. Die Schallempfindung wird mit zunehmender Entfernung immer schwächer und schwächer. Wenn die Erleuchtungsfähigkeit einer bestimmten Flamme in verschiedenen Entfernungen beobachtet wird, oder wenn man die Stärke der Anziehung eines Magneten oder eines elektrischen Körpers untersucht, so findet man schon bei der oberflächlichsten Beobachtung ganz dasselbe.

Ohne Zwischenstoff ist die Uebertragung der Kraft von einem Körper zu einem anderen undenkbar. Für die Körper im Weltraum ist dieser Zwischenstoff der Weltäther. Ohne ihn würde das Licht der Sonne und der übrigen Himmelskörper und eben so wenig die erwärmende Kraft der ersteren gar nicht vorhanden sein; ohne ihn würden auch viele irdische Erscheinungen, die wir später werden genauer kennen lernen, gar nicht möglich sein, z. B. die Wirkung der Magnete auf die Entfernung.

### Gesetz der Abnahme.

Es ist hier nur noch die Beantwortung der Frage übrig: in welchem Verhältnisse nimmt die Wirkung einer bestimmten Kraft ab, wenn man sich von ihrem bestimmten Sitze in einem sie umgebenden bestimmten Stoffe entfernt?

Der Sitz der Kraft kann als der Mittelpunkt einer Kugel angesehen werden, in deren Strahlen die Fortpflanzung der lebendigen Kraft stattfindet. Es vertheilt sich die Wirkung auf alle Punkte einer Kugeloberfläche mit bestimmtem Strahle gleichmäßig; wächst der Strahl, also auch die Oberfläche der zu ihm gehörigen Kugel, so muß wegen der größeren Vertheilung die Wirkung auf eine bestimmte Stelle im zweiten Falle kleiner sein, als im ersten.

Nehmen wir z. B. eine angezündete Wachskerze von bestimmter Leuchtkraft, so wird in der Entfernung von zwei Fuß ein Blatt Papier von einem Quadratvolle schwächer erleuchtet sein, als in der Entfernung von einem Fuße, wobei ich das Blatt in beiden Fällen in gleicher Lage gegen die Flamme halten muß, etwa so, daß der Strahl auf den Mittelpunkt des Blattes dasselbe lothrecht trifft; denn dieselbe erleuchtende Kraft

verbreitet sich in dem ersten Falle über eine Kugelfläche, die 4mal größer ist, als im zweiten Falle, und daher muß ein bestimmter Flächentheil (z. B. 1 Quadrat Zoll) eine 4mal geringere Erleuchtung zeigen. Bei 3 Fuß Entfernung würde die Erleuchtung dieser Fläche 9mal, bei 4 Fuß 16mal u. s. w. kleiner sein, da ja die Kugeloberflächen sich wie die Quadratzahlen der Strahlen verhalten. Die Gesammt erleuchtung ist bei den verschiedenen Kugelflächen dieselbe; also auch hier eine Erhaltung der Kraft.

Um in der doppelten Entfernung dieselbe Erleuchtung einer bestimmten Fläche zu erhalten, wie in der einfachen, müßte man 4 Wachskerzen von derselben Lichtstärke aufstellen; in der dreifachen 9 u. s. w.

Diese Betrachtungen gelten in aller Strenge von jeder andern Kraft, die ihren Sitz in einem bestimmten Punkte hat und von da aus in einem bestimmten Stoffe nach allen Richtungen hin gleichmäßig wirkt, so daß wir das Gesetz aufstellen müssen:

die Wirkungen einer Kraft in einem bestimmten Punkte nehmen in einem bestimmten Stoffe ab, wie die Quadratzahlen der Entfernungen zunehmen.

Die Abschwächung der Wirkung auf die Entfernung ist eine ungesetzmäßige, wenn die Uebertragung der Kraft auf verschiedenartige, mit einander wechselnde Körper stattfindet, wie wenn z. B. der Schall genöthigt würde, nach einander durch Luft, Papier, Holz, Steine, Luft u. s. w. zu gehen, oder das Licht der Sonne durch trübe und heitere Schichten der Atmosphäre.

