



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

Fünfte Abtheilung. Von den Widerständen der Bewegung.

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

Fünfte Abtheilung.

Von den Widerständen der Bewegung.

Wenn wir nicht besondere Mittel anwenden, so kommt es bei irdischen Erscheinungen niemals vor, daß ein Körper bei seiner Bewegung nicht auf einen zweiten Körper trafe. Es ist nach dem Gesetze der Undurchdringlichkeit des Stoffes also nothwendig, daß die Kraft eines bewegten Körpers durch einen anderen Körper, auf welchen er trifft, vermindert werde. Das plötzliche Zusammentreffen zweier Körper, von welchen wenigstens der eine sich bewegt, nennt man Stoß; wenn sich aber ein Körper an einem andern, z. B. Wasser an Metall, oder in einem andern, z. B. eine abgeschossene Kugel in der Luft, bewegt, so daß also ein steter Wechsel der einander berührenden Theile stattfindet; so heißt die Kraftverminderung oder der dadurch erzeugte dauernde Widerstand, welchen die bewegende Kraft erleidet, die Reibung.

Zeigt ein Körper ein dauerndes Bestreben, einen anderen von ihm stets in denselben Punkten getroffenen zu bewegen, gleichgiltig, ob derselbe bewegt wird oder nicht; so ist diese Kraftäußerung ein Druck. Der Stoß ist ein augenblicklicher Druck, bei welchem der drückende Körper in Bewegung war.

Der Unterschied zwischen Druck und Stoß, so wie die Wirksamkeit der Kräfte in beiden Fällen läßt sich leicht erkennen, wenn man bei einer Gleichwage auf die eine Schale einen Körper legt, welcher zufolge der Erdanziehung einen Druck auf sie ausübt und auf die andere Schale von einer gewissen Höhe einen Körper fallen läßt, welcher durch seinen Stoß im Augenblicke des Aufschlagens entweder das Gleichgewicht herstellt oder jenes Gewicht in einer gewissen Zeit zu einer gewissen Höhe erhebt. Sollten z. B. 1000 Pfund auf der einen Wagschale eine Geschwindigkeit von 1 Fuß erhalten, so wäre es nur nothwendig, 8,3 Pfd. auf die andere mit einer Geschwindigkeit von einwenig mehr als 120 Fuß ($8,3 \cdot 120 = 996$) oder aus einer Höhe von 240 Fuß fallen zu lassen. Man kann demnach wirklich sagen, daß der Stoß durch die kleinste

Masse in Betreff des Erfolges dem Drucke durch die größte Masse gleich gesetzt werden kann. Wenn der drückende Körper am gedrückten Bewegung nicht hervorzubringen vermag, so ist der Widerstand des letzteren der Kraft des drückenden Körpers entweder gleich oder größer als sie; die etwa entstehende Bewegung ist der Unterschied des Druckes und des Widerstandes, welcher als Gegendruck angesehen werden kann. Belastet man eine elastische Spiralfeder, bis Ruhe eingetreten ist, so heben zwei entgegengesetzte Drucke einander auf. Ein Druck mit Bewegung ist u. a. vorhanden, wenn ein Gewicht auf einer Wageschale liegend mit ihr sinkt oder steigt oder wenn bei einer oberflächigen Mühle das Wasserrad sich dreht, während in dem Kasten drückendes Wasser vorhanden ist.

Wenn ein Körper an einem anderen sich reibt, so kommt es nicht darauf an, ob als bewegende Kraft der Stoß oder der Druck thätig war und deshalb ist es nicht nothwendig von dem Drucke noch besonders zu sprechen, sondern hinreichend, in den geeigneten Fällen das Nöthige darüber ergänzend anzuführen.

Erster Abschnitt.

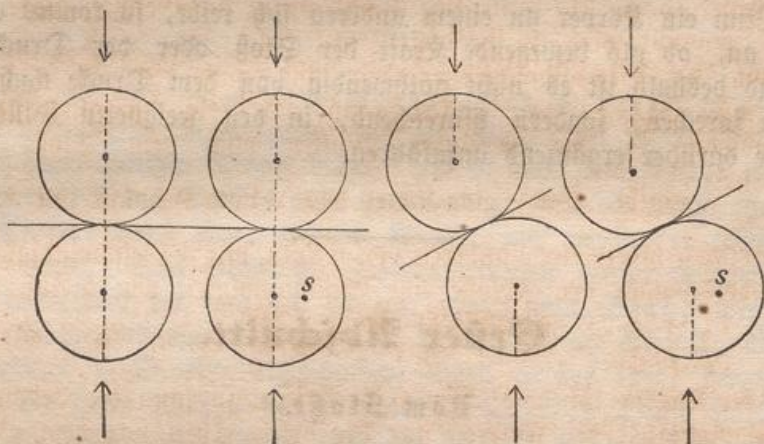
Vom Stöße.

Der Stoß ist die Aeußerung einer nur einen Augenblick wirkenden Kraft eines bewegten Körpers auf einen zweiten ruhenden oder zweier bewegten Körper aufeinander. Die Körper aller drei Aggregatzustände, die festen, die tropfbaren und die luftigen, können den Bedingungen des Stoßes ausgesetzt sein und deshalb sind eigentlich sechs Fälle denkbar. Wesentlich aber ist in allen Fällen noch, ob die Körper einen sehr geringen Grad von Elastizität besitzen, wie z. B. zwei Kugeln aus hartem Thone, oder einen sehr hohen, wie etwa zwei Eisenkugeln. Diese zwei Beispiele kommen den wissenschaftlich gedachten Extremen freilich nur nahe, ohne sie zu erreichen. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf diese Extreme.

I. Wir betrachten zunächst den Stoß fester Körper. Jeder feste Körper hat einen seiner Lage nach bestimmten Schwerpunkt. Wenn nun die Richtung der Bewegung der einander stoßenden Körper durch ihre Schwerpunkte geht, so heißt der Stoß ein zentraler, wenn aber diese Bedingung nicht erfüllt ist, ein exzentrischer. Beim zentralen Stöße liegen die Schwerpunkte der zusammentreffenden Körper in der durchlaufenen Bahn und alle bewegten Theile von ihnen bleiben in parallelen Linien mit ihr.

Nun kommt es ferner noch darauf an, welchen Winkel die Richtung des Stoßes mit der getroffenen Stelle oder eigentlich mit der, wenn auch außerordentlich kleinen Ebene, worin das Zusammentreffen der Körper stattfindet, bildet: ist derselbe ein rechter, so heißt der Stoß grade; ist er ein schiefer, so heißt auch der Stoß schief. Bei Kugeln und anderen krummflächigen Körpern muß man sich durch die getroffene Stelle die Berührungsebene gelegt denken.

Es ist klar, daß sowohl der zentrale, als auch der exzentrische Stoß sowohl grade als auch schief sein kann, daß es also vier einzelne Fälle gibt, welche Fig. 184 andeutet.



(Fig. 184.)

Der in den als Kugeln gedachten Körpern bezeichnete Punkt *s* soll den Schwerpunkt bedeuten, die mit den Pfeilen bezeichneten Linien die Richtungen des Stoßes und die Linie zwischen den beiden Kugeln die Berührungsebene der getroffenen Stelle oder auch überhaupt eine getroffene Ebene angeben. Es ist also 1, ein grader zentraler, 2, ein grader exzentrischer, 3, ein schiefer zentraler und 4, ein schiefer exzentrischer Stoß.

Soll von der einen Stoß bewirkenden Kraft alles nur zu einer fortschreitenden Bewegung verwendet werden, so muß sie grade durch den Schwerpunkt des Körpers wirken. Der stoßende Körper wirkt in gradem Verhältnisse zu seiner Masse und Geschwindigkeit. Wenn *M* die Masse eines Körpers, *G* seine Geschwindigkeit ist, so ist die Kraft *K* des stoßenden Körpers das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit, oder $K = MG$ (2 Zentner mit 3 Fuß Geschwindigkeit werden eine 6 mal größere Wirkung ausüben, als 1 Zentner mit 1 Fuß Geschwin-

digkeit); folglich wird die Geschwindigkeit gefunden, wenn man K durch M dividirt, d. i. $G = \frac{K}{M}$.

1) Wir betrachten zunächst den graden zentralen Stoß vollkommen unelastisch gedachter Körper.

Wenn die Masse des einen Körpers M , die des anderen m , die Geschwindigkeit des ersten G , die des zweiten g heißt und dieselben auf einer gradlinigen Bahn nach demselben Ziele hingehen; so ist die Kraft des ersten Körpers MG , die des zweiten mg und nach dem Zusammentreffen beider die Summe daraus oder $MG + mg$. Dieselbe Kraft muß auch unmittelbar nach dem Stoße in der Gesamtmasse beider Körper, d. i. $M + m$ liegen und wenn die Geschwindigkeit derselben X genannt wird, so ist diese Kraft $(M + m) \times X$. Da also die Summe der Bewegungsgrößen vor und nach dem Stoße dieselbe ist, so muß $MG + mg = (M + m) \cdot X$ sein, woraus sich die Geschwindigkeit X der vereinten Massen nach dem Stoße gleich $\frac{MG + mg}{M + m}$ ergibt. Ginge eine Kugel von 2 Loth Gewicht mit 11 Fuß

Geschwindigkeit hinter einer anderen von 6 Loth mit 3 Geschwindigkeit; so würden beide nach dem Stoße eine Geschwindigkeit von 5 Fuß haben, weil $\frac{2 \cdot 11 + 6 \cdot 3}{2 + 6} = \frac{22 + 18}{8} = \frac{40}{8} = 5$ ist. Weil die

Massen der Kugeln sich wie 2 zu 6 verhalten, so kann die Vermehrung der Geschwindigkeit der letzteren nur der dritte Theil von dem Verluste der ersteren sein: die stoßende Kugel verliert, da sie von 11 auf 5 Fuß herabgeht, 6 Fuß, die gestoßene bekommt zu ihren 3 Fuß nur 2 Fuß.

Ginge eine Kugel nicht hinter der anderen, sondern käme sie ihr entgegen, so würde die Bewegungsgröße der einen durch die der anderen nicht vermehrt, und es dürfte keine Addition, sondern es müßte eine Subtraktion derselben vorgenommen werden, so daß der Ausdruck für die Geschwindigkeit beider Massen nach dem Stoße $\frac{MG - mg}{M + m}$ ist.

In den beiden Ausdrücken $\frac{MG \pm mg}{M + m}$ liegen alle besonderen Fälle, welche man sich in Beziehung auf die Massen und Geschwindigkeiten der Körper denken kann, also natürlich auch der Fall, daß der eine von den Körpern, z. B. der mit der Masse m , ruht, wobei seine Geschwindigkeit Null ist, also auch mg Null wird und der einfache Ausdruck blos $\frac{MG}{M + m}$ heißt. Ist hierbei der ruhende wegen seiner großen

Masse m als ein unbeweglicher anzusehen, wie z. B. eine mit der Erde fest verbundene Wand oder selbst die ganze Erde, so wird der Ausdruck

$\frac{MG}{M+m}$, welcher die Geschwindigkeit beider nach dem Stöße angibt, Null oder der stoßende Körper bleibt nach dem Stöße an der Wand stehen. Bei dem Bruche ist nämlich der Nenner oder Divisor wegen des m unendlich groß, und daher der Bruch Null. (Je größer der Divisor für einen bestimmten Dividendus, desto kleiner ist der Quotient.)

Es kann allerdings wohl nicht in Abrede gestellt werden, daß der gestoßene Körper und selbst wenn es die ganze Erde ist, auf die man mit dem Fuße stampft, auch in Bewegung gerathen muß, aber sie ist so unendlich unbedeutend, daß sie als verschwindend klein anzusehen ist.

Ein anderer Fall ist es, wenn die Massen M und m einander gleich sind, wodurch der Ausdruck $\frac{MG \pm mg}{M+m}$ in $\frac{G \pm g}{2}$ übergeht; ruht der eine, z. B. der mit der Masse m , oder ist seine Geschwindigkeit Null, so ist der ganze Erfolg $\frac{G}{2}$, d. h. beide Körper gehen nach dem Stöße mit der halben Geschwindigkeit des stoßenden weiter fort.

Sind aber hierbei die Geschwindigkeiten zwar einander auch gleich kommen aber die Körper einander entgegen, so wird $\frac{G-g}{M+m}$ gleich Null oder die Körper bleiben an einander stehen.

Der Fall, daß die Geschwindigkeiten einander gleich sind und der eine Körper hinter dem anderen geht, mögen ihre Massen gleich oder ungleich sein, ist ausgeschlossen, weil ein Stoß nicht stattfinden kann, indem sie stets in derselben Entfernung von einander bleiben.

Die obigen Betrachtungen zeigen, wie man, wenn man statt besonderer bestimmter Zahlen und der in der Schriftsprache für sie eingeführten Ziffern allgemeiner Zeichen, wie der Buchstaben sich bedient, wobei jeder Buchstabe jede beliebige Zahl vertreten kann, nicht nur allgemeine Kürze in der Darstellung, sondern auch eine Allgemeinheit erreicht, welcher alle besonderen Fälle untergeordnet sind. Es bedurfte zur richtigen Auffassung nur der Kenntniß der vier ersten Rechnungsarten oder Spezies. Wenn wir auch von unseren Lesern nicht voraussetzen wollen, daß ihnen an mathematischen Entwicklungen der Gesetze gelegen sei, so kann es doch immerhin für sie von Interesse sein, an so höchst einfachen Beispielen zu erkennen, welche Gewalt die Mathematik auch in den Naturwissenschaften ausübt und wahrzunehmen, daß die Natur ebenso unfehlbar ist, wie die Mathematik: die Wahrheiten beider sind ewige Wahrheiten, welche keinem Wechsel der Zeiten und Verhältnisse unterworfen sind.

Die Kraft des Stoßes, welche man auch Perkussionskraft nennt, wird in vielen Fällen angewendet, wie bei allen Hochwerken (zum Zermalmen der Knochen für die Gewinnung des Knochenmehles,

zum Zerkleinern der Erze, um sie zu schlemmen oder zu schmelzen, zum Zerstampfen der Delfrüchte, zum Schmieden bei Frischfeuern), ferner bei den Rammen, bei den Geschossen u. s. w. Diese Kraft ist im graden Verhältnisse von der Masse und der Quadratzahl der Geschwindigkeit, welche der Körper im Augenblicke des Stoßes besitzt, abhängig. Ist M die Masse, G die Geschwindigkeit, so heißt der Ausdruck für die Kraft $K = MG^2$. Es ist also klar, daß selbst eine kleine Masse bei einer großen Geschwindigkeit eine bedeutende Kraft haben muß, um wievielmehr erst große Massen bei großen Geschwindigkeiten: wie eine Schneelavine, ein großer und schnellfahrender Eisenbahnzug.

Nach Versuchen übt ein Körper von 1 Pfund Gewicht bei einer Geschwindigkeit von 5,33 pariser Fuß in 1 Sekunde eine Kraft von 15,145 Pfunden aus; also werden M Pfunde bei 1 Fuß Geschwindigkeit in 1 Sekunde eine Kraft $M \cdot 15,145 \cdot \left(\frac{1}{5,33}\right)^2 = 0,53293 \cdot M$

besitzen und allgemein für G pariser Fuß Geschwindigkeit ist $K = 0,53293 M \cdot G^2$ und für die Fallhöhe H in pariser Fuß wird sie annähernd $30 \cdot MH$. Da bei wichtigen Bauten das Gewicht des Pfahles nur selten unter der Hälfte des Gewichtes des Rammklozes betragen wird, so kann man sich der letzten so bequemen Formel mit hinreichender Sicherheit bedienen.

Dieser Werth für die Perkussionskraft läßt sich nun für verschiedene Fälle in Anwendung bringen. Ihm ist u. a. ein großer Theil des bedeutenden Erfolges zuzuschreiben, welchen ein Hammer auf einen Keil, wozu auch die Nägel gehören, ausübt.

Wenn man einem Hammer von nur $\frac{1}{2}$ Pfund Gewicht eine Geschwindigkeit gibt, die er durch das freie Fallen in 1 Sekunde erhalten würde, so beträgt seine Kraft nach dem vorletzten Ausdrucke 239,8 Pfunde und nach dem letzten 225 Pfunde. Gibt man aber dem Hammer eine Geschwindigkeit von 50 Fuß, was man leicht im Stande ist, weil man einem mit der Hand geworfenen Steine erfahrungsmäßig diese Geschwindigkeit ertheilen kann; so ist die von ihm ausgeübte Kraft 666 Pfunde. Es wird also durch eine kleine Masse, welche mit einer großen Geschwindigkeit aufschlägt, ein verhältnismäßig sehr großer Erfolg erzielt: $\frac{1}{2}$ Pfund übt hier im bewegten Zustande einen Druck aus wie 666 Pfunde im ruhenden. Wenn mit dem Hammer ein Nagel eingetrieben werden soll, so geschieht dies leichter, wenn er mit seinem Kopfe an den Hammer irgendwie geklebt und mitbewegt wird, als wenn der Hammer auf den ruhenden Nagel schlägt, was leicht erklärlich ist.

Wenn eine 18 pfündige Kanonenkugel mit einer Geschwindigkeit von 1000 Fuß das Ziel trifft, so ist ihre Perkussionskraft 9592700 Pfd., eine 24 pfündige hat bei derselben Geschwindigkeit eine Kraft von

12790320 Pfunden. Fällt eine 100 Pfund schwere Bombe aus einer Höhe von 3600 Fuß, so ist ihre Kraft 10800000 Pfunde und eine selbst nur 1 löthige Flintenkugel, welche das Ziel mit 750 Fuß Geschwindigkeit erreicht, hat doch eine Kraft von 9992 Pfunden ($0,53293 \cdot \frac{1}{30} \cdot 750^2$, wenn das Pfund zu 30 Lothen gerechnet wird).

Wenn eindringende Geschützflugeln gleichzeitig sich um eine Axe drehen, so kann dies nicht nur während des Eindringens geschehen, sondern noch fortdauern, nachdem das Eindringen aufgehört hat. Daß dadurch auch noch bedeutend zerstörend wirkende Erfolge erreicht werden können, hat die neuere Kriegskunst gelehrt. Wie solche Drehungen erzeugt werden, wird später angeführt werden.

In praktischer Beziehung sind noch die Rammen wichtig, bei welchen ein Rammkloz oder Rammbär von einer gewissen Höhe auf einen lothrecht aufgestellten Pfahl fällt, um diesen dadurch in das Erdreich eindringen zu machen, damit er in Gemeinschaft mit anderen ebenso eingerammten die Last irgend eines Bauwerkes, namentlich von Brücken, trage. Je leichter ein Pfahl beim Rammen noch in den Erdboden eindringt, desto weniger wird er zu tragen im Stande sein. Man wird also, unter der Voraussetzung eines so großen Widerstandes, daß nach dem Stoße die gemeinschaftliche Bewegung verschwindet, aus der Tiefe, in welche der Pfahl durch einen Rammkloz von gewissem Gewichte bei gewisser Fallhöhe eindringt, die Tragfähigkeit theoretisch zu beurtheilen im Stande sein, nimmt aber der nöthigen Sicherheit wegen bei der praktischen Anwendung davon nur ein Drittel, höchstens die Hälfte. Wenn ein Pfahl durch das Fallen eines Rammbären von 1000 Pfunden bei einer Fallhöhe von 4 pariser Fuß gar nicht mehr eindrange, so hätte er nach der obigen Formel eine Widerstandskraft von 120000 Pfunden und würde auch eine ebenso große Belastung, namentlich im ruhenden Zustande, vertragen.

Wollte man beim Herabspringen von großen Höhen auf harte Gegenstände den Körper steif halten und auf die platten Sohlen springen, so daß nach dem Stoße die Bewegung verschwände, so wäre der an sich gefährliche Sprung am gefährlichsten. Ist der Gegenstand hart, so muß man auf die Zehen springen und mit den Füßen sowie dem ganzen Körper allmählich nachgeben; ist der Gegenstand nachgiebig, so ist dies zwar weniger nothwendig, aber immerhin sehr zweckmäßig, so daß man, wenn beiden Bedingungen genügt wird, von sehr bedeutenden Höhen ohne Gefahr springen kann. Ich habe z. B. gesehen, wie in New-York ein Mann bei einer Schauübung der deutschen Feuerwehrr-Kompagnie ohne alle Gefahr aus dem fünften Stockwerke auf eine von kräftigen Männern gehaltene Matte sprang.

Wirft man einen Körper lothrecht aufwärts, so wird seine Ge-

schwindigkeit durch die fortwährend in gleicher Stärke (ohne einen merklichen Fehler zu begehen) auf ihn rückwärts einwirkende Schwere verzögert, so daß sich die Höhen, bis zu welchen er steigt, wie die Quadratzahlen der Zeiten oder Geschwindigkeiten verhalten. Wenn man nun annimmt, daß der Pfahl, welcher eingerammt werden soll, an dem Erdboden einen sich gleichbleibenden Widerstand vorfindet; so wird seine Bewegung auch im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der Masse verzögert, oder die Tiefen des Eindringens, d. i. die Wirkungen verhalten sich wie die Produkte aus den eindringenden Massen und den Quadraten der Geschwindigkeiten. Bei verschiedenen Widerständen stehen die Tiefen des Eindringens im umgekehrten Verhältnisse zu den Widerständen.

Bei einer gewissen Geschwindigkeit sind die Tiefen des Eindringens der Masse des stoßenden Körpers und der Weichheit des gestoßenen proportional. Hierbei kommt natürlich noch die Gestalt des eindringenden Körpers in Betrachtung.

Wenn also beim Rammen ein Pfahl noch nachgibt, so wird seine Tragfähigkeit geringer sein, als es der Fall wäre, wenn er beim Rammen gar nicht mehr eindränge, und zwar um so geringer, je mehr er einem Rammkloze von bestimmtem Gewichte bei bestimmter Fallhöhe oder Geschwindigkeit nachgibt.

Da man selten das Eintreiben so weit fortsetzt, bis der Pfahl durch eine gewisse Ramme nicht mehr weiter getrieben werden kann, gleichwohl aber die Tragfähigkeit wissen will; so ist eine besondere Rechnung für den Widerstand, welchen der Pfahl der auf ihm ruhenden Last entgegensetzt, nothwendig, welche durch den Ausdruck $\frac{m^2 \cdot a}{(m + n) c}$ angegeben wird, worin m das Gewicht des Rammklozes in Pfunden oder Zentnern, n das des Pfahles, a die Fallhöhe des Rammklozes, c das Einsinken des Pfahles bei jedem Schläge, beide ausgedrückt in Fußen, bedeuten.

Wiegt z. B. das Rammkloz 1200 Pfund, der Pfahl 1040 Pfd., beträgt die Fallhöhe von jenem 4 Fuß und dringt der Pfahl bei den letzten 25 Schlägen nur noch $\frac{1}{4}$ Zoll, also bei jedem Schläge $0,000833$

Fuß tief ein; so ist der Widerstand des Pfahles $\frac{1200^2 \cdot 4}{2240 \cdot 0,000833}$

d. i. 3085700 Pfunde.

2) Etwas schwieriger ist die Betrachtung des graden zentralen Stoßes elastischer Körper.

Absolut elastische Körper gibt es nicht. Wäre ein massiver oder auch mit Luft gefüllter Gummiball, eine Kugel von Stahl u. dergl. vollkommen elastisch, so müßte ein solcher Körper, wenn man ihn auf eine ganz glatte und horizontal liegende Marmorebene fallen läßt, bis

zum Ausgangspunkte wieder aufspringen, was aber bekanntlich, auch abgesehen von dem Widerstande der Luft, nicht geschieht, indem die Höhen, zu denen er aufspringt, immer kleiner sind, als die, von denen er herabkommt, bis er durch allmähliche Verminderung der Sprunghöhen endlich zur Ruhe kommt. Gäbe es einen vollkommen elastischen Körper, so würde er, nachdem man ihn einmal hat fallen lassen, immerfort auf- und abwärts gehen in einer sich gleichbleibenden Bahn. Die Kraft, welche der Körper durch das Fallen erlangt hat, findet an dem festen unnachgiebigen Körper, welcher getroffen wird, einen Widerstand; mit dieser Kraft werden seine Theilchen aus ihrer ursprünglichen Lage gebracht, wobei er sich abplattet; ist die Wirkung des Stoßes vorüber, so tritt nun die Rückwirkung der Elastizität ein, nach welcher jedes Theilchen auf demselben Wege und mit derselben Kraft, der es gewichen ist, seine ursprüngliche Lage wieder einnehmen will. Aber auf diesen zwei Wegen, dem Hinwege sowohl, wie dem Rückwege, findet es einen Widerstand an jedem seiner Nachbarn, welche mit ihm die ursprüngliche Lage behalten wollen und daher wird schon auf dem Hinwege von dem Augenblicke der Berührung beider Körper bis zu dem Augenblicke, in welchem der ankommende nicht mehr abwärts geht, die Kraft des Stoßes vermindert und ebenso tritt der Einfluß der gegenseitigen Abschwächung bei der rückwirkenden Bewegungskraft hervor, wodurch die ganze Rückwirkung geringer erscheint, als die Wirkung auf dem Hinwege. In den folgenden Betrachtungen nehmen wir die Körper zunächst als vollkommen elastisch an.

Wenn eine elastische Kugel von der harten horizontalen Ebene bis zu ihrem Ausgangspunkte zurückspringt, so hat sich bei dem Stoße ihre Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung nicht nur ganz verloren, was nur dann der Fall sein würde, wenn sie liegen bliebe, sondern sie erleidet diesen Verlust noch einmal, indem sie einen entgegengesetzten Weg mit gleicher Kraft einschlägt; also ist ihr Verlust an Geschwindigkeit durch die Rückwirkung der Elastizität ein doppelter geworden.

Wir haben früher gesehen, daß ein beweglicher oder auch bereits bewegter Körper durch den Stoß von einem anderen an seiner Geschwindigkeit gewinnt. Auch dieser Gewinn ist für elastische Körper ein doppelter; denn durch den Stoß erhält auch der gestoßene Körper einen Eindruck, welcher diesem Gewinne entspricht, und dieser Eindruck setzt durch die ebenso große Rückwirkung der Elastizität denselben Gewinn noch zu jenem.

Durch diese Ueberlegung lassen sich die Erscheinungen, welche zwei frei hängende Elfenbeinkugeln darbieten müssen, in Voraus bestimmen, mögen die Kugeln beide in Bewegung gesetzt werden, oder nur eine, mögen ihre Massen und Geschwindigkeiten theils gleich, theils ungleich sein, mögen sie nach derselben Richtung oder gegeneinander gehen, wenn man nur zunächst die Resultate auffucht, welche sich ergeben würden,

wenn die Kugeln unelastisch wären und dann die beziehungsweise sich ergebenden Gewinne oder Verluste für die betreffende Kugel verdoppelt. Aber auch hier ist es interessant, einen allgemeinen Ausdruck kennen zu lernen, welchem jeder einzelne Fall untergeordnet ist, also auch der, daß ein elastischer Körper auf eine feste unnachgebige Wand trifft.

Zur Erleichterung für die Auffindung dieses allgemeinen Ausdruckes, wollen wir uns eines besonderen Falles bedienen: es gehe eine Kugel von 4 Loth mit einer Geschwindigkeit von 8 Fuß hinter einer anderen von 2 Loth, welche nur 2 Fuß Geschwindigkeit hat; was wird der Erfolg des graden zentralen Stoßes sein?

Wären die Kugeln unelastisch, so würden sie zufolge der obigen Betrachtungen nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von 6 Fuß gemeinschaftlich nach derselben Richtung weiter fortgehen; denn M ist gleich 4, $G = 8$, $m = 2$, $g = 2$, also:

$$\frac{MG + mg}{M + m} = \frac{4 \cdot 8 + 2 \cdot 2}{4 + 2} = 6 = x.$$

Es hat demnach die erste Kugel von ihrer Geschwindigkeit $G = 8$ verloren 2 oder $8 - 6 = G - x$, die zweite hat zu ihrer Geschwindigkeit $g = 2$ gewonnen 4 oder $6 - 2 = x - g$.

Sind aber die Kugeln elastisch, so verliert die erste, welche nach dem Stoße nur noch $x = 6$ Fuß Geschwindigkeit hatte, noch einmal 2 Fuß ($G - x$), hat also noch 4 Fuß; und die zweite, welche nach dem Stoße auch $x = 6$ Fuß Geschwindigkeit besaß, gewinnt noch einmal 4 Fuß ($x - g$), hat also jetzt 10 Fuß. Nach dem Stoße wird also die gestoßene Kugel mit 10 Fuß Geschwindigkeit vorwärts eilen, die stoßende nur mit 4 Fuß ihr nachkommen.

Es ist nun nicht mehr schwer, diesen Betrachtungen einen allgemeinen Ausdruck zu geben. X oder $\frac{MG + mg}{M + m}$ war die gemeinschaftliche Geschwindigkeit beider Körper nach dem Stoße, wenn wir sie unelastisch annehmen. Sind sie elastisch, so

verliert die Masse M von ihrer Geschwindigkeit x noch ($G - x$) und hat daher $2x - G$, und es gewinnt die Masse m zu ihrer Geschwindigkeit x noch $x - g$ und hat daher $2x - g$.

Wenn man für X seinen obigen Werth setzt, so erhält man für die Geschwindigkeit der Masse M

$$I. \quad 2 \cdot \frac{MG + mg}{M + m} - G \text{ oder } \frac{2mg + (M - m)G}{M + m}$$

und als Geschwindigkeit der Masse m:

$$II. \quad 2 \cdot \frac{MG + mg}{M + m} - g \text{ oder } \frac{2MG + (m - M)g}{M + m}$$

Es ist klar, daß diese beiden Ausdrücke auch das obige Beispiel in sich enthalten, was daran bestätigt werden kann, wenn man die besonderen Zahlenwerthe für die Buchstaben setzt. Man erhält nämlich als Geschwindigkeit

für die stoßende Masse:

$$\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 + (4-2) 8}{4+2} = \frac{8+16}{6} = \frac{24}{6} = 4 \text{ und}$$

für die gestoßene:

$$\frac{2 \cdot 4 \cdot 8 + (2-4) 2}{4+2} = \frac{64-4}{6} = \frac{60}{6} = 10, \text{ wie oben.}$$

Holt eine Kugel von 2 Loth mit 8 Fuß Geschwindigkeit eine andere von 4 Loth mit 2 Fuß Geschwindigkeit ein, so kommt die stoßende zur Ruhe und die gestoßene geht mit 6 Fuß Geschwindigkeit fort; denn die erste verliert 2×4 und die zweite gewinnt 2×2 Fuß.

Befolgen beide Kugeln nicht dasselbe Ziel, sondern sind ihre Bewegungsrichtungen einander entgegengesetzt, oder kommen sie einander entgegen, so darf man in den obigen beiden Ausdrücken überall, wo die Geschwindigkeit g der entgegenkommenden Masse m vorkommt, nur die Rechnung in die entgegengesetzte verwandeln, d. h. die Addition in die Subtraktion und umgekehrt.

Es wird demnach aus I. für die Masse M die Geschwindigkeit

$$\text{III. } \frac{(M-m) G - 2mg}{M+m}$$

und aus II. für die Masse m die Geschwindigkeit

$$\text{IV. } \frac{2MG - (m-M)g}{M+m} \text{ oder } \frac{(M-m)g + 2MG}{M+m}$$

Alle diese vier Ausdrücke enthalten noch andere Fälle in sich, welche auch als allgemeine anzusehen sind.