### Zusammensetzung der Kräfte.

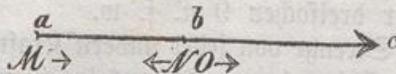
Es kommt in der Wirklichkeit nie vor, daß ein Körper dem Antriebe nur einer Kraft folgte. Selbst wenn ein Gegenstand ruhig auf dem ruhigen Tische in einem nicht schwankenden Hause läge, theilt er doch die Aendrehung der Erde, ihre Bewegung um die Sonne und die kleine schwankende Bewegung, welche man Nutation nennt und schreitet mit dem ganzen Sonnensysteme im Weltraume fort; er ist also relativ ruhend schon verschiedenen Kräften gleichzeitig unterworfen. Außerdem aber kann er noch der Einwirkung einer oder mehrerer anderer Kräfte, die gleichzeitig auf ihn wirken, ausgesetzt sein; man kann ihn z. B. fallen lassen, im Kreise drehen, an einer Schnur schwingen lassen, einen Stoß auf ihn ausüben.

Wie vielen Kräften aber auch immer ein Körper ausgesetzt sein mag, so kann er, wenn sie ihn in Bewegung setzen, doch stets nur einen Weg einschlagen, als wenn er dem Antriebe nur einer Kraft folgte.

Es ist nun für die Praxis von der größten Wichtigkeit zu untersuchen, welchen Weg er einschlägt und welches sein Bewegungsmoment ist.

Der Punkt eines Körpers, auf welchen eine Kraft unmittelbar einwirkt, heißt der Angriffspunkt der Kraft.

Wenn eine einen Körper stoßende oder ziehende Kraft an einer geraden Stange oder, wenn es eine ziehende ist, an einer gerade gespannten Schnur (Kette, Tau, Riemen) in der graden Richtung wirksam ist; so kann der Angriffspunkt der Kraft, ohne eine Aenderung in der Wirksamkeit hervorzubringen, in jeden beliebigen Punkt der Schnur, Stange u. s. w. verlegt werden, wenn man zunächst von dem Gewichte der letzteren absteht.



(Fig. 18.)

Die Kraft, welche in a (Fig. 18) angreift und den Körper in der Richtung der a c bewegen soll, kann auch in b ihren Angriffspunkt haben, ohne den Erfolg zu stören. Denken wir uns in b zwei gleiche Kräfte N und O wirksam, welche einander, wie es die Pfeile andeuten, geradlinig entgegengesetzt wirken,

so heben sie einander auf oder sie halten einander das Gleichgewicht, und der schwere Punkt b bleibt in Ruhe. Greift in a eine den vorigen gleiche Kraft M an, welche a, wie es der Pfeil andeutet, nach c hin bewegen will, und ist a mit b unveränderlich verbunden, so heben auch die beiden gleichen und einander geradlinig entgegengesetzt wirkenden Kräfte M und N einander auf und es bleibt nur noch die Wirkung der Kraft O in der Richtung nach c hin übrig. Ob also eine Kraft M in a angreift oder eine ihr gleiche O in einem anderen Punkte b der geraden Linie, in welcher die Kraft den Körper bewegen soll, ist gleichgiltig. Daraus folgt: Der Angriffspunkt einer Kraft kann verlegt werden.

Greifen zunächst zwei momentan oder fortwährend und beständig wirkende Kräfte einen ruhenden und schwer gedachten Punkt an, so können wir uns drei Fälle vorstellen:

- 1) die beiden Kräfte wirken in derselben Richtung mit einander,
- 2) in derselben Richtung gegen einander,
- 3) ihre Richtungen bilden einen Winkel.

Wir können uns in allen Fällen als Maße sowohl für die zusammensetzenden oder komponirenden, als auch für die als Ergebnis der Zusammenwirkung entstehenden resultirenden Kräfte verhältnismäßige Linien annehmen.

Triebe im ersten Falle die eine Kraft den Körper in einer Sekunde durch 7, die andere durch 4 Fuß, so würde jene Kraft um diese vermehrt und das Resultat ist die Summe beider Kräfte, oder er würde durch beide Kräfte zugleich getrieben, thatsächlich in einer Sekunde durch 11 Fuß gehen.