In den beiden ersten Fällen können wir nur die Massen M und m gleich groß annehmen, nicht aber die Geschwindigkeiten, weil sonst ein Einholen nicht stattfände; in den anderen Fällen können die Massen ungleich oder gleich und die Geschwindigkeit der einen auch Null sein. Ist letzteres der Fall, so kann die Masse des ruhenden Körpers als unbeweglich (unendlich groß) angesehen werden.

a) Sind nur die Massen gleich, so gehen die obigen vier Ausdrücke über in

$$1) g, \quad 2) G, \quad 3) -g, \quad 4) G.$$

Holt z. B. eine Kugel von 11' Geschwindigkeit eine andere gleich große von 5' Geschwindigkeit ein, so hat jene nach dem Stoße 5', diese 11' Geschwindigkeit, oder sie gehen mit vertauschter Geschwindigkeit in

der ursprünglichen Richtung fort. — Kommt aber einer Kugel von 11' Geschwindigkeit eine andere gleich schwere mit 5' Geschwindigkeit entgegen, so geht die erste mit 5' zurück und die zweite mit 11' auch zurück, also sie springen mit vertauschter Geschwindigkeit jede rückwärts.

b) Sind die Massen ungleich und ruht die eine, z. B. die mit der Masse m , so daß g gleich Null ist; so gehen die beiden ersten, sowie die beiden letzten Ausdrücke über in

$$1) \frac{(M-m)G}{M+m} \quad \text{und} \quad 2) \frac{2MG}{M+m}.$$

Trifft eine 8 Loth schwere Kugel mit 5' Geschwindigkeit auf eine ruhende von 2 Loth, so geht nach dem Stoße die erste mit 3', die gestoßene mit 8' Geschwindigkeit in der Richtung der stoßenden vorwärts. Wenn aber eine Kugel von 2 Loth mit 5' Geschwindigkeit auf eine ruhende von 8 Loth trifft, so geht die erste mit 3' rückwärts und die letzte mit 2' vorwärts.

c) Sind die Massen gleich und ruht die eine Kugel, so entstehen die Ausdrücke:

$$1) 0 \quad \text{und} \quad 2) G,$$

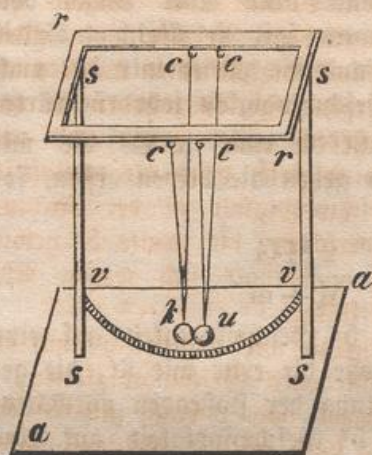
d. h. die stoßende Kugel bleibt stehen und die gestoßene geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden vorwärts.

d) Trifft eine Kugel eine unnachgebige Wand, so müssen wir die Geschwindigkeit g derselben Null und ihre Masse unendlich groß annehmen und den ersten oder dritten der obigen Ausdrücke verwenden. Ist $g = 0$, so ist auch $2mg$ gleich Null und in dem, was übrig bleibt, nämlich in $\frac{(M-m)G}{M+m}$, ist M gegen m so ungemein klein, daß es ohne merklichen Fehler ausgelassen werden kann und nur noch $\frac{-mG}{m}$ stehen bleibt, was $-G$ gibt, weil gleiche Faktoren im Zähler

und Nenner eines Bruches ausgelassen werden können. Da nun M mit der Geschwindigkeit $+G$ an die Wand kam und nach dem Stoße die Geschwindigkeit $-G$ hat, so geht es also mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit der es ankam; dieser Sinn liegt nämlich in dem Zeichen vor G . Es ergibt sich also auch aus diesen Betrachtungen die Erscheinung ebenso, wie wir sie schon vorher kennen gelernt haben.

Wir sehen auch an diesen Betrachtungen wieder, welche durchgreifende Gewalt die mathematischen Betrachtungen ausüben. Es hat aber auch nicht minderes Interesse, es zu beobachten, wie keiner dieser Fälle sich dem Gesetze entzieht. Zu diesem Zwecke hat man die sogenannte Perkussionsmaschine von verschiedener Einrichtung konstruirt.

Auf einem Brette aa (Fig. 185) befinden sich zwei Ständer ss , welche einen Rahmen rr in der Form eines Oblongums tragen. An



(Fig. 185.)

Die Versuche bestätigen in überraschender Weise die oben angeführten Gesetze, natürlich stets mit Berücksichtigung des Umstandes, daß auch Elfenbeinkugeln nicht absolut elastisch sind. Sind die Kugeln gleich schwer, hebt man die eine *k* um einen gewissen Bogen und läßt sie dann los; so springt nach dem Stöße die andere *u* um einen ebenso großen Bogen aufwärts, während *k* stehen bleibt; nach dem Zurückkommen der Kugel *u* bleibt sie stehen und *k* springt aufwärts u. s. w.

Sind die Kugeln von ungleichem Gewichte, so geht die getroffene um so schneller vorwärts, je gewichtiger die stoßende bei bestimmter Geschwindigkeit ist; die stoßende selbst kann entweder nach vorwärts gehen oder auch zurückspringen.

Hält man die eine, wenn sie ungleich sind, am besten die größere, mit der Hand fest, so vertritt sie eine unnachgiebige Wand und die andere springt mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit welcher sie ankam.

Hebt man jede von zwei gleichen Kugeln um denselben Bogen in die Höhe und läßt sie dann gleichzeitig los, so springt jede auf ihrem Wege mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie einander trafen, zurück; hebt man sie zu ungleichen Höhen, so springen sie mit ver- tauschter Geschwindigkeit rückwärts; hebt man ungleiche Kugeln zu gleichen Höhen, so kommt es auf das Verhältniß ihrer Massen an, ob sie nach dem Stöße von einander abspringen oder in gemeinschaftlicher Richtung fortgehen.

Geht eine Kugel von 4 Loth mit 3' Geschwindigkeit einer anderen von 2 Loth und auch 3' Geschwindigkeit entgegen, so geht jede nach dem Stöße zurück, die erste mit 1', die zweite mit 4' Geschwindigkeit. Wären nämlich die Kugeln unelastisch, so würden sie beide mit 1 Fuß Geschwindigkeit in der Richtung der ersten fortgehen, so daß die erste von ihrer Geschwindigkeit 2' verloren, die zweite zu ihrer Geschwindig-

den langen Seiten desselben sind in gleichen Entfernungen von einander und paarweise einander rechtwinklig gegenüber. Haken oder Desen, um durch sie dünne Seidenfäden, die zur Bequemlichkeit auch wohl durch kleine Schrauben verlängert oder verkürzt werden können, zu ziehen und an jedes Paar eine Elfenbeinkugel, wie *k* und *u*, zu binden. Außerdem ist unterhalb der Kugeln zwischen den Ständern ein eingetheilter Kreisbogen *v, v*. Statt bloß zwei gleich große oder ungleiche Kugeln können eine beliebige Menge so aufgehängt werden, daß alle ihre Mittelpunkte in einer graden Linie liegen.

keit 3' gewonnen hat. Setzt man diesen Verlust und Gewinn noch einmal hinzu, so bekommt man das angegebene Resultat. — Wenn aber eine Kugel von 10 Loth mit 3' Geschwindigkeit einer anderen von 2 Loth und derselben Geschwindigkeit entgegenginge, so würden sie nach dem Stoße beide in der Richtung der ersteren weiter gehen und zwar die erste mit 1', die zweite mit 7' Geschwindigkeit; denn als unelastische würden sie nach dem Stoße beide 2' Geschwindigkeit in der Richtung der größeren haben, so daß die erste 1' verloren, die zweite 5' gewonnen hätte. Dieser Verlust und Gewinn wiederholt sich wegen Rückwirkung der Elastizität und daher das Resultat.

Das Abspringen oder Hintereinandergehen wird natürlich auch eintreten bei verschiedenen Massen und verschiedenen Geschwindigkeiten, je nach ihrem Verhältnisse. Stößt eine Kugel von 9 Loth mit 5' Geschwindigkeit eine entgegenkommende von 3 Loth mit 7' Geschwindigkeit, so geht jede zurück, jene mit 1', diese mit 11' Geschwindigkeit. — Wenn aber eine 15löthige mit 5' Geschwindigkeit einer 3löthigen mit 7' Geschwindigkeit begegnet, so gehen beide nach dem Stoße in der Richtung der ersteren, jene mit 1', diese mit 13' Geschwindigkeit.

Alle diese Beispiele sind den allgemeinen Ausdrücken unterworfen. Das meiste praktische Interesse aber hat der Fall, daß eine ganze Reihe von gleich großen oder ungleichen Kugeln so aufgehängt sind, daß alle ihre Mittelpunkte in derselben graden Linie liegen.

Sind sie alle gleich schwer, hebt man die erste auf und läßt sie einen graden zentralen Stoß ausüben, so springt nur die letzte mit derselben Geschwindigkeit ab, mit welcher jene aufgefallen war; läßt man die beiden ersten auffspringen, so springen die beiden letzten ab u. s. w. Es bleibt also die Bewegungsgröße stets dieselbe, die mittelsten Kugeln dienen nur dazu, den Stoß von einer auf die andere fortzupflanzen, stets beginnend von der vorausgehenden Kugel. Wenn von 10 Kugeln 6 stoßen, also 4 gestoßen werden, so fliegen doch auch 6 ab und es sind von den 6 stoßenden die beiden vorderen zugleich gestoßene, aber sie müssen zuerst selbst den Stoß vollbracht haben.

Wenn man 100 Kugeln, von denen jede folgende nur die Hälfte der Masse von der unmittelbar vorhergehenden hätte, in der oben angegebenen Weise anbrächte, und man ließe die größte nur mit 1 pariser Fuß Geschwindigkeit auf die zweite fallen; so würde die kleinste mehr als 97 Millionen Meilen in 1 Sekunde zurücklegen.

Wenn man bei einem Gypspfeifenrohre gegen das obere Ende einen kreisförmigen Einschnitt gemacht hat und es dann lothrecht auf die Diele fallen läßt, so springt das obere Stück beim Aufschlagen ab und in die Höhe. — Aehnlich ist das Aufspringen einzelner Spielkarten aus einem ganzen Spiele.

Es ist sehr natürlich, daß die Stöße, welche beim Fahren auf einem Steinpflaster durch die Wagenräder ausgeübt werden, indem

diese theils von Stein auf Stein springen, theils von Steinen abgleiten, von Stein zu Stein bis an die Häuser fortgepflanzt werden. Wollte man also die Häuser nicht so bedeutenden und bei großen Höhen derselben nicht ungefährlichen, wenigstens ihre Dauer verkürzenden Erschütterungen aussetzen, so müßte man das Pflaster nicht gewaltsam an die Mauer einlegen, sondern einen Zwischenraum lassen, welcher mit lockerem Erdboden auszufüllen wäre; denn daß festes Erdreich die Stöße besser fortpflanzt, als loses, kann man recht deutlich bei hartem Winterfroste wahrnehmen.

Hierher gehört noch eine Erscheinung, welche allerdings etwas sehr Auffallerdes darbietet, nämlich die Methode des Sprengens von Steinen mittelst Pulver. Man macht zu diesem Zwecke in den zu sprengenden Felsen mit Stahlmeißeln runde Löcher, welche nach der Größe des einzelnen Steines oder der Beschaffenheit des Felsens eine verschiedene Tiefe haben. Um den Tunnel durch den Mont-Cenis zu brechen, macht man Bohrlöcher von 0,6 bis 0,8 Meter Tiefe und thut in jedes ungefähr 2,5 Kilogramme Pulver. Gewöhnliche Arbeiter setzen auf das Pulver einen Strohhalm von etwas größerer Länge, als das Bohrloch tief ist, in welchem sie einen hervorragenden Eisendraht (besser wegen geringerer Gefährlichkeit beim Herausziehen einen Kupferdraht) stecken; dann stampfen sie in das Bohrloch Brocken von gebrannten oder anderen Steinen, ja wohl auch Kleie, Sägespäne, Asche oder gießen sogar Wasser hinein, wenn statt des Strohhalms ein anderes Röhrchen, z. B. von einem markigen Holzgewächse verwendet worden ist; nun ziehen sie den Strohhalm heraus, schütten in das Röhrchen Pulver oder Pulverstaub und zünden es durch einen Schwamm an, was aber gefährlicher ist, als wenn man einen langsam brennenden Zündfaden anwendet.

Auf diese Weise werden allerdings bedeutende Felsen gesprengt, besonders wenn man die Bohrlöcher in der Richtung der natürlichen Schichten des Gesteins machen kann; aber man erreicht mit viel weniger Pulver dasselbe Resultat, wenn man unter und über dem Pulver etwas Luft läßt und obenauf feinen Flußsand lose schüttet. Es lassen sich so nicht bloß einzelne Blöcke, sondern die größten anstehenden Felsen sprengen. Von dem Einflusse der Luft kann man sich leicht überzeugen, wenn man in die Mitte eines Flintenlaufes Pulver bringt, zu beiden Seiten desselben etwas Luft läßt und die übrigen beiden Theile lose mit Sand anfüllt. Beim Anzünden des Pulvers wird nur der mittlere Theil des Laufes gesprengt, während die beiden Enden mit dem darin meist liegenbleibenden Sande ganz bleiben.

Es ist also die Frage zu beantworten: warum schleudert die Kraft des explodirenden Pulvers, welche eine Anfangsgeschwindigkeit von mindestens 2000 Fuß zu erzeugen im Stande ist, nicht die losen Sandkörner heraus, sondern warum sprengt sie den festen Felsen? Wären

die Sandkörner absolut elastisch und fände eine genaue Berührung derselben unter einander statt, so würde allerdings die oberste Schicht mit der genannten Geschwindigkeit fortgeschleudert, wie es bei den Eisenkugeln der Fall war; wären aber die Körner ganz unelastisch und denken wir sie uns vom Pulver an nach der Oeffnung in Schichten zerlegt, so würde die Mittheilung der Geschwindigkeit von Schicht zu Schicht mit einer stetig wachsenden Verminderung verbunden sein, die bei nur 60 Schichten und der obigen Anfangsgeschwindigkeit von 2000

Fuß für die letzte blos noch $\frac{1}{10000}$ Fuß betragen würde; je mehr die

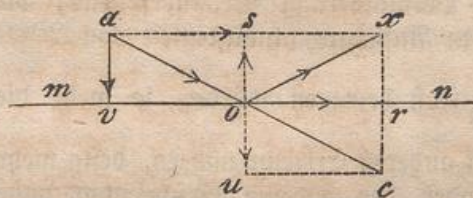
Körperchen sich dem einen oder dem anderen Extreme nähern, desto mehr wird auch der Erfolg der einen oder der anderen Erscheinung nahe kommen. Wegen der unvollständigen Berührung der einzelnen Schichten ist es der dem Pulver zunächst befindlichen während der freilich kurzen Zeit der Umwandlung des Pulvers in Gas gestattet, sich den anderen zu nähern, was umsoweniger geschieht, je näher sie an der Mündung liegen. Der Erfolg davon ist, daß die tiefsten Sandkörner am meisten pulverisirt sind, die obersten gar nicht. Weil Flüssigkeiten den empfangenen Stoß sofort durch ihre ganze Masse verbreiten, sind sie zur Sperrung des Schießpulvers ungeeignet. In der ein Ganzes bildenden Felsenmasse ist die Fortpflanzung der Bewegung viel schneller und es bedarf auch nur einer Bewegung durch einen geringen Raum, um die innig zusammenhängende Masse zu trennen. Ebenso wird ja eine einzelne Flintenkugel, welche auf dem das Pulver fest abschließenden Pfropfen sitzt, herausgeschleudert; ist aber eine Reihe von Kugeln in den Lauf geladen, so wird derselbe zersprengt.

Was nun noch den beim Sprengen günstigen Einfluß der Luft betrifft, so ist ihre Nachgibigkeit die Veranlassung, daß sich die ganze Kraft der Gase während ihrer Bildung aus dem Pulver entwickeln kann, um dann in einem einzigen Stoße um so gewaltiger zu wirken, zumal die dadurch zusammengepreßte Luft ebenfalls einen hohen Wärme-grad entwickelt und treibend wirkt. Erwärmte Geschütze schießen ja auch schärfer, als ganz kalte. Uebrigens erlangt eine fest auf dem Pulver sitzende Kugel ihre Geschwindigkeit erst allmählig bei der fortschreitenden Entwicklung der Gase. Nun erklärt sich auch, warum Gewehre, deren Mündung mit losem Erdboden oder selbst mit Schnee verstopft ist, so leicht zerspringen.

3) Bei dem schiefen zentralen Stoße ist, um den Erfolg richtig beurtheilen zu können, stets eine Zerlegung der im Stoße liegenden Kraft in ihre zwei Seitenkräfte nothwendig, von denen die eine lothrecht auf der Stelle, in denen die Körper zusammentreffen, steht, die andere aber mit dieser als Ebene zu betrachtenden Stelle vollkommen parallel geht.

Wenn ein harter unelastischer Körper in lothrechter Richtung gegen einen anderen ebensolchen und unbeweglichen stößt, so wird seine Bewegung durch den Widerstand desselben vollständig aufgehoben; wenn aber ein elastischer auf einen ebensolchen, aber unnachgiebigen, lothrecht stößt, so wird jener mit der Kraft des Stoßes wieder lothrecht zurückgeworfen.

Wenn aber ein harter unelastischer Körper schief in der Richtung



(Fig. 186)

ao (Fig. 186) gegen die harte unelastische Ebene mn stößt und ao oder oc zugleich das Maß der stoßenden Kraft ist, so muß sie in die zwei Seitenkräfte as oder or, parallel mit der Ebene, und av oder ou lothrecht auf der Ebene aufgelöst werden. Die letztere verschwindet durch den Widerstand der Ebene und nur die erste bleibt, so daß der Körper längs der Ebene mit der Kraft or, welche kleiner, als ao ist, hingehet.

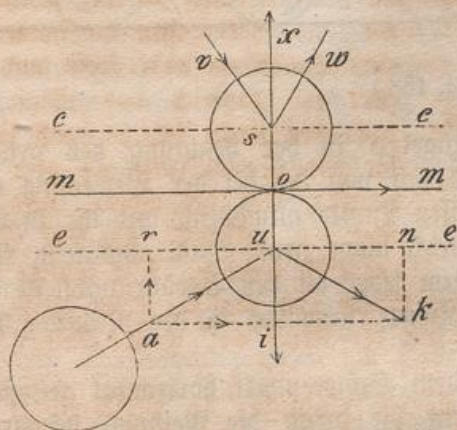
Sind in diesem Falle die Körper elastische, so verschwindet im Punkte o die lothrechte Kraft av nicht, sondern sie wird in die ihr gleiche os verwandelt, so daß der Körper im Augenblicke des Stoßes in o durch die beiden Kräfte or und os angeregt wird und daher den aus ihnen resultirenden Zwischenweg ox einschlagen muß, welcher zugleich das Maß der Kraft nach dem Stoße angibt, welche gleich ao ist.

Den Winkel, welchen die Richtung ao des Stoßes mit der durch den Treffpunkt auf der getroffenen Stelle lothrecht stehenden Linie, dem Einfallslothe, bildet, nennt man den Einfallswinkel; den Winkel aber, welchen die Richtung ox, in welcher nach dem Stoße die Bewegung fortgesetzt wird, mit dem Einfallslothe bildet, nennt man den Ausfallswinkel. Diese Winkel sind einander stets gleich, welcher Natur auch die elastischen einander treffenden oder stoßenden Körper sein mögen, so daß das durch alle physikalischen Erscheinungen (auch Schall, Wärme, Luft u. s. w.) geltende höchst wichtige Gesetz aufzustellen ist:

Beim Zusammentreffen elastischer Körper sind Einfallswinkel und Ausfallswinkel stets gleich.

Schießt man auf einen Wasserspiegel oder auf den Erdboden unter einem kleinen Winkel gegen den Horizont, so springen die Kugeln wiederholt ab und auf, wobei aber wegen des Gewichtes der Kugeln der Ausfallswinkel stets etwas größer wird, als der zu ihm gehörige Einfallswinkel, so daß die Sprünge immer kürzer werden, bis auf ebenem Erdboden die Kugeln nur noch rollen. Dies sind die Rikochett- oder auch Kollschüsse, welche rechtzeitig angewendet ungeheuer verheerend wirken. Wem ist nicht auch das Spielwerk bekannt, einen flachen Stein durch einen recht schrägen Wurf von einem ruhenden Wasserspiegel wiederholt aufspringen zu machen? Ist am jenseitigen Ufer eines stehenden

Gewässers eine Scheibe aufgestellt, so wird man wenig vom Ziele fehlen, wenn man statt nach der Scheibe, nach ihrem Bilde im Wasser schießt, wenn nur das Ricochettiren recht vollkommen ist. Unter Umständen könnte dieses wohl auch im Kriege angewendet werden.



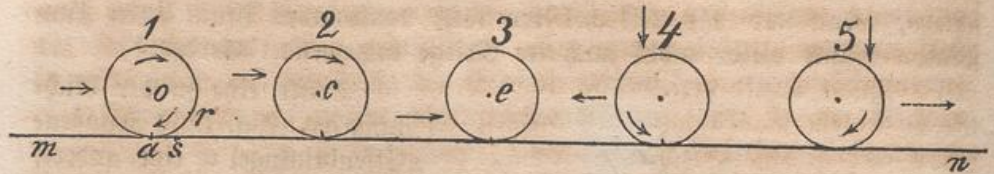
(Fig. 187.)

die Kraft des schiefen Stoßes, für welchen au das Maß sein mag, von dem Treffpunkte o oder von u aus zerlegen in zwei Seitenkräfte, welche in den Richtungen ux und ue wirken und durch die Linien $ar = ui$ und $ai = un$ gemessen werden. Wäre die Kugel s befestigt, so würde sich aus diesen beiden Kräften uk allein als Rückweg für u ergeben; da aber s beweglich und auch elastisch angenommen worden ist, so erhält sie wegen der Rückwirkung der Elastizität der u einen graden zentralen Stoß durch die erste Seitenkraft und geht in der Richtung sx fort.

Stände aber die Kugel s beim Stoße nicht still, sondern würde sie in der Richtung vs gestoßen; so würden die durch die Mittelpunkte der Kugeln gehenden, auf der Berührungsebene in o lothrecht stehenden und rückwirkenden Seitenkräfte mit den beiden anderen zusammengesetzt werden müssen und u würde nach dem Stoße, wie vorhin, in der Richtung uk , s in der Richtung sw abspringen.

4) Der exzentrische Stoß, er mag nun ein grader oder schiefer sein, bietet außer den angeführten Bewegungen noch eine neue, nämlich eine drehende, dar. Eine auf einer rauhen Tuchfläche liegende Eisenkugel wird freilich auch durch einen ihr ertheilten graden zentralen Stoß außer der fortschreitenden noch eine drehende Bewegung erlangen, aber nur durch die Reibung oder den Widerstand der Unterlage, welche jeden mit ihr zur Berührung kommenden Punkt der Kugel zurückzuhalten sucht.

Trifft eine in der Richtung au (Fig. 187) gestoßene Eisenkugel u eine andere, aber ruhende s im Punkte o , so läßt sich der Erfolg auf folgende Weise leicht bestimmen. Ist su die Verbindungslinie beider Kugelmittelpunkte, legt man durch den Treffpunkt o die Berührungsebene mm , welche auf su lothrecht ist, und noch die beiden mit ihr parallelen cc und ee , welche durch die Mittelpunkte der Kugeln gehen; so müssen wir



(Fig. 188.)

Wird also (Fig. 188) der Kugel o in der Richtung des graden Pfeiles der Stoß erteilt, so wird sich von ihr bei der Bewegung auf der Ebene mn der Bogen ar , dessen Punkte allmählich mit ihr in Berührung kommen, nicht auf eine gleich lange grade Linie abwickeln, sondern auf eine kürzere as , und indem jeder an der Berührungsstelle zurückgehalten wird, dreht sich die Kugel rückwärts in der Richtung des auf ihr gezeichneten Pfeiles.

Wird die Kugel c (2) über dem Schwerpunkte horizontal gestossen, so geht sie rascher vorwärts, indem die durch die Reibung hervorgebrachte Drehung unterstützt wird; stößt man die Kugel e (3) unterhalb des Schwerpunktes horizontal, so wird eine Drehung erzeugt, die der bei der fortschreitenden Bewegung hervorgebrachten entgegengesetzt ist und es kann der Fall eintreten, daß die Kugel, nachdem sie eine Strecke vorwärts gegangen ist, wieder zurückkommt, wenn nämlich die Kraft des Stoßes so groß war, daß die rückwärtsdrehende Bewegung noch fort-dauert, während die vorwärtsgehende durch die Reibung bereits aufgehoben ist.

Wird die Kugel hinter dem Schwerpunkte lothrecht von oben nach unten gestossen (4), so geht sie mit geschwächter Vorwärtsdrehung um eine horizontale Ase dann rückwärts; wird sie (5) vor dem Schwerpunkte lothrecht von oben nach unten gestossen, so geht sie mit geschwächter Rückwärtsdrehung dann vorwärts; wird sie seitwärts vom Mittelpunkte rechts oder links gestossen, so bekommt sie dadurch eine Drehung um eine lothrechte Ase, welche mit der wälzenden Drehung sich zu einer um eine schräge Ase zusammensetzt.

Man kann eine Kugel auf dem Billarde auch zwingen, sich in einem Bogen zu bewegen. Steht sie nämlich an einer Seitenwand und erteilt man ihr, etwa mit dem Ballen der Hand, einen schiefen und exzentrischen Stoß über dem Schwerpunkte, so wird sie unter einem spitzen Winkel zurückgeworfen und bekommt zugleich eine nach der Wand gerichtete Drehung um eine Ase, welche schief gegen die Wand geneigt ist, so daß die Kugel dadurch von jedem Punkte ihrer sonst gradlinigen Bahn abgeführt wird.

In den Kreis dieser Betrachtungen gehört auch die Anwendbarkeit des ballistischen Pendels zur Bestimmung der Geschwindigkeit von

Geschossen, worauf wir früher schon bei Besprechung des Gesetzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft hingewiesen haben. Wenn die Masse m geeignet ist, einen gewissen Widerstand durch den Raum r in einer gewissen Zeiteinheit zu überwinden, so ist bekanntlich das Produkt mr die lebendige Kraft der Masse m . Wenn nun diese Kraft im Stande ist, bei einem Stöße auf die äußerst leicht bewegliche Masse M derselben eine gewisse Geschwindigkeit G zu geben und dabei ihre eigene Geschwindigkeit zu verlieren; so ist die lebendige Kraft auf M übertragen und gleich MG , also $mg = M \cdot G$ und daraus ist $g = \frac{M \cdot G}{m}$.

Bedeutet also M das Gewicht eines etwa mit Steinen gefüllten gewichtigen Kastens, welcher mittelst einer schneidenförmig gestalteten stählernen Axt auf einer harten und polirten Unterlage sich sehr leicht bewegen kann; m das Gewicht einer auf diese Masse abgeschossenen Büchsenkugel und G die dem Kasten dadurch ertheilte Geschwindigkeit, zu deren Beobachtung unten am Kasten eine Metallspitze angebracht ist, welche in weiches Wachs bei ihrer Bewegung eine Spur macht: so ist die Geschwindigkeit der Kugel nach dem obigen Ausdrucke leicht zu berechnen.

Wir werden später in der Elektrizitätslehre noch andere und sehr sinnreiche Methoden kennen lernen, die Geschwindigkeit der Geschosse zu bestimmen.

II. Fürs Praktische vorzüglich wichtig ist der Stoß fester Körper gegen tropfbare und umgekehrt. Es handelt sich bei diesen Betrachtungen u. a. nämlich um die angemessenste Form für die Schiffe, damit ihre Kraft beim Fahren durch den Stoß gegen das Wasser möglichst wenig geschwächt und ferner um die Konstruktion der Wasserräder, damit die stoßende Kraft des Wassers soviel als möglich benutzt werde. Man pflegt die hierher gehörigen Betrachtungen wohl auch unter dem Ausdrucke: Widerstand des flüssigen Mittels zusammenzufassen.

Der Widerstand eines flüssigen Mittels gegen einen festen Körper bleibt unter übrigens gleichen Umständen derselbe, mag sich nun der eine von den beiden Körpern bewegen, gleichgiltig welcher, oder mögen sich beide bewegen.

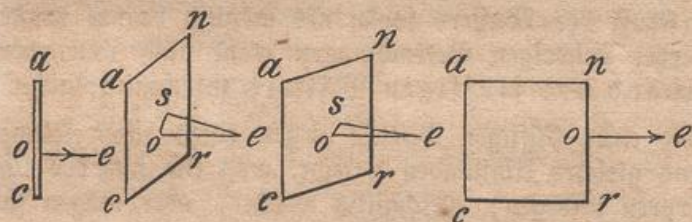
Stößt eine Flüssigkeit auf einen festen Körper, so wird sie nur dann die ganze ihr eigenthümliche Kraft ausgeübt haben, wenn sie bei dem Stöße ihre ganze Geschwindigkeit verliert, also nach dem Stöße vollkommen zur Ruhe gelangt ist. Bewegt sich ein fester Körper in einem flüssigen, welcher in einer bestimmten Richtung fließt, in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit; so ist von einem Stöße nicht die Rede; er kann nur stattfinden bei verschiedenen Geschwindigkeit beider.

Bei der Bewegung sowohl des Festen gegen das Flüssige, als auch umgekehrt, wird der Zusammenhang der Theilchen der Flüssigkeit an den Stellen der Bewegung nicht nur, sondern auch seitwärts des festen Körpers verändert. Die Flüssigkeit muß wegen der Undurchdringlichkeit des festen Körpers seitwärts von ihm entweichen, ihren Zusammenhang verändern und findet an der schon vorhandenen einen Widerstand. Dieser Widerstand wird beim Wasser größer, als bei der Luft, beim Meerwasser größer, als beim Flußwasser, beim Quecksilber größer, als beim Wasser sein und sich überhaupt nach der Dichtigkeit, dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit richten, wenn sich ein fester Körper in einem flüssigen bewegt.

Ein fester Körper wird den Widerstand des flüssigen, in welchem er sich bewegt, leichter bezwingen, je massiger er unter übrigens gleichen Umständen ist; es wird also ein schweres Schiff bei gleichem Tiefgange und gleicher Gestalt das Wasser leichter durchschneiden, als ein leichtes, weil die Bewegungskraft des letzteren geringer ist. Eine Feder fällt daher auch langsamer, als ein Stückchen Holz, dieses langsamer, als ein Stückchen Blei von derselben Gestalt.

Je größer die Fläche des festen Körpers ist, welche die Flüssigkeit stößt oder welche von der Flüssigkeit gestoßen wird, desto größer muß unter übrigens gleichen Umständen der Widerstand sein, weil in demselben Verhältnisse mehr Flüssigkeit verdrängt wird oder zum Stoße gelangt.

Wir wissen bereits aus früheren Betrachtungen, daß ein bewegter Körper mit seiner Kraft nur dann vollständig zur Wirkung gelangt, wenn die Bewegungsrichtung lothrecht steht auf der Stelle eines anderen Körpers, welchen er bei seiner Bewegung trifft, oder von welchem er getroffen wird, wenn er selbst ruht.



(Fig. 189.)

In (1) sieht man nur die Vorderkante ac und alle Stellen des Quadrats werden lothrecht getroffen; in (2) ist das Quadrat um die Kante ac etwas gedreht worden und die Bewegungsrichtung oe bildet mit ihm den spitzen Winkel soe ; in (3) ist die Bewegung noch weiter geführt und der Neigungswinkel soe ist noch spitzer geworden; in (4) endlich bietet das Quadrat der Flüssigkeit nur noch die Kante nr dar. Es wird also die Menge der bei einer bestimmten Geschwindigkeit aus

In Fig. 189 ist eine quadratische Fläche $acrn$ in vier Lagen gegen die durch den Pfeil oe angedeutete Bewegungsrichtung dargestellt.

dem Wege gedrängten Flüssigkeit mit abnehmendem Winkel geringer. Nehmen wir als Maß der auf dem Punkte o stößenden Kraft die Linie eo an, so wird mit abnehmendem Winkel o auch das von e auf das Quadrat gezogene Loth abnehmen und darnach sich die Wirkung des Stoßes auf das ganze Quadrat richten.

Endlich ist es noch wichtig, den Einfluß der Geschwindigkeit der einander stoßenden Körper zu betrachten. Die durch den Stoß erzeugte Geschwindigkeit, vertheilt auf beide nach dem Stoße bewegte Massen, ist dem Produkte aus der Geschwindigkeit und der Masse der bewegten Flüssigkeit proportional, aber die durch den Stoß erzeugte Kraft ist dem Quadrate der Geschwindigkeit verhältnißmäßig, denn der feste Körper muß bei seiner Bewegung einer doppelten Anzahl von Flüssigkeitstheilchen, eine doppelte Geschwindigkeit, einer dreifachen Anzahl von Theilchen eine dreifache Geschwindigkeit u. s. w. ertheilen. Bei diesen Gesetzen wird aber vorausgesetzt, daß die aus dem Wege gestoßenen Flüssigkeitstheilchen bei ihrem Entweichen nach dem Stoße den festen Körper nicht umkreisen, was freilich in der Wirklichkeit nicht stattfindet, so daß die Gesetze in der Anwendung nur annähernd erreicht werden.