Hat die Strömung des Wassers in einem Flusse eine Geschwindig-

keit von 2 Fuß, und ist die Kraft einer Dampfmaschine auch nur so groß, daß sie dem Schiffe dieselbe Geschwindigkeit geben kann, so wird es auf derselben Stelle stehen bleiben, wenn es stromaufwärts fahren will.

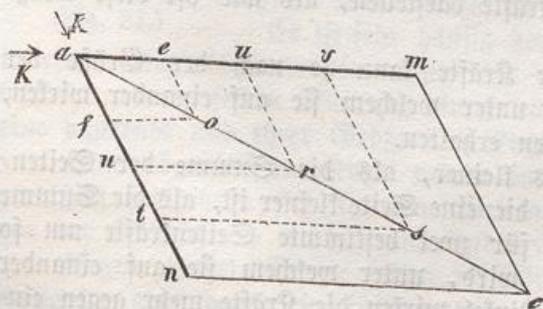
Wenn für den zweiten Fall als Beispiel dieselben beiden Kräfte von 7 und 4 Fuß beibehalten werden, und man zerlegt die größere (7) in zwei Theile, die in gleicher Richtung mit der ganzen wirken, und von denen der eine gleich der zweiten Kraft ist ( $7 = 3 + 4$ ); so wird dieser Theil die zweite Kraft aufheben, weil er ihr gleich ist, und es bleibt somit als Resultat der andere Theil (3) der größeren Kraft mit Beibehaltung der Richtung übrig. Wirken also Kräfte geradlinig einander entgegengesetzt, so ist die Resultirende stets der Unterschied der beiden komponirenden.

Hat die Strömung eines Flusses die Geschwindigkeit von 2 Fuß, ein Dampfboot aber 5 Fuß, so wird letzteres stromaufwärts mit 3 Fuß Geschwindigkeit fahren (stromabwärts mit 7 Fuß).

Schwieriger zu beurtheilen ist der so außerordentlich häufig vorkommende dritte Fall.

Hat man an der Decke eines hohen Zimmers an einem Faden einen Apfel u. dergl. angehängt und läßt denselben pendelartig in einem kleinen Bogen hin und her schwingen, so verändert er die Lage der Linie, in welcher er schwingt, während einer kurzen Beobachtungszeit nicht merklich. Wenn man den Apfel bei seiner Ankunft im tiefsten Punkte seiner Bahn mit dem Finger oder einem Stäbchen in einer auf dieser Bahn lothrechten Richtung stößt; so folgt er weder der Richtung des Stoßes, noch bleibt er in seiner alten Bahn, sondern schlägt einen Zwischenweg ein, welcher um so mehr in der Stoßrichtung liegt, je kräftiger der Stoß war. Wäre die Kraft des Stoßes gerade gleich dem Bewegungsmomente des Apfels in seinem tiefsten Punkte, so würde er gerade den Mittelweg zwischen den Richtungen beider Kräfte einschlagen; wäre die stoßende Kraft kleiner, so läge die neue Bahn der ursprünglichen näher.

Wird eine Kugel auf einem Billard von zwei geschickten Spielern gleichzeitig mit einem recht kurzen Stoße nach verschiedenen Richtungen gestoßen, so schlägt sie ebenfalls einen Zwischenweg ein.



(Fig. 19.)

Wir müssen nun in allen Fällen die Richtung und die Größe der resultirenden Kraft zu bestimmen suchen für zwei in demselben Augenblicke auf einen Körper a einwirkende momentane Kräfte K und K (Fig. 19).