Ist G die Geschwindigkeit des ankommenden Körpers, M seine Masse, m die Masse der Flüssigkeit, welche er stößt; so ist die Geschwindigkeit nach dem Stoße $\frac{MG}{M+m}$.

Wenn man ferner annimmt, daß eine bestimmte Fläche, z. B. von 1 Quadratzuße, mit der Geschwindigkeit g bewegt werde und während dieser Zeit eine Flüssigkeit, deren Masse m ist, vor sich wegdrängt; so ertheilt sie dieser die Wirkungsfähigkeit mg^2 und erleidet somit selbst einen Widerstand, welcher im einfachen Verhältnisse mit der Dichtigkeit (Masse) der Flüssigkeit und im quadratischen der Geschwindigkeit wächst. Es wird also der Widerstand eines im Quecksilber bewegten Körpers unter übrigens gleichen Umständen 13,6 mal größer sein, als im Wasser und wenn man im Wasser einen Körper das eine Mal mit 1 Fuß, ein zweites Mal mit 2 Fuß Geschwindigkeit bewegt, so ist im zweiten Falle der Widerstand das Vierfache von dem im ersten Falle.

Fassen wir also alle oben erwähnten Umstände zusammen, so werden wir sagen müssen: der Widerstand, welchen ein bewegter Körper von einer Flüssigkeit erfährt, wächst in gradem Verhältnisse

- 1) mit der Dichtigkeit der Flüssigkeit,
- 2) mit der Verminderung seiner eigenen Masse,
- 3) mit der Vergrößerung seiner in gewisser Richtung getroffenen Oberfläche,
- 4) mit Vergrößerung des Lothes, welches von dem Endpunkte eines gewissen vom festen Körper beginnenden Stückes der graden Linie, in deren Richtung die Bewegung stattfindet, auf den

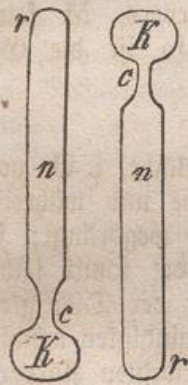
Körper gezogen wird (im Verhältnisse des Sinus des Neigungswinkels der Bewegungsrichtung gegen die Fläche),

5) mit den Quadratzahlen der Geschwindigkeit.

Erscheinungen, welche das Vorhandensein des Widerstandes und diese Gesetze bestätigen, sind in sehr großer Anzahl vorhanden.

Die Geschosse erreichen wegen des Widerstandes der Luft nicht die berechneten Höhen und Weiten. Das physische Pendel kommt, abgesehen von dem Reibungswiderstande am Aufhängepunkte, aus demselben Grunde nach und nach zur Ruhe.

Bewegt man die Hand oder ein Stäbchen in gewisser Richtung mit gewisser Geschwindigkeit nach einander durch Luft, Wasser und Quecksilber, so ist der Widerstand in der Luft am kleinsten, beim Quecksilber am größten. — Ein bestimmter Körper fällt im Wasser langsamer, als in der Luft, in dieser langsamer, als im leeren Raume, in welchem alle Körper gleich schnell fallen. — Im leeren Raume schlagen Wassertropfen so hart an, als wenn es Schrotkörner wären. Dieses kann man an dem sogenannten Wasserhammer leicht erkennen. Das In-



(Fig. 190.)

strument läßt sich leicht anfertigen. Man nimmt (Fig. 190) eine bei r geschlossene Glasröhre n, bläst in etwa 9 Zoll Entfernung von dem einen Ende eine Kugel k an, zu welcher der Zugang aus der Röhre n verengt wird, wie es bei c ist, und bricht dann hinter der Kugel die verengte Fortsetzung der Röhre ab, so daß hier eine kleine Oeffnung bleibt. Man treibt nun durch Erwärmen einen Theil der Luft aus der Röhre und hält, bevor die Abkühlung beginnt, die Mündung unter Wasser. Dann wird bei der Abkühlung und Raumverminderung der Luft in der Röhre der Druck der Atmosphäre von der Oeffnung aus Wasser in die Röhre empordrücken.

Hat man auf diese Weise etwa $\frac{1}{4}$ der Röhre mit Wasser gefüllt, so treibt man die noch darin befindliche Luft durch das Kochen des Wassers bei der Stellung 2 mittelst der Wasserdämpfe heraus und schmilzt sofort die kleine Oeffnung a zu. Ist das Instrument abgekühlt und bringt man es in die Stellung 1, so daß das Wasser nur tropfenweise nach der Kugel k gelangt, so schlagen die Tropfen so hart an, daß man sich hüten muß, das Glas nicht zu zerbrechen. — Ein solcher harter Schlag ist es auch, wenn Wasser auf Wasser im luftleeren Raume stürzt, wie es der Fall ist, wenn man Wasserdampfblasen in kaltes Wasser (in den Tender bei Lokomotiven, in den Vorwärmer bei Brennereien u. s. w.) leitet. — Ja sogar Luft gibt einen heftigen Knall, wie es z. B. beim Verbrennen einer Knallgasblase stattfindet, wobei der vom Knallgase erfüllt gewesene Raum fast leer wird, indem sich daraus nur sehr wenig Wasserdampf bildet.

Gleichgestaltete Körper aus demselben Stoffe oder aus verschiedenen Stoffen überwinden den Widerstand in bestimmter Flüssigkeit um so leichter oder mit einem um so geringeren Verluste ihres Bewegungsmomentes, je schwerer sie sind; daher sind gepreßte Flintenkugeln besser, als gegossene, wenn auch letztere nicht eine hohle Stelle haben, wie so häufig; geschmiedete Kanonenkugeln besser, als gegossene; ein schwerer Kreisel geht länger, als ein leichter; ein schweres Schwungrad ist wirksamer, als ein leichtes. — Von zwei gleich langen Pendeln schwingt das gewichtigere etwas schneller, als das leichtere, weil es den Widerstand besser überwindet und es kommt auch später zur Ruhe.

Das Schlämmen besteht darin, daß man zertheilte oder pulverisirte Körper, welche man im ruhenden oder bewegten Wasser fallen läßt, entweder nach ihrer Größe oder ihrem durch das Gewicht bestimmten Werthe von einander absondert. Wie in der Luft nicht alle Körper gleich schnell fallen, so ist es auch im Wasser: ihr spezifisches Gewicht (die Dichtigkeit), ihre Größe und die Gestalt ihrer Oberfläche bringen beim Fallen einen verschiedenen Widerstand hervor; je dichter und je größer sie sind und je kleiner dabei ihre Oberfläche ist, desto schneller fallen sie. Bei einem Gemenge aus Steinen und Gold gelangt das letztere zuerst an den Boden; bei Sandkörnern von verschiedener Größe fallen die größten am schnellsten; Kugeln fallen schneller, als Würfel, diese schneller, als dünne Blättchen.

Das Schlämmen mit ruhigem Wasser kommt vor bei den Goldarbeitern, bei der Anfertigung von feinen Thonwaaren, bei der Fabrication der Stärke und der verschiedenen Färbemittel, z. B. der Schlämmeerde, der Ockerfarbe, des Ultramarins, der Smalte, bei der Bereitung der Arzneimittel. Der Goldarbeiter kehrt den Abgang edler Metalle bei seinen Arbeiten (Feilen, Schaben, Graviren, Poliren) zusammen, schüttet ihn in Wasser, rührt gut um und gießt nach einiger Zeit die obere verunreinigte Flüssigkeit vorsichtig ab oder läßt sie durch einen Heber ab. Zum Schlämmen des Thones u. dergl. hat man eine Reihe von hölzernen Gefäßen, von denen jedes in geringer Entfernung über dem Boden eine verschließbare Oeffnung hat, die zu einer Abzugsrinne oder Röhre führt und von denen jedes folgende tiefer, als das vorhergehende steht, um es durch das Ablaufen von diesem füllen zu können. In dem ersten Gefäße setzen sich die Steinchen und größten Theile bald zu Boden, nach einiger Zeit läßt man die Flüssigkeit in das zweite Gefäß gehen u. s. f., bis endlich aus dem letzten, in welchem die feinsten Theilchen sich ablagern, klares Wasser entfließt. Will man ein im Wasser unlösliches Arzneimittel, wie Kalomel, Zinnober, recht fein zertheilt erhalten; so zerreibt man dasselbe in einer Porphyrschale mit einem ebensolchen Läufer und spült den sehr verdünnten Brei in einem sogen. Defantirtopf, welcher eine Reihe lothrecht über einander befindlicher

Oeffnungen zum Ablassen der noch in verschiedenem Grade trüben Flüssigkeit in andere Gefäße besigt.

In den Berg- und Hüttenwerken werden die nutzbaren Erze durch fließendes Wasser gewonnen. Nachdem man das taube Gestein möglichst ausgelesen, kommt das zer kleinerte Erz in Setzsiebe, d. i. in Kästen mit einem Drahtboden. Indem diese Kästen wiederholt heftig in Wasserbehälter herabgestoßen werden, wodurch der ganze Inhalt gehoben und umgerührt wird, setzt sich das schwere Erz unten. Nachdem dieses in Pochwerken unter Zuführung von Wasser sehr zer kleinert worden, wird es in Kanäle, die Mehlführung, geleitet, wo es sich nach der Größe und dem Gewichte seiner Theilchen ablagert. Die letzte Sonderung besorgen schiefe Ebenen, die Stoßherde, an deren oberen Rande das Erz aufgelegt und durch darauf geleitetes Wasser unter regelmäßig wiederkehrenden Erschütterungen bespült wird, wobei sich die schwersten Theile zuerst ablagern.

Auch die Erdoberfläche zeigt uns in ihrer Schichtenbildung die großartigsten Schlammungsprozesse aus den früheren Bildungsperioden und die fließenden Gewässer erzeugen fortwährend noch in kleinerem Maßstabe Ablagerungen, wobei der feinste Sand am weitesten und der Schlamm noch weiter fortgeführt wird, bis er sich gegen die Mündungen der Ströme, wo die Geschwindigkeit des Wassers am geringsten ist, endlich ablagert und dort oft bedeutende Länderstrecken (Deltas) bildet.

Die Wirkung der Klärmittel gehört zum Theil auch hierher. Setzt man nämlich zu einer trüben Flüssigkeit einen fein zertheilten Körper hinzu, welcher schwerer als sie ist; so nimmt er bei seinem langsamen Fallen die fremdartigen trübenden Theile mit an den Boden hinab oder, wenn er leichter ist, an die Oberfläche herauf. So klärt man Wein (Kaffe) mit Hausenblase, wobei die Gerbsäure des Weines mit dem Leime der Hausenblase eine geronnene unlösliche Verbindung bildet, welche die trübenden Theile mit zu Boden nimmt. Das zu Schaum geschlagene Eiweiß nimmt in einer mit ihm bis zum Sieden erhitzten Flüssigkeit beim Abkühlen die fremden Theile an die Oberfläche. Ebenso wirkt das eiweißreiche Blut, z. B. bei der Raffinerie des Zuckers. Schlammiges Wasser wird durch den Zusatz von etwas Alaun bald geklärt. Pflanzensäfte klären sich durch das Abkochen, da das in ihnen enthaltene Eiweiß beim Erkalten das Trübende nach oben mitnimmt.

Die Planeten haben es ihrer ungeheuren Masse zu verdanken, daß ihre Umlaufszeit und die Geschwindigkeit in den Punkten gleicher Lage gegen die Sonne bei verschiedenen Umläufen sich nicht ändert. Aber bei den äußerst zarten Kometen nimmt die Geschwindigkeit zu, ihre Bahnen um die Sonne werden immer enger und ihre Umlaufszeit immer kürzer, weil sie einen Widerstand an dem, wenn auch selbst äußerst zarten Weltäther finden. Dieser Widerstand ist aber doch so bedeutend, daß er bei dem von Enke so sorgfältig berechneten Kometen von Pons,

welcher unserem Planetensysteme angehört, also sich nur um unsere Sonne bewegt, vom Jahre 1789 bis 1859 das Jahr desselben bereits um 2 Tage verkürzt hat. Es ist also keinem Zweifel unterworfen, daß er und andere Kometen endlich einmal in die Sonne fallen wird, was ihr freilich nicht eben zum Nachtheile gereichen kann, höchstens daß an der betreffenden Stelle der Verbrennungsprozeß einige Zeit etwas lebhafter von Statten gehen möchte (Sonnensackeln). Derselbe Komet zeigte bei seinem glänzenden Auftreten im Jahre 1859 auch durch die Beschaffenheit seines Schweifes recht deutlich die Wirkung des Widerstandes, welchen der Weltäther ausübt. Schon daß sich überhaupt ein Schweif bildet und wie er mit Annäherung an die Sonne länger, mit dem Entfernen von ihr kürzer wird, ist ein Beweis von jenem Widerstande; denn nähert sich der Komet der Sonne, so nimmt seine Geschwindigkeit zu, also auch der Widerstand des Weltäthers und er reißt von dem äußeren Umfange immer mehr seiner zarten und losen Massentheilchen ab; entfernt sich aber der Komet, so geht er wieder langsamer und der Kopf desselben mit den meisten Massentheilchen zieht die anderen im Schweife mehr und mehr an sich, so daß der Schweif allmählig verschwindet. — Aber auch die Gestalt des Schweifes ist wichtig. Ginge der Komet in grader Richtung fort, so würden die Theilchen des Schweifes in einem hohlen Kegelmantel hinter dem Kopfe einherziehen. Dieser wie die Oberfläche eines Zuckerhutes gestaltete Schweif würde, wenn er an unseren Augen grade vorüberzöge, oben und unten am meisten leuchtend erscheinen, weil nach diesen Richtungen die meisten Theilchen des Mantels in der Gesichtslinie liegen, obwohl sie ringsum im Schweife gleichmäßig vertheilt sein müssen. Aber der Komet von 1859 verfolgte eine ziemlich stark gekrümmte Bahn, während der Zeit des Sichtbarseins und zeigte uns in auffallendster Weise in dem nach seiner Bahn gekrümmten Schweife die äußere, also von der Sonne abgewendete Seite, viel heller, als die innere, bloß weil dort der Bewegungswiderstand des Weltäthers ein größerer sein muß, als hier.

Der große Komet vom Jahre 1811, dessen Umlaufszeit 3066 Jahre beträgt, wird bei seinem nächsten Erscheinen sogar 177 Jahre beschleunigt werden.

Der Einfluß der Masse des sich bewegenden Körpers zeigt sich auf der Erde noch in sehr vielen Fällen. Ein Federball fällt in der Luft langsamer, als eine Bleikugel; letztere im Wasser schneller, als eine Thonkugel, wenn sie dieselbe Größe haben. — Wenn man das ausgedroschene Getreide von seiner Spreu oder vom Raff befreien will, so nimmt man kleine Mengen auf eine etwas ausgehöhlte Holzschaukel und wirft sie in einem kleinen Bogen vor sich hin, bei Luftzug natürlich gegen den Wind. Allen Körnern und dem Raff wird hierbei so ziemlich dieselbe Anfangsgeschwindigkeit gegeben, aber die schwersten und besten Körner gehen am weitesten und je leichter sie sind, desto eher fallen sie

nieder, der ganz leichte Kaff natürlich zuerst. Dieses Verfahren heißt das Wurfen.

Man hat aber zum Reinigen des Getreides noch besondere, verschiedenartige Maschinen u. a. eine, bei welcher durch gedrehte Flügelräder ein so starker Wind erzeugt wird, daß durch ihn das in geringen Mengen aus einem Spalte eines Kastens fallende unreine Getreide ebenfalls gereinigt wird, indem der Wind die leichtesten Körper am weitesten forttreibt.

Die einfachste und schnell zum Ziele führende Methode besteht darin, daß man das unreine Getreide durch einen Spalt auf eine gegen den Horizont mehr oder weniger geneigte Rinne mit einem Drahtsieb-boden fallen läßt. Die schwersten Körper haben das größte Bewegungsmoment und gehen am weitesten, je leichter und kleiner sie sind, desto leichter fallen sie durch die Maschen des Siebes, was auch mit dem kleinen Unkrautsaamen geschieht, so daß das Getreide nicht nur rein, sondern auch fortirt wird.

Einen wie großen Einfluß auf den Widerstand die Größe der Fläche, welche der feste Körper dem flüssigen bei der Bewegung darbietet, kann man wahrnehmen, wenn man mit einem Brettchen das eine Mal mit der Kante, das andere Mal mit der flachen Seite durchs Wasser oder durch die Luft fährt und dieselbe Geschwindigkeit in beiden Fällen festhält. Diese Verschiedenheit muß bei der Handhabung der Schiffsruder berücksichtigt werden, wenn man sich nicht das Rudern erschweren und die Geschwindigkeit des Schiffes vermindern will. Zum gleichmäßigen Gange des Schiffes ist nicht nur eine gleichmäßige Vertheilung der Ruderkräfte auf beide Seiten des Schiffes, sondern auch eine taktmäßige Bewegung der gleichmäßig gehaltenen Ruder erforderlich.

Will man beim Baden im Meere sich gegen die Wellen bewegen, so muß man ihnen nicht die breite Seite des Körpers darbieten; ebenso wenn man möglichst schnell gegen die Strömung in einem Flusse laufen will. — Selbst beim Fechten mit breiteren Säbelklingen ist es wichtig für schnelle Bewegungen, daß man der Luft nicht die breiten Seiten darbietet.

Vorzüglich wichtig ist die Gestalt der Vorderfläche eines festen Körpers, welcher sich in einem flüssigen bewegt; je flacher der Körper vorn ist, desto größer der Widerstand. Daher hat man beim Schiffsbau vorzüglich darauf zu sehen, daß das Wasser, welches an das Vordertheil des Schiffes stößt, unter einem möglichst spitzen Winkel auftreffe und daß dasselbe recht leicht seitwärts entweichen könne, was geschieht, wenn es nach dem Stoße von dem Fahrzeuge so zurückgeworfen wird, daß es mit seiner Seitenwand parallel abfließt. Es wird also eine spitzzulaufende und ausgeschweifte Gestalt des Vordertheiles die angemessenste sein.

Flach und spitz zugehende Fische, wie die Forellen, Hechte und Delphine, können sehr rasch schwimmen; die mit einem breiten und dicken Kopfe, wie die Welse, sind schlechte Schwimmer. Wenn auch ein Dampfschiff seine ganze Kraft entwickelt und auch noch der Wind benutzt wird, so kommt ihm der an seiner Seite schwimmende Delphin doch gleich und wenn er etwas zurückzubleiben besorgt, so macht er weite Sprünge durch die Luft, die ihm einen geringeren Widerstand leistet. Die Forellen sind sogar im Stande, in einem über ein Mühlrad frei herabstürzenden Wasserstrahle aufwärts zu schwimmen, was mit zitternder Bewegung langsam geschieht.

Den Vögeln erleichtert ihre Gestalt das Fliegen und wenn schwerfällige Vögel, wie wilde Gänse, in Schaaren ziehen, so bilden sie einen Keil, um die Luft leichter zu zerschneiden; die kräftigsten sind abwechselnd an der Spitze, die schwächsten am Ende, wo sie durch den entstandenen Wirbel der Luft etwas vorwärts getragen werden. — Die alten Griechen konnten mit ihrer Phalanx feindliche Massen leichter durchbrechen, als es mit den graden Fronten geschah. — Spitzkugeln fliegen aus denselben Gründen weiter, als andere unter übrigens gleichen Umständen. — Sollen Brückenpfeiler den andrängenden Wogen und Eisböcke den Eischollen leichteren Widerstand leisten, so müssen sie scharfzuehende Vorderkanten haben.

Soll der Pendelkörper die Luft möglichst leicht durchschneiden, so gestaltet man ihn nicht kugelförmig, sondern scheibenförmig, in der Mitte dicker, als an den Rändern, so daß der zugespitzte Rand leicht in die Luft eindringt.

Wir werden später in der Lehre vom Keile noch eine Menge von Erscheinungen zu erwähnen Gelegenheit finden, welche diesem Gebiete sehr verwandt sind.

Zufolge der Anziehungskraft der Erde erlangen die auf sie herabfallenden Körper gar bald eine sehr bedeutende Geschwindigkeit, wie es die Gesetze des freien Fallens angeben. Trifft nun ein fallender Körper plötzlich auf einen Widerstand, durch welchen er seine ganze Geschwindigkeit verliert, so steht die Wirkung mit seiner Masse und der Quadratzahl seiner Geschwindigkeit in gradem Verhältnisse, würde also selbst für wenig gewichtige Körper sehr bedeutend sein. Wenn ein Hagelkorn von 1 Loth nur während 10 Sekunden gefallen ist, so müßte seine Kraft gleich $(10 \cdot 31)^2 = 96100$ Lothen = 3203 Pfunden sein. Wenn auch die fallenden Regentropfen eine dieser Betrachtung entsprechende Kraft behielten, so würden sie Alles vernichten. Zum Glück aber leistet die Luft einen Widerstand, welcher schon, wenn sie überall gleich dicht wäre, in gradem Verhältnisse mit den Quadratzahlen der Geschwindigkeit des fallenden Körpers wächst. Nun kommt aber hier noch dazu, daß die Dichtigkeit der Luft nach der Erdoberfläche hin zunimmt; also ist der Widerstand ein noch bedeutenderer. Auf diese

Weise ist es möglich, daß die beschleunigte Bewegung in eine verzögerte übergeht. Und in der That muß dieses bei den aus dem weiten Welt- raume auf unsere Erde fallenden Meteorsteinmassen der Fall sein, wenn sie aus dem leeren Raume in die Atmosphäre der Erde kommen, denn sie dringen selbst in ziemlich loses Erdreich selbst nur wenige Fuße tief ein.

Recht auffallend zeigt sich der Widerstand der Luft auch bei hohen Wasserfällen, so daß selbst beim Niagara nur die auf der kanadi- schen Seite herabstürzende Wassermasse ziemlich ungetheilt bleibt, wäh- rend das Uebrige sich größtentheils in Tropfen und Schaum auflöst, besonders der einzelne südliche Arm.

Den Widerstand der Luft benutzt man bei der Anfertigung des Bleischrottes, indem man das geschmolzene Blei aus einem durch- löcherten Boden in einem etwa 120 Fuß tiefen Schacht herabfallen läßt, wobei sich die Tropfen runden und völlig erstarrt unten ankome- nen, wo man sie in Wasser auffängt.

Der fallende Körper wird einen um so größeren Widerstand zu überwinden haben, je mehr Luft er dabei aus dem Wege drängen muß, und je weniger leicht diese Luft seitwärts entweichen kann. Je größer also die der Luft beim Fallen des Körpers entgegentretende Fläche ist, desto langsamer wird er unter übrigens gleichen Umständen fallen und ist diese Fläche so ausgehöhlt wie bei einem aufgespannten Regenschirme, so wird er langsamer fallen, als wenn sie eine horizontale Ebene bil- dete. Daher der Nutzen der Fallschirme mit einem Durchmesser von 20 bis 30 Fuß, und einer Oeffnung an der höchsten Stelle, damit die beim Fallen zusammengedrückte und verdichtete Luft entweichen kann und nicht an dem unteren Rande sich einen Ausweg sucht, wodurch ein un- gleiches Schwanken des Schirmes entstehen würde. Garnerin war der erste, welcher sich mit einem solchen Schirme, woran eine Gondel war, aus einer Höhe von 1000 Metern herabließ. Ich erinnere mich, ge- lesen zu haben, daß von der Brühl'schen Terrasse eine Dame, welche ihren starken Regenschirm festhielt, bei einem Sturme herabgeworfen worden und glücklich unten angelangt ist.

Bei den Schlaguhren hat man sogenannte Windfänge, welche sich mit ihren dünnen Schaufeln um eine Aze drehen, während die Uhr schlägt, damit durch den Widerstand der Luft die Bewegung des Schlag- gewichtes gleichmäßig und dadurch die Hammerschläge in gleichzeitiger Aufeinanderfolge gemacht werden.

Weil die Raubvögel nicht blos sehr breite, sondern auch sehr lange Flügel haben, ist es ihnen möglich, ohne viele Flügelschläge sich in der Luft zu halten, ja oft in sehr bedeutenden Höhen, wo die Luft schon merklich dünner ist.

Wie den Vögeln die Luft durch ihren Widerstand das aktive Flie- gen, so macht den Säugethieren und anderen Thieren der Widerstand

des Wassers das aktive Schwimmen möglich. Weil dieser Gegenstand zur Erhaltung der Gesundheit und des Lebens so höchst wichtig ist, wollen wir darüber Einiges anführen.

Es gibt viele Menschen, besonders Kinder, welche auf dem Wasser, namentlich auf dem schwereren Meereswasser (dem sehr salzreichen Mitteländischen Meere) passiv schwimmen, d. h. wenn sie sich entkleidet in ein hinreichend tiefes Gewässer begeben, nicht zu Boden sinken, sondern selbst in vollkommener Ruhe an der Oberfläche vom Wasser getragen werden, indem ein kleiner Theil des Körpers darüber hervorragt. Die meisten Menschen aber sind, wenn auch nur um sehr wenig, spezifisch schwerer als das Flußwasser, so daß sie in angemessener Weise die Füße und Arme gegen das Wasser bewegen müssen, um den Kopf oder wenigstens Mund und Nase über demselben zu erhalten. Die Bewegungen zu diesem Zwecke bilden das aktive Schwimmen.

Die vierfüßigen Thiere sind wohl alle leichter als das Wasser, können ihre Nase viel leichter, ohne dem Körper eine ungewohnte Lage zu geben, über das Wasser bringen und brauchen mit ihren Füßen, selbst wenn sie verhältnißmäßig nur dünn sind, wie beim Pferde und Rinde, fast nur die Bewegungen des Laufens zu machen, um im Wasser vorwärts zu kommen.

Es ist auch dem Menschen möglich, in seiner natürlichen lothrechten Lage im Wasser sich zu halten, ohne mit dem Kopfe unterzutauchen, ja selbst bis gegen die Brust hervorzuragen. Man muß, wie man zu sagen pflegt, das Wasser treten; man macht nämlich mit den Beinen eine Bewegung, wie sie beim Treppensteigen angewendet wird, nur daß man die Kniee langsamer an den Unterleib anzieht, als man nachher die Beine von sich stößt, um durch den Stoß gegen das Wasser den Körper zu heben. Man stößt hierbei die Beine von einander, daß sie einen Winkel bilden, und ein Wasserkeil sich zwischen ihnen befindet; wenn man dann beide Beine zusammenschlägt, so schiebt man wegen des Widerstandes des Wassers seinen Körper aufwärts über den spitzen Theil des Keiles. Nebenbei wird man, wenn diese Bewegungen angemessen gemacht werden, die Hände ruhen lassen; man kann sie aber auch benutzen, indem man gleichzeitige Schläge mit ihrer flachen Seite nach unten macht und beim langsameren Heraufziehen dem Wasser nur die schmale Seite darbietet.

Das Wassertreten ist eine ziemlich anstrengende Methode zu schwimmen. Wenn man dem Körper eine horizontale Lage gibt, so bietet er dem Wasser eine größere Fläche beim Sinken dar, als in der vorigen lothrechten und daher brauchen die Bewegungen, um sich über dem Wasser zu erhalten, nicht so heftige zu sein.

Nach der Lage der Nase und des Mundes ist es am leichtesten, sich, auf dem Rücken liegend, mit zurückgelegtem Kopfe über dem Wasser zu erhalten. Man legt hierbei, um die Gesamtsfläche des Leibes

zu vergrößern, die Arme an den Leib der Länge nach, die innere Seite der flachen Hand nach unten und dann braucht man nur mit den Händen kleine Schläge nach unten zu machen, um das ganze Gesicht über dem Wasser zu erhalten. Diese Lage kann man stundenlang ertragen, ohne zu ermüden, nur daß sie mehr ein passives, als ein aktives Schwimmen ist und uns nicht zu einem gewünschten Ziele hinführt.

In einer Reisebeschreibung wird erzählt, daß Bewohner einer Südseeinsel, welche mit ihren Kindern in einem Boote fuhren, nach dem zufälligen Umschlagen des Fahrzeuges zuerst ihre Kinder ruhig auf den Rücken ins Wasser legten und dann sie so liegen ließen, bis das Boot wieder fahrbar war. Die häufig auf dem Wasser lebenden Chinesenfamilien binden ihren Kindern ausgehöhlte Kürbisse an die Schultern und sind dann unbesorgt. Ueber den Euphrat und Tigris schwimmen die Leute, auch die zu Märkte ziehenden Weiber häufig, indem sie sich ein Bündel von leichten Binsen über die Brust legen. Für Seefahrer hat man besondere Rettungsapparate eingerichtet. Die meisten Menschen möchten aber wohl spezifisch leichter als das Meerwasser sein und sich mit ihren Respirationsorganen wenigstens über dem Wasser halten können, wenn sie nur die später anzugebenden Regeln befolgten.

Bei dem eigentlichen Schwimmen liegt man auf dem Bauche, hält den Kopf nach oben und zurück, und macht mit den Armen und Beinen angemessene Bewegungen, welche aber nicht denen beim Laufen der Thiere nachgeahmt sind. Wenn man die beiden Zwecke im Auge hat: sich, wenigstens den Kopf, über dem Wasser zu erhalten und gleichzeitig möglichst leicht und schnell nach einem gewissen Ziele zu gelangen; so wird man die Art der Bewegungen leicht erkennen.

Die Arme und Hände haben das Amt: 1) den Körper vorn keilförmig zu gestalten, damit er das Wasser leicht durchschneide. Dieses geschieht, indem man beide Arme nach vorn ausstreckt, das Innere der beiden Hände zusammenlegt und ihnen eine lothrechte Stellung gibt. 2) Durch einen Druck mit den Armen und horizontal gelegten Handflächen nach unten den Körper nach oben zu bewegen. Ist man nämlich während der ersten Stellung der Hände vorwärts geschoben, so breitet man beide Hände horizontal aus und schlägt mit jeder in einem nach außen gerichteten Bogen das Wasser nach unten. Es ist dieses eine Bewegung, als wenn man mit beiden Armen etwas erraffen wollte. 3) Bei dem Uebergange der Hände aus der ersten Lage in diese Bewegung zertheilt man das Wasser vor sich, indem die Hände beim Auseinanderbringen so gewendet werden, daß mehr ihre äußeren Seiten einander zugewendet sind und daß die Anfänge der beiden Bogen eine ziemlich horizontale Lage haben; dann schlägt man nach unten und zieht die Hände in einem Bogen an die Brust zurück, damit sie, zum Keil zusammengelegt, wieder ins Wasser einschneiden.

Die Beine haben wesentlich nur die Berrichtung, den Körper vor-

wärts zu schieben, was bei ihrer dreitheiligen Bewegung zweimal geschieht: 1) wenn man sie, während die Kniee dicht an den Unterleib herangezogen waren, breit von sich nach hinten stößt, so daß sie einen ziemlich großen Winkel bilden; 2) wenn man sie von dieser Lage aus und steif haltend zusammenschlägt, so daß man auf dem Wasserleile zwischen ihnen vorwärts schiebt.

Will man ohne große Anstrengung vorwärts kommen, so müssen die Bewegungen der Arme und Beine rechtzeitig ineinander eingreifen. Während man mit den Armen den spitzen Winkel macht, stößt man die Beine auseinander; während man mit den Händen und Armen das Wasser zertheilt, schlägt man die Beine zusammen; während man mit den Armen abwärts die rassistende Bewegung macht, zieht man die Kniee nicht allzurast an den Unterleib.

Die zweite Bewegung fördert am meisten, die dritte dient vorzüglich, um sich über dem Wasser zu halten. Ist man müde geworden, so legt man sich auf den Rücken, um auszuruhen.