Trieb die eine Kraft K den Körper in einer ge-

wissen Zeit von  $a$  bis  $m$  in der Richtung der  $am$ , die andere  $K$  in derselben Zeit von  $a$  bis  $n$  in der Richtung  $an$ , welche mit  $am$  den Winkel  $man$  bildet, so daß also  $am$  und  $an$  das Verhältniß der beiden Kräfte angeben; so folgt der Körper zwar keiner der beiden Kräfte einzeln und doch beiden, indem er durch die erste Kraft von der  $an$  weg unter dem Winkel  $man$  um die  $am$  fortgetrieben wird, durch die zweite Kraft von der  $am$  weg unter demselben Winkel um die  $an$ . Er muß also am Ende der Zeit in einem Punkte sein, der um die  $am$  von der  $an$  und um die  $an$  von der  $am$  unter demselben Winkel entfernt ist, und dies kann nur der Endpunkt der Diagonale  $ac$  des aus den Seitenkräften  $am$ ,  $an$  und dem von ihnen gebildeten Winkel  $man$  gezeichneten Parallelogramms  $amen$  sein, worin  $nc$  gleich und parallel der  $am$  und  $mc \parallel an$  ist.

Der Körper wird sich aber auch in jedem Momente der Zwischenzeit in irgend einem Punkte dieser Diagonale befinden müssen. Denken wir uns die ganze Zeit der Bewegung z. B. in vier gleiche Theile zerlegt, so haben auch die Wege für jede der beiden Kräfte vier gleiche Theile, weil die Bewegung, welche durch eine momentane Kraft erzeugt worden, eine gleichmäßige ist. Werden aus den Kräften ( $ae$ ,  $af$ ), für den ersten Zeittheil, für die beiden ersten ( $au$ ,  $aw$ ), für die drei ersten Zeittheile ( $av$ ,  $at$ ) und aus demselben Winkel  $man$  nach dem Vorigen die Parallelogramme gezeichnet, so liegen alle ihre Diagonalen, also auch alle ihre Endpunkte, in derselben Richtung mit der Diagonale  $ac$  für die ganze Zeit. Diese Betrachtung gilt für alle noch so klein gedachten Zeittheile und somit bewegt sich der Körper während der ganzen Zeit in der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte.

Diese Diagonale gibt an

1) die Richtung der Mittelkraft (Resultirenden) gegen die Seitenkräfte,

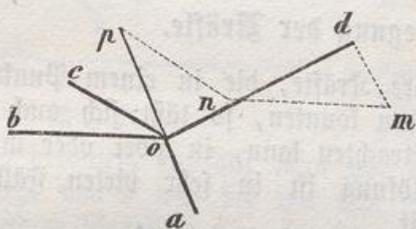
2) das Maß für die Resultirende, indem man mit der Maßeinheit für die beiden Seitenkräfte die Diagonale nur zu messen braucht. Betrachten  $K$  und  $K$  z. B. 7 und 5 Menschenkräfte und wäre die eine Menschenkraft vertretende Maßlinie in  $am$  7mal, in  $an$  5mal enthalten, so wird  $ac$  so viele Menschenkräfte darstellen, als wie oft diese Maßeinheit in  $ac$  enthalten ist.

Das Parallelogramm der Kräfte kann je nach der Größe der Seitenkräfte und des Winkels, unter welchem sie auf einander wirken, jede der vier bekannten Gestalten erhalten.

Die Resultirende ist stets kleiner, als die Summe der Seitenkräfte, weil in einem Dreiecke die eine Seite kleiner ist, als die Summe der beiden anderen; sie wird für zwei bestimmte Seitenkräfte um so kleiner, je größer der Winkel wird, unter welchem sie auf einander wirken. Bei einem stumpfen Winkel wirken die Kräfte mehr gegen einander, bei einem spitzen Winkel mehr mit einander, als bei einem rechten.

Wenn, wie bei einer Maschine zum Einrammen von Pfählen, an einer Stelle eines Haupttaues, mehre Seilen angebracht sind, an welchen Menschen gleichzeitig ziehen sollen; so werden diese am wirksamsten arbeiten, wenn die Seile mit einander möglichst kleine Winkel bilden, die Menschen also einander möglichst nahe stehen, wobei die Richtung der Seile mit der des Taus ziemlich zusammenfällt.

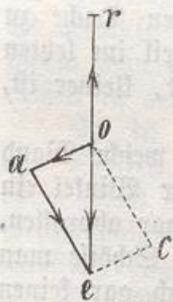
Soll aus mehren Seitenkräften die Resultirende gefunden werden, so setzt man die beiden ersten Kräfte zusammen, verfährt mit der erhaltenen Mittelkraft und der dritten eben so u. s. w. so lange, als von den zusammenzusetzenden Kräften noch eine übrig ist. Die zuletzt erhaltene Mittelkraft kann dann für alle Seitenkräfte gesetzt werden.