Wer ins Wasser fällt und nicht schwimmen kann, wird nicht so leicht verunglücken, wenn auch die Hilfe nicht augenblicklich vorhanden ist, wenn er Folgendes mit Geistesgegenwart ausführt:

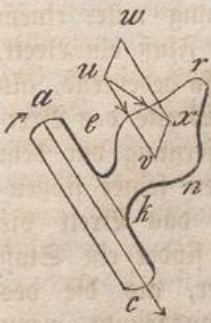
Während des Fallens muß man soviel als möglich Luft einathmen, damit man unter dem Wasser nicht das Bedürfnis fühlt, dieses zu thun, sondern vielmehr Luft auszustößen, damit der Körper spezifisch leichter werde, also schneller wieder emporkomme. Ist das Einathmen nicht geschehen, so muß man mit zugemachtem Munde den Athem wenigstens anhalten. Damit man beim Hineinfallen von größeren Höhen nicht zu tief unter das Wasser geht, ist es angemessen, die Beine und Arme zu spreizen und die Hände mit zusammengelegten Fingern horizontal zu halten, weil so der Widerstand des Wassers wächst. Von größeren Tiefen bringt zwar das Wasser wegen seines dort bedeutenderen Druckes den Körper, wie einen kartesianischen Taucher, selbst höher hinauf; es wird aber immerhin förderlich sein, wenn man Bewegungen wie beim Wassertreten macht und namentlich mit den flachen Händen abwärts schlägt. Kommt man endlich wieder an die Oberfläche des Wassers, so hüte man sich sorgfältigst, die Hände und Arme aus dem Wasser nach Hilfe zu strecken, weil dann der andere Theil des Körpers wegen Vermehrung des Gewichtes des untergetauchten um so schwerer wird und man sofort wieder untersinkt. Dieses scheinbare Rettungsmittel ist das Verderben für die meisten Verunglückten. Daß man, sowie man die Nase frei vom Wasser hat, soviel als möglich Luft einathmen muß, versteht sich wohl von selbst, damit man ein etwaiges neues Untertauchen vertragen kann und damit es nicht auf große Tiefen geschehe. Da der hohle Brustkasten und somit der Kopf nach oben kommen und die Beine nach unten gehen; so ist es gar nicht schwer, sich auf den Rücken zu legen, wenn inzwischen Hilfe noch nicht herbeigekommen wäre.

Um der Gefahr des Ertrinkens möglichst leicht zu entgehen, ist es natürlich das Rathsamste, daß man Schwimmen lernt. Es sollte aber nicht bloß deshalb der Schwimmunterricht einen Bestandtheil der Erziehungsmittel unserer sowohl männlichen, als auch weiblichen Jugend bilden, sondern auch weil die Bewegungen im Wasser eine vorzügliche Gymnastik für alle Theile des Körpers sind und weil durch Beseitigung der die Poren verschließenden Kruste der Ausdünstungen und Oberhautabsonderungen die für die Gesundheit absolut nothwendige Hautthätigkeit in ihrem Verkehre mit der Atmosphäre ungemein befördert wird.

Für die Schifffahrt sind in neuerer Zeit die Dampfschiffe von unendlicher Wichtigkeit geworden. Noch vor 45 Jahren hielt man es nicht für ausführbar, daß man mit Benutzung der Dampfkraft über den atlantischen Ocean fahren könne, während die Reise jetzt in kaum 9 Tagen von England nach New-York gemacht werden kann. Dieses so günstige Resultat hat man der Vollkommenheit zu danken, mit welcher man die durch den Dampf getriebenen Bewegungsmaschinen herstellt. Früher baute man nur Raddampfer, d. h. man brachte zu beiden Seiten des Schiffes gegen seine Mitte außerhalb zwei Schaufelräder an, deren Axe durch den Dampf in drehende Bewegung versetzt wurde, so daß der Stoß der Schaufeln auf das ruhende oder weniger schnell fließende Wasser das Schiff durch die Rückwirkung des letzteren vorwärts brachte, also daß das Schiff, wenn die untersten Schaufeln sich nach dem Hintertheile bewegen, vorwärts geht. Es ist natürlich, daß eine stärkere Belastung des Schiffes die Schaufeln in eine größere Tiefe des Wassers bringt, als eine mäßige, und daß in jenem Falle der Widerstand des Wassers nicht nur wegen des vermehrten Druckes, sondern auch, weil gleichzeitig mehr Schaufeln unter Wasser sind und bewegt werden müssen, ein größerer ist, als in diesem, daß also die Arbeit der Maschine mehr erschwert wird, als es sonst nothwendig wäre. Dazu kommt, daß die Raddampfer im Kriege wegen der weit über den Wasserspiegel hervorragenden Räder eher in Gefahr sind, außer Thätigkeit gesetzt zu werden.

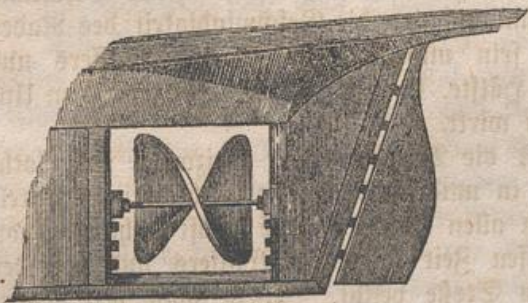
Es war also ein höchst glücklicher Gedanke, statt der Schaufelräder eine sogenannte Schraube, deren Axe aus dem Hintertheile des Schiffes unter dem Wasser hervorkommt, anzubringen. Man wird die mehr oder weniger nach dem Hintertheile zu bringende Belastung stets so vertheilen können, daß die Schraube immer in einer gewissen Tiefe unter dem Wasserspiegel ist und niemals demselben so nahe oder über ihn tritt, daß sie nur wenig oder gar nicht wirksam würde.

Um eine Vorstellung von der Wirksamkeit solcher Schrauben zu geben, erwähnen wir nur Folgendes. In Fig. 191 sei ac die aus dem Hintertheile des Schiffes wasserdicht hervorkommende Welle, daran sei eine zunächst eben gedachte Schaufel $ernk$ befestigt, welche gegen die Axe der Welle keinen rechten Winkel bilde, sondern so geneigt sei, daß



(Fig. 191.) die obere Kante er mehr nach *a* hin liegt, als die untere Kante *kn*. Wird nun die Welle um ihre Ase so gedreht, wie es der Pfeil *a* auf ihrer oberen Seite andeutet, so wird die Schaufel nach unten bewegt. Läge die Ase in der Ebene der Schaufel, so würde diese in jedem Punkte das Wasser lothrecht stoßen, aber bei der angenommenen Lage ist der Stoß ein schiefer. In Betreff der Größe des Stoßes ist es einerlei, ob wir annehmen, die Schaufel stößt das Wasser oder dieses jene mit derselben Geschwindigkeit. Wenn *uv* das Maß und die Richtung des schiefen Stoßes ist, und man zeichnet das Parallelogramm der Kräfte *uwxv*, wobei *ux* die Lothrechte auf die Schaufel ist; so kommt nur letztere Kraft zur Wirkung und die mit der Schaufel parallele Seitenkraft *uw* ist unwirksam. Da die Schaufel das Wasser in der Richtung von *x* nach *u* stößt; so wird dieses wegen seines Beharrungszustandes die Schaufel, die Ase und das ganze Schiff zwingen von *u* nach *x* oder in der Richtung des Pfeiles bei *c* sich zu bewegen.

Es ist natürlich, daß nicht blos eine Schaufel an der Ase angebracht ist, sondern mehrere. Ferner wäre es unangemessen, die Schaufeln eben zu machen, weil bei ihrer Drehung die von der Ase entfernteren Punkte derselben eine größere Geschwindigkeit haben, als die näheren und somit dem Wasser eher ausweichen würden, als die näheren, ohne denselben Stoß von ihm zu erleiden. Die Schaufeln sind also gegen das Wasser, welches sie stoßen sollen, gekrümmt.



(Fig. 192)

Endlich ist es klar, daß man nicht blos einzelne von einander getrennte krumme Schaufeln anbringen, sondern die Flächen derselben zusammenhängend machen kann, wie es Fig. 192 zeigt, wodurch eigentlich erst der Begriff der Schraube entsteht, durch welche das Schiff sich gewissermaßen ins Wasser einbohrt.

Nachdem wir den Stoß fester Körper gegen flüssige und die Widerstände betrachtet haben, welche jene erleiden, wenn er sich in diesen bewegt, wollen wir den Stoß tropfbarer Körper gegen feste betrachten und als Repräsentanten das Wasser nehmen.

Es ist nicht gleichgiltig, ob Wasser in einem bestimmt begränzten Gerinne oder ob es frei fließt und einen Stoß gegen einen bestimmten

festen Körper, z. B. ein Brett von gewisser Ausdehnung unter einem gewissen Winkel ausübt. Stellt man in einem offenen Fluß ein Brett, so ist der Stoß, welchen es vom Wasser erfährt, nicht so bedeutend, als wenn das stoßende Wasser in einem Gerinne von der Breite des Brettes ankommt; denn dort kann es schon in einiger Entfernung vor dem Brette seitwärts theilweise entweichen und die Richtungen seiner stoßenden Theile sind sehr verschieden, hier aber nicht. Hat das Brett die Geschwindigkeit des Wassers in derselben Richtung, so findet ein Stoß nicht statt; sondern nur, wenn die des Wassers größer, als die des Brettes ist, und die Kraft des Wassers ist vollständig ausgenutzt, wenn es nach dem Stöße seine ganze Geschwindigkeit verloren hat.

Von großer praktischer Wichtigkeit ist der Stoß des Wassers bei Rädern, also bei den Wasserrädern, welche zum Betriebe von Mahlmühlen und anderen Werken, z. B. Pochwerken der verschiedensten Art angewendet werden.

Ist irgend ein fließendes Gewässer vorhanden, so bietet uns die Natur eine Kraft dar, welche nichts kostet, sondern bloß angemessen benutzt zu werden braucht, wozu freilich unter Umständen mehr oder weniger kostspielige Vorbereitungen, wie Eindämmungen, Anlagen von Gerinnen, Schleusen und Schützen, erforderlich sind. Sollte aber ein Rad durch den Stoß des Wassers eine seiner eigenen gleiche Geschwindigkeit erhalten, so müßte es der Bewegung des Wassers gar keinen Widerstand entgegensetzen, d. h. es dürfte gar nicht belastet sein und würde also auch gar keinen Erfolg hervorbringen; andererseits aber darf die Belastung nicht so groß sein, daß dadurch der Stoß des Wassers ganz aufgehoben und nur ein Druck ausgeübt würde, welcher jener Belastung das Gleichgewicht hielte. Demnach wird die Geschwindigkeit des Rades unter allen Umständen kleiner sein müssen, als die des Wassers und zwar der Erfahrung nach die Hälfte, so daß letzteres nur mit dem Unterschiede der Geschwindigkeiten wirkt.

Bei den Wasserrädern ist die Ase entweder horizontal oder lothrecht. Die ersteren zerfallen in unterschlächtige, oberschlächtige, mittelschlächtige und Kropfräder. In allen Fällen ist die Kraft abhängig von der Menge des in einer gewissen Zeit stoßenden Wassers und von der Geschwindigkeit, welche es beim Stöße besitzt. Weiß man den Querschnitt q des ankommenden Wassers und den Weg, welchen es in einer Sekunde zurücklegt, also seine Geschwindigkeit g ; so gibt das Produkt $q \cdot g$ die Wassermenge m , welche zum Stöße gelangt. Die Wirkungs-fähigkeit dieser Wassermasse $m = q \cdot g$ hängt aber im graden Verhältnisse von der Quadratzahl der Geschwindigkeit ab, welche sie im Augenblicke des Stoßes besitzt. Man kann die Wirkung des Stoßes von fließendem Wasser fast bis auf das Doppelte steigern, wenn man die gestoßene Fläche über dem Querschnitte des vorher frei fließenden Wassers vergrößert.

Wird fällt das Wasser in einem freien Strahle, so wird noch das Gewicht desselben benutzt und der Erfolg kann ein sehr bedeutender werden. Fallen 1000 Pfund Wasser in einer Sekunde durch 20 Fuß, so könnten dadurch 2000 Pfunde in 1 Sekunde im Gleichgewicht erhalten werden, wenn durch Reibungswiderstände nichts verloren ginge, und dies gäbe eine Kraft von 40 Pferden, wenn ein Pferd im Stande ist, auf die Dauer 500 Pfunde in 1 Sekunde 1 Fuß hoch zu heben. Schon $\frac{3}{4}$ Kubikfuß Wasser (jeden zu 66 Pfund) würden bei 10 Fuß Fallhöhe eine Pferdekraft fast erreichen; nämlich $\frac{3}{4} \cdot 66 \cdot 10 = 495$.

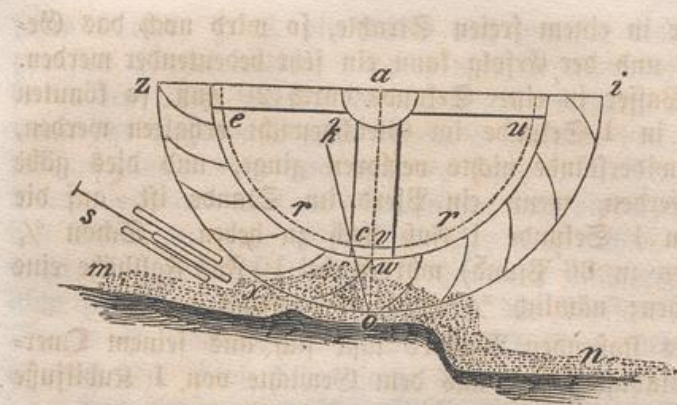
Das Gewicht des stoßenden Wassers läßt sich aus seinem Querschnitte, seiner Geschwindigkeit und aus dem Gewichte von 1 Kubikfuße leicht berechnen.

Steht eine große Wassermenge mit nur geringem Gefälle zu Gebote, so wendet man unterschlächtige Wasserräder an, d. h. solche, welche sich um eine horizontale Ase drehen, an ihrem Umfange zwischen zwei krantzörmigen Scheiben entweder offene, ebene und rechtwinklig aufgesetzte Schaufelbretter, in deren Ebene die Radaxe liegt, oder an der Innenseite geschlossene Kästen mit gekrümmten Brettern haben und bei denen das Wasser unten an das Rad möglichst in tangentialer Richtung stößt.

Bei den Schaufelrädern ist die Wirkung am größten, wenn die Geschwindigkeit am Umfange des Rades die Hälfte von der des Wassers ist; immerhin aber geht bei diesen Rädern ein großer Theil, etwa $\frac{7}{10}$, der Kraft verloren, weil das Wasser nach dem Stoße zum Wegfließen noch eine gewisse Geschwindigkeit behalten muß. Die Räder an den Raddampfern sind auch Schaufelräder.

Die Kastenräder von Poncelet aber haben den Zweck, daß das Wasser bei seinem Emporsteigen auf den gekrümmten Schaufeln seine Geschwindigkeit vollständig verliert und somit auch vollständig wirkt.

Damit aber in beiden Fällen das Wasser, welches seine Wirkung ausgeübt hat, leicht unterhalb des Rades abfließe, ohne daß es sich aufstaut und durch das Rückstauen die Bewegung des Rades hindert, ist es vortheilhaft, das Schußgerinne vor dem Rade mit seiner Sohle so anzulegen, daß sie nicht tiefer liegt, als das Niveau des hinter dem Rade abfließenden Wassers. Bei Schiffsmühlen, deren Wasserräder zwischen dem schwimmenden Mühlengebäude im Flußbette selbst angebracht sind, ist der durch den Widerstand des nicht schnell genug hinter dem Rade abfließenden Wassers entstehende Verlust an Kraft nicht zu vermeiden; sie sind also nur da anzulegen, wo es auf diesen Verlust nicht ankommt. Bei einem hinlänglichen oder überflüssigen Wasservorrathe ist es übrigens zur möglichst vollständigen Benutzung der Wasserkraft vortheilhafter, mehre Räder hintereinander in demselben Schußgerinne, als sie nebeneinander in selbstständigen Rinnen anzubringen.



(Fig. 193.)