(Fig. 20.)

Dafür kann ein abgekürztes Verfahren angewendet werden. Bedeuten (Fig. 20)  $oa$ ,  $ob$ ,  $oc$ ,  $od$  vier Seitenkräfte, welche in  $o$  angreifen, so zeichnet man z. B. durch  $d$  die  $dm$  parallel und gleich der  $oa$ , durch  $m$  die  $mn$  parallel und gleich der  $ob$ , durch  $n$  die  $np$  parallel und gleich der  $oc$  und verbindet endlich  $p$  mit  $o$ , so ist die  $op$  die Resultirende aus allen Seitenkräften.

Um zwei oder mehre in einem Punkte angreifende Kräfte im Gleichgewichte zu halten oder den Punkt in Ruhe zu erhalten, muß man eine Kraft anwenden, welche der Resultirenden aus jenen Kräften gleich ist, ihr gradlinig entgegengesetzt wirkt und auch in diesem Punkte angreift. Bögen z. B. an  $o$  (Fig. 21) zwei Kräfte, die durch  $oc$  und  $oa$  dargestellt sein mögen, in diesen Richtungen an Tauen und wäre  $oe$  die Mittelkraft aus ihnen, so würde die in ihrer Richtung liegende, ihr gleiche und ihr entgegengesetzt wirkende  $or$  sie, folglich auch die Seitenkräfte aufheben.



(Fig. 21.)

Es ist sehr häufig der Fall, daß die Kräfte nicht blos in einem Augenblicke wirksam sind oder daß sie, fortwährend sich gleichbleibend, in derselben Richtung einwirken, sondern daß die Einwirkung eine dauernde und ihrer Größe und Richtung nach eine veränderliche ist.

Eine abgeschlossene Kugel würde in ihrer ursprünglichen Richtung gradlinig fortgehend sich in den Weltraum entfernen, wenn sie nicht von der fortwährend auf sie einwirkenden Erde zu fallen genöthigt würde.

Regen, Hagel, Schnee fallen bei Windstille lothrecht auf die Erde; je stärker aber dabei ein Wind geht, in desto längerer und schrägerer

Diagonale kommen sie herab und Schneeflocken werden manchmal sogar fast horizontal getrieben.

Läßt man vom Mastbaume eines schnell fahrenden Schiffes bei Windstille einen Strick herabfallen, so fällt er nicht etwa rückwärts auf's Schiff oder ins Wasser, sondern dicht am Mastbaume nieder, denn er macht auch während des Fallens gleichzeitig mit dem Schiffe die Bewegung vorwärts, wird also von zwei Kräften bewegt.

Man kann beim schnellen Reiten oder Fahren einen lothrecht aufwärts geworfenen Ball leicht fangen, weil er auch in der Luft die Bewegung vorwärts mit der früheren Geschwindigkeit beibehält, also schräge aufwärts steigt und schräge abwärts fällt.

### Verlegung der Kräfte.

So wie zwei oder mehre Kräfte, die in einem Punkte angreifen, durch eine Kraft ersetzt werden konnten, so läßt sich auch eine Kraft, die man als Resultirende betrachten kann, in zwei oder mehre Seitenkräfte auflösen. Diese Auflösung ist in sehr vielen Fällen von der größten praktischen Wichtigkeit.

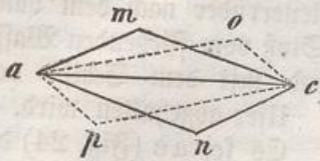
Eine mittelst eines Stoffes auf einen Körper ausgeübte Kraft wirkt nur dann vollständig, wenn sie auf die getroffenen Stellen des Körpers lothrecht wirkt; je spitzer der Winkel ist, unter welchem sie dem Körper trifft, desto geringer ist der Erfolg.

Die im Winter niedrig am Horizonte stehende Sonne vermag wohl den Schnee auf einem schräge gegen sie gerichteten Dache zu schmelzen, nicht aber den auf dem horizontalen Felde, weil im letzten Falle der Winkel, unter welchem sie auf den Schnee wirkt, kleiner ist, als im ersten.

Wird eine Kugel mit einer gewissen Kraft auf eine weiche Wand lothrecht geschossen, so dringt sie tiefer ein, als wenn der Winkel ein spitzer ist. Wenn der Winkel allzu klein ist, so kann sie sogar abprallen. So ist es mit jeder anderen schief einwirkenden Kraft. Schöffe man die Kugel parallel mit der Wand, so würde sie natürlich gar keinen Eindruck machen, wie wenn Wasser parallel mit einer Wand an derselben hinfließt, wobei ein Stoß auf sie nicht ausgeübt wird.

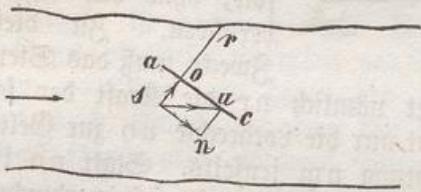
Soll der Wasserstrahl, welcher bei einer oberflächigen Mühle in einem kleinen Bogen auf die Kasten des Wasserrades fällt, recht wirksam sein, so müssen möglichst viele Wassertheile dieses Strahles auf das gegenüberstehende Brett des Kastens möglichst senkrecht stoßen, es muß also das Brett angemessen gekrümmt sein, damit das Wasser nach dem Stoße seine ganze Geschwindigkeit verloren habe.

Sowie eine bestimmte Linie  $ac$  (Fig. 22.) als Diagonale von sehr verschiedenen Parallelogrammen, z. B. von  $amen$  und  $aocp$  angesehen werden kann, so läßt sich auch eine bestimmte Kraft in ver-



(Fig. 22.)

gar nicht, auf den Körper wirkt.



(Fig. 23.)

das Fahrzeug bedeutet, so fällt man von s die Lothrechte so auf das Fahrzeug, zieht von s aus die mit ihm Parallele sn und von u aus zu so die andere Parallele un; so ist soun das Parallelogramm der Kräfte so und sn, welche gemeinschaftlich wirkend für su gesetzt werden können. Von diesen beiden Kräften geht sn für die Wirkung verloren, weil sie mit dem Fahrzeuge parallel geht; so dagegen kommt ganz zur Wirkung, weil sie lothrecht auf das Fahrzeug wirkt, und treibt es in der Richtung so nach dem Punkte r ans jenseitige Ufer. Weiß man die absolute Größe der Kraft su, so läßt sich auch die der so bestimmen, indem man nur ermitteln darf, wie oft die für su angenommene Maßeinheit in so enthalten ist.

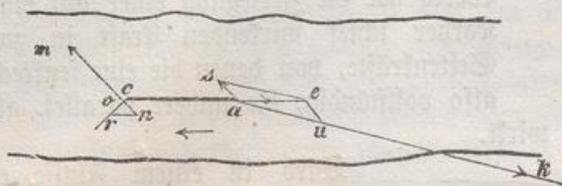
Es ist zur Erreichung des vorliegenden Zweckes hinreichend das eine Dreieck sou statt des ganzen Parallelogramms zu zeichnen, ou ist darin gleich sn. Kennt man die Größe der gestoßenen Fläche und die Geschwindigkeit der Strömung, so läßt sich leicht berechnen, wie viele Kubikfuß Wasser in einer Sekunde auf das Fahrzeug stoßen und aus dem Gewichte des Wassers, welches den Stoß ausgeübt hat, erkennt man dann die lebendige Kraft.

Will ein Mensch über einen Fluß schwimmen, so darf er nur seinem Körper eine richtige schiefe Lage gegen die Strömung geben und sich darin erhalten; weitere Bewegungen sind nicht nothwendig, können aber die Zeit des Hinüberschwimmens verkürzen. Will er auf das jenseitige Ufer kommen, so muß er den Kopf gegen die Strömung halten.

Häufig werden in Flüssen und Kanälen Fahrzeuge mittelst Seilen vom Ufer aus aufwärts gezogen. Wollte man weiter nichts thun, als bloß ziehen, so würde das Fahrzeug gar bald ans Ufer kommen und sich daran schauern, wodurch es verlegt und die Arbeit sehr erschwert würde. Das Fahrzeug wird aber, während es gezogen wird, dadurch vom Lande

Spill er, Physik.

in einem Abstände erhalten, daß man das Steuerruder nach dem Lande hinwendet, wodurch es stehend einen schiefen Stoß vom fließenden Wasser und fahrend vom stehenden Wasser erhält und mit dem Schiffe vom



(Fig. 24.)

Ufer abgehalten wird. — Es sei  $ac$  (Fig. 24) das Fahrzeug, welches von dem Taue  $ak$  stromaufwärts gezogen werden soll, ohne das Ufer zu berühren. Zu diesem Zwecke muß das Steuerruder die Lage  $er$  haben. Bedeutet nämlich  $nr$  die Kraft der schief darauf wirkenden Strömung, so kommt nur die Lothrechte  $no$  zur Geltung und treibt das Fahrzeug in der Richtung  $nm$  jenseits. Statt  $no$  in  $o$  angreifen zu lassen, kann man es nach dem damit fest verbundenen Punkte  $a$  verlegen. Wenn nun  $as$  dem  $no$  gleich und mit ihm parallel ist, so darf man das  $as$  nur noch mit der am Taue angebrachten und durch  $au$  dargestellten Kraft zusammensetzen und man bekommt als Resultirende die  $ae$ , welche die Richtung des Fahrzeuges bei seiner Bewegung angibt. Daß diese Richtung durch die Lage des Steuerruders bei einer bestimmten Geschwindigkeit des Wassers und der ziehenden Kraft bedingt ist, versteht sich wohl von selbst. Bei starker Strömung braucht der Winkel des Steuers gegen das Ufer nicht so groß zu sein, als bei schwacher.

Allen Schiffen kann man während des Fahrens durch die Lage des Steuerruders am Hintertheile eine bestimmte Richtung geben. Legt man es nach rechts, so geht das Hintertheil des Schiffes nach links und das Vordertheil nach rechts.

Allen Vögeln dient beim Fliegen und den Fischen beim Schwimmen der Schwanz als Steuer.

Die Windmühlflügel drehen die Welle, an welcher sie befestigt sind, nur deshalb, weil ihre Flächen eine schiefe Lage gegen den horizontal wehenden Wind haben. Sie müssen alle so gestellt sein, daß die Drehung des einen die des anderen unterstützt. Von den beiden Seitenkräften der schief auf die Flächen der Flügel stoßenden Kraft des Windes wird die Lothrechte durch den Widerstand der Radwelle aufgehoben und es kommt nur die andere zur Geltung. Weil die von der Ase entfernteren Theile des Flügels eine größere Geschwindigkeit bei der Drehung haben, als die näheren, würden sie, wenn die Flügel eine Ebene bildeten, eher dem ankommenden Winde ausweichen und somit von ihm weniger bewegt werden, als die näher liegenden Theile, ja sie könnten sogar dieselbe Geschwindigkeit mit dem Winde haben und würden gar nicht gestossen, oder eine größere und würden nachtheilig wirken. Aus diesem Grunde werden die Sprossenlöcher in der Ruthe in einer gewundenen

Linie gemacht, die ungefähr den zwölften Theil eines Schraubenganges ausmacht, so daß die Flächen der Flügel gebogen sind.

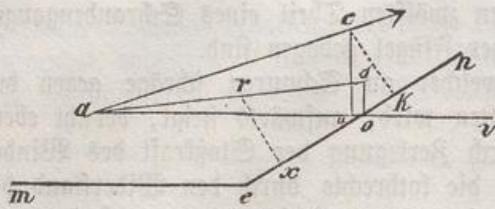
Daß ein Papierdrache, welcher an Schnuren schräge gegen den horizontal wehenden Wind gehalten wird, aufwärts steigt, beruht ebenfalls darauf, daß von den durch Zerlegung der Stoßkraft des Windes erhaltenen beiden Seitenkräften die lothrechte durch den Widerstand der gehaltenen Schnur aufgehoben wird und nur die andere, aufwärts gerichtete als wirksam übrig bleibt.

Die Benutzung des Windes als treibende Kraft für die Schiffe mit Segeln ist höchst wichtig. Ueberall muß man durch die Stellung der Segel die Geschwindigkeit des Windes möglichst auf sie überzutragen suchen. — Man kann gegen den Wind nur dann fahren, wenn man lavirt, d. h. abwechselnd nach den beiden Seiten der Kurslinie oder im Zickzack fährt, also jedesmal einen schiefen Stoß des Windes benutzt, wobei die Segel abwechselnd immer umgelegt werden müssen.

Bei den Schraubendampfschiffen ist es nur der schiefe Stoß der Fläche, der sogenannten Schraube, auf das Wasser, wodurch die Schiffe bewegt werden. Durch das Hintertheil des Schiffes geht wasserdicht unter dem Wasserspiegel eine Welle, welche durch die im Schiffsraume befindliche Kraftmaschine gedreht wird; an dieser Welle sind in einer schrägen Richtung nach hinten gewendete Schaufeln, welche aus demselben Grunde, wie bei den Windmühlen, nicht eben, sondern gekrümmt sind. Wenn diese Schaufeln nun bei der Drehung der Axe das ruhende Wasser nach hinten stoßen, so geht das bewegliche Schiff nach vorne; bewegte sich das Wasser dem Schiffe entgegen, so müßte die Drehungsgeschwindigkeit, wenn das Schiff vorwärts kommen soll, um so größer sein, je schneller die Strömung ist, damit die Geschwindigkeit der Schaufeln stets größer bleibe, als die des Wassers. Statt mehrerer einzelner Schaufelflächen kann auch eine einzige schraubenförmige Fläche angewendet werden, ähnlich den spiralförmigen Papierstreifen, die am warmen Ofen wegen des aufsteigenden Luftstromes sich um eine lothrechte Axe drehen.

Thiere können mit dem möglich größten Erfolge einen Wagen ziehen, wenn sie an Punkten angespannt sind, die mit den Axen der Räder in derselben horizontalen Ebene liegen und wenn sie selbst auf dieser Ebene den Wagen horizontal ziehen können. Sind die Thiere höher gestellt, als der Wagen, wie es auf Gebirgswegen vorkommt, so geht ein Theil ihrer wirkenden Kraft verloren, und zwar um so mehr, je größer der Winkel der beiden Flächen ist, auf denen sich Wagen und Thiere befinden. Um diesen Verlust zu vermindern, muß man die Thiere so kurz als möglich an den Wagen spannen.

Steigt die horizontale Fläche  $me$  (Fig. 25) von  $e$  an nach  $n$ , befindet sich über dem horizontalen Theile in  $a$  der Widerstand, in  $c$  über dem aufwärts steigenden Theile die Kraft, deren Maß  $ac$  sein mag



(Fig. 25.)

Wird nun das Thier, welches um  $ck$  von dem Erdboden entfernt war, kürzer an den Wagen gespannt z. B. in  $r$ , wobei  $rx = ck$  seine Entfernung vom Erdboden ist und zerlegt man seine Kraft  $as$ , welche die vorige, also  $ac$  gleich ist, in die Seitenkräfte  $ao$  und  $so$ , so ist klar, daß das Thier jetzt besser wirken kann, als vorhin, weil der zur Wirksamkeit gelangende Antheil  $ao$  größer ist, als  $au$ .

Andere Fälle, in welchen Kräfte nicht an demselben Punkte, sondernt an verschiedenen Punkten eines starren Körpers angreifen, wenn sie nicht in derselben Ebene, sondern in verschiedenen wirksam und wenn sie veränderlich sind, werden bei späteren Untersuchungen zur Sprache kommen.

und ist  $av$  horizontal; so zeigt sich, daß bei der Zerlegung der Kraft  $ac$  in die Seitenkräfte  $au$  und  $cu$  nur der durch  $au$  ausgedrückte Antheil zur Geltung kommt.