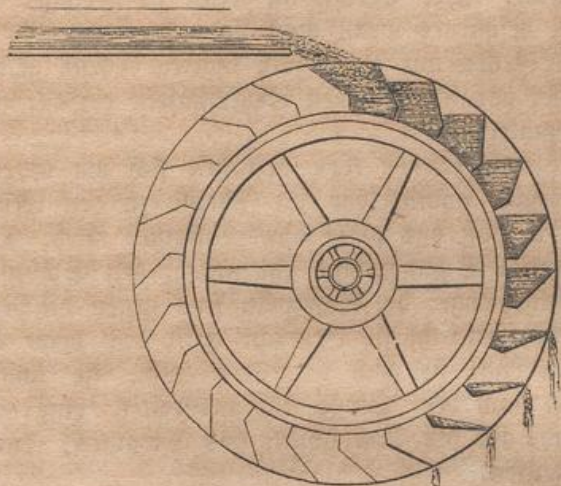
Zeichnet man um a einen Kreis evu in einer Entfernung von $\frac{1}{7}$, oder $\frac{1}{8}$ der Höhe des Radkranzes (so daß $vw = \frac{1}{7}$, wo ist), ferner die Linie ok unter einem Winkel von 10 Graden zur ao (Winkel $koa = 10^\circ$), welche in c die gezogene Kreislinie schneidet; so ist co der Radius für die Kreisbogen ro u. s. w., welche die Krümmung der Schaufeln in dem Radkasten angeben. Bei einem Raddurchmesser von 4 bis 5 Metern, oder etwa 15 Fuß, sind 36 bis 40 Schaufeln nothwendig. Der praktische Erfolg ist $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ des theoretischen.

Für diese Räder ist ein gegen den Horizont ziemlich geneigtes Gefälle von m nach x erforderlich. Um den Wasserzufluß von x aus genau zu reguliren, ist ein Schützenbrett s angebracht, wodurch x auch ganz geschlossen werden kann. In geringer Entfernung von dem tiefsten Punkte o des Rades fällt das Wasser in eine Vertiefung, so daß dann sein Niveau n unter dem Rande des Zuflußgerinnes liegt.

Nur wenn eine große Wassermenge mit bedeutender Geschwindigkeit zugebete steht, sind Räder mit offenen Schaufeln brauchbar.

Hat man wenig Wasser mit großem Gefälle, so wendet man oberflächliche Wasserräder an. Es sind dieses Räder von 12 bis 18, ja bis 24 Fuß Durchmesser, je nach dem Gefälle des Wassers, welches aus einem Schußgerinne von oben in Zellen fällt, welche sich zwischen einem doppelten Radkranze befinden und eine nach der Wassermenge sich richtende Breite und Tiefe haben. Tiefe Zellen sind für eine bestimmte Wassermenge weniger wirksam als breite, weil das Wasser dort dem Mittelpunkte des Rades zu nahe angreift. Man nimmt daher die ganze Tiefe etwa nur 9 Zolle an. Die Zellen sind so einzurichten, daß das stoßende Wasser seine ganze Kraft äußere, daß es nicht sofort aus dem Kasten fließe, sondern noch möglichst lange auf der Vorderfläche des Rades durch sein Gewicht wirke, wie es Fig. 194 zeigt, und daß es auf der Rückseite nicht wieder mit hinaufgenommen werde. Am einfachsten werden diese Zwecke erreicht, wenn die Vorder-

Fig. 193 stellt ein Kastenrad von Poncelet in der Seitenansicht mit der Hinterwand der Kasten dar. Wenn ao auf dem Durchmesser zi des Rades lothrecht steht, so ist wo die Höhe des Radkranzes, welche etwasweniger als den vierten Theil der Fallhöhe beträgt.



(Fig. 194.)

und ist bei 60 Grad Drehung beendet, weil die Stoßschaufel horizontal liegt. Bilden die Kiegelschaufeln mit dem Radius des Rades einen Winkel von 30—60 Graden, so wird die Anzahl der Kasten vermehrt, um die Menge des wirksamen Wassers zu vermehren.

Am besten freilich würde eine angemessen gekrümmte Vorderwand sein, welche bei der Drehung des Rades dem Wasser immerfort solche neue Flächentheile darbietet, daß der Stoß möglichst lothrecht und in der Richtung der Tangente der betreffenden Stelle des Rades geschieht.

Das Rad selbst muß möglichst leicht gebaut sein, damit nicht schon auf die Drehung seiner Masse ein großer Theil der Kraft verbraucht werde, sein Durchmesser nimmt den größten Theil des Gefälles in Anspruch und nur, wenn man einem kleinen Rade eine große Geschwindigkeit geben will, läßt man das Wasser aus einem langen und stark geneigten Schußgerinne auffallen. Unter allen Umständen muß freilich die Geschwindigkeit des aus ihm in die Zellen fallenden Wassers nicht kleiner sein, als die des Rades werden soll. Bei gut gebauten oberflächlichen Rädern mit nicht großer Geschwindigkeit beträgt der Erfolg $\frac{3}{4}$ von dem Produkte aus dem Gewichte des Wassers und seiner Fallhöhe.

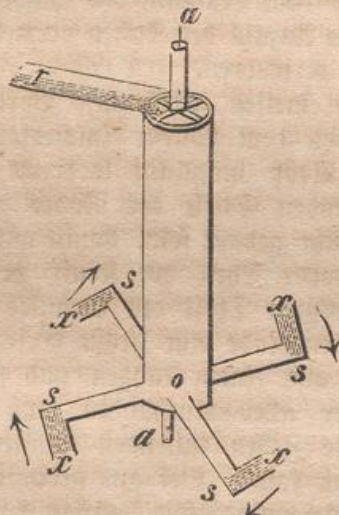
Die mittelschlächtigen Räder drehen sich in einer entgegengesetzten Richtung gegen das ankommende Wasser, indem dasselbe in die Zellen vor der Radaxe höchstens in einer Höhe von $\frac{2}{3}$ des Raddurchmessers fällt; es kann aber auch in der Höhe der Radaxe oder tiefer eingeleitet werden. Man wendet sie an bei nur geringem Gefälle, wenn man nicht ein zu kleines und weniger wirksames Rad nehmen will. Weil das Schußgerinne nicht grade fortgeht, sondern eine Neigung nach der Biegung des Rades, einen Kropf erhält; so nennt man solche Räder

wand der Kasten aus einer Stoßschaufel und einer unter einem Winkel von 120 Graden daran sich schließenden Kiegelschaufel besteht, welche selbst nur $\frac{1}{3}$ der Breite des Radfranzes einnimmt. Von oben bis zur horizontalen Lage der Kiegelschaufel sind die Kasten ganz gefüllt, von da beginnt das Ausfließen

auch Kropf- oder Brusträder. Der Verlust an Kraft ist geringer als bei oberflächigen Rädern, besonders wenn man sie recht breit (bis zu 15 Fuß) nimmt; wobei die Zellen nur etwa zum vierten Theile gefüllt zu sein brauchen, das Wasser parallel mit den Seßschaufeln einfällt und lothrecht gegen die Kropfschaufeln stößt.

Die Wasserräder mit lothrechtlicher Aze befinden sich am unteren Ende der Aze, welche oberhalb unmittelbar die Steine zu den Mahlmühlen in Bewegung setzt, so daß das ganze Werk einfacher wird. Das über dem Rade herabkommende Schußgerinne hat unten, den Schaufeln gegenüber, eine fast horizontale Lage; die Schaufeln sind gegen die Radfläche so geneigt, daß der Wasserstrahl sie lothrecht trifft und beim Abfließen wegen ihrer schiefen Lage sie nach vorwärts stößt, sie müssen aber, weil der Wasserstrahl nach dem Stöße sich ausbreitet, eine viermal so große Fläche haben, als der Querschnitt des Strahles, damit sie dessen ganzen Stoß erhalten.

Eine andere Art von Rädern mit lothrechtlicher Aze sind die segnerischen, bei denen aber der Stoß des Wassers nicht von außen, sondern von innen ausgeübt wird und eigentlich ein einseitiger Druck ist.



(Fig. 195.)

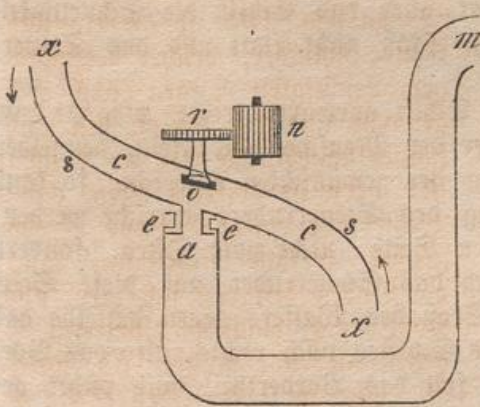
In Fig. 195 ist cc ein lothrechtlicher Zylinder, welcher der nöthigen Leichtigkeit wegen aus Holz gemacht und um die an den Endflächen angebrachte Aze aa drehbar ist; oben ist derselbe offen, damit Wasser aus einem Gerinne r ohne großes Gefälle einströmen kann; am Boden befinden sich vier (auch wohl sechs) einander diametral gegenüberstehende Rohre os, welche alle eine nach derselben Seite gerichtete Seitenöffnung x besitzen. Das obere Ende der Aze kann unmittelbar oder mittelbar einen Mühlstein drehen.

Denken wir uns die Vorrichtung zunächst im Ruhezustande und mit Wasser gefüllt, so übt dasselbe auf die inneren Wände der Rohre einen Druck aus, welcher auf jede bestimmte Stelle, wie z. B. auf eine von der Größe der Seitenöffnung x, gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche diese Stelle zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes (Mittelpunktes) vom Niveau zur Höhe hat. Wären die Oeffnungen x alle geschlossen; so würde der Druck auf jede gleich sein dem Drucke des Wassers auf die ihr grade gegenüberliegende und ebensovogroße Stelle. Da aber diese Drucke einander gradlinig entgegengesetzt und gleich sind, so heben sie einander auf und die ganze Vorrichtung würde in Ruhe bleiben,

wenn die Oeffnungen *x* verschlossen blieben. Kann aber das Wasser bei *x* ausströmen, so ist der Druck nach dieser Richtung verschwunden und nur noch nach der entgegengesetzten, also nach *s* hin geblieben, so daß die Röhren und der ganze Zylinder in der Richtung der Pfeile sich drehen müssen.

Wird das durch *x* ausfließende Wasser durch den Zufluß fortwährend ersetzt, so daß der Wasserstand im Zylinder unverändert bleibt, so geschieht die Drehung mit einer sich gleichbleibenden Kraft. Weil die Bewegung der des ausfließenden Strahles entgegengesetzt, also zurück geschieht, so nennt man diese Räder auch Reaktionsräder und die Bewegung eine Reaktionserscheinung, welche der Menschheit aber weniger schädlich ist, als die auf dem sozialen Gebiete; denn es werden hier Kräfte benutzt und nicht gehemmt.

Steht eine geringere Menge Wasser zur Verfügung, ist aber eine bedeutendere Druckhöhe oder ein bedeutendes Gefälle vorhanden, so gibt man dem Reaktionsrade eine andere Einrichtung und nennt es dann wohl eine Turbine.



(Fig. 196.)

Der sich drehende Wasserbehälter *cc* (Fig. 196) hat die Form eines S mit offenen Enden; auf seiner oberen Fläche trägt er in der Mitte bei *o* eine Ase mit einem gezahnten Rade *r*, dessen Zähne in die Welle *n* eingreifen, um dadurch den Mühlstein zu bewegen. Der S förmige Behälter empfängt das Wasser durch eine auf der unteren Fläche in der Mitte angebrachte kurze Röhre, welche wasserdicht in einer Hülse *ee* drehbar ist, und zu welcher das Druckwasser durch eine Zuleitungsröhre *aa* geführt wird. Je höher das Niveau *m* der letzteren liegt, desto größer ist der nach oben gerichtete Druck auf das Wasser in *cc*, desto weniger also wird es durch sein Gewicht die um *ee* stattfindende Bewegung hemmen, dabei aber immer einen vermehrten Druck auf die Wände von *cc* ausüben. Daß auch hier die Drehung dem aus *x* fließenden Wasser entgegengesetzt, also nach *s* hin geschieht, wie es die Pfeile anzeigen, ist wohl selbstverständlich.

Weil bei diesen Rädern von dem zu benutzenden Wasser nichts verloren geht, wie es namentlich bei den unterschlächtigen der Fall war und weil die ganze Maschine sehr einfach gebaut ist, so ist das bewegende Moment derselben nicht unbedeutend und in gradem Verhältnisse abhängig von der Menge des Aufschlagewassers und seiner Fallhöhe.

Die Menge des ausfließenden Wassers ist hier nicht blos von der Druckhöhe abhängig, sondern wird noch vermehrt durch die Schwingkraft des Rades, welche bei einer bestimmten Umdrehungszeit von der Länge des Radius der Arme oder der Entfernung der Ausflußöffnung von der Aze abhängig ist.

Die Reaktionsercheinungen werden bei Wasserkünsten zu äußerst hübschen Figuren verwendet, von welchen diejenigen am meisten Interesse erwecken, bei denen eine Menge sich drehender Strahlen durch anders gerichtete und entgegengesetzt sich bewegende durchkreuzt werden.

Der Stoß flüssiger Körper gegen feste ist endlich noch praktisch wichtig bei den Steuerrudern an Schiffen. Sie haben den Zweck, die Längsaxe des Schiffes in einer bestimmten Lage zu erhalten oder ihr eine bestimmte Lage zu geben, z. B. auf dem Meere lothrecht oder ziemlich lothrecht auf die Richtung der Wellen. Bewegt sich das Wasser gegen das Schiff, wie wenn man in einem Flusse stromaufwärts fährt; so stößt das Wasser gegen das Fahrzeug; fährt man in ruhendem Wasser, so stößt das Schiff gegen das Wasser. In beiden Fällen haben Wasser und Fahrzeug eine verschiedene Geschwindigkeit und nur dann wird ein Stoß ausgeübt; hat aber das Schiff die Schnelligkeit der Wasserströmung, so findet ein Stoß nicht statt und das Steuerruder ist ohne alle Wirkung.

Wenn die Kraft, welche das Schiff vorwärts treibt, mag es nun die des Windes, des Dampfes oder der Menschenhände sein, demselben eine Richtung gibt, die etwas von der gewünschten abweicht, so kann letztere durch die richtige Stellung des Steuerruders erreicht werden: will ich z. B. mehr nach der linken Seite (nicht nach Osten, sondern nach Nordosten), so muß ich auch das Steuerruder auf diese Seite legen, damit durch den schiefen Stoß des Wassers gegen dasselbe das mit ihm verbundene Hintertheil des Schiffes nach rechts, also das Vordertheil nach links gerichtet werde; soll das Vordertheil nach rechts gerichtet werden, so muß man auch das Steuerruder nach dieser Seite richten.

In den Flüssen bewirkt der Stoß des Wassers gegen die mehr oder weniger lose d. liegenden Steine, daß dieselben im Flußbette fortgerollt und dadurch an den Kanten abgerundet werden, wodurch der Sand entsteht. Solche Steine heißen Rollsteine. Aus der Größe und Lage der vom Wasser gestoßenen Oberfläche des Steines und aus der Geschwindigkeit und dem spezifischen Gewichte des Wassers läßt sich bestimmen, wie große Steine das Wasser bei einer gewissen Geschwindigkeit soeben in Bewegung setzt und welche Geschwindigkeit es ihnen gibt.

Nach Versuchen widersteht feiner Sand einer Geschwindigkeit des Wassers von 6 Zollen, größerer und eckiger einer von 8 Zollen, solcher von 3,5 pariser Linien Durchmesser grade noch einer von 1 Fuß, die Steine von 1 Zoll Durchmesser einer von 3 Fuß u. s. w. Das Wasser

im Bagnithale vermochte bei 25 Fuß Geschwindigkeit eine Steinmasse von fast 25 Fuß Durchmesser fortzuwälzen. Die Meereswogen schleudern bei Stürmen Felsblöcke von mehren Tonnen Gewicht ans Ufer. Durch die an den Meeresufern ewig hin- und hergehenden Wellen werden alle Steine rund abgeschliffen, je nach ihrer Grundform zu Kugeln, zu Zylindern mit abgerundeten Enden, zu runden Scheiben u. s. w. Der Sand am Meeresstrande ist ein Erzeugniß dieser Reibung, der die härtesten Steine natürlich am längsten widerstehen.

Auch der Stoß luftiger Körper gegen feste und umgekehrt ist häufig vorhanden und wird vielfach benutzt. Wie ungeheuer die Kraft des Stoßes der atmosphärischen Luft ist, erkennen wir bei Stürmen, welche im Stande sind, Dächer abzudecken und weit sie fortzuführen, die stärksten Bäume zu entwurzeln oder umzubringen und ganze Häuser umzustürzen. Praktisch wird der Stoß der Luft auf feste Körper namentlich zunächst bei den Windmühlen benutzt, welche bereits im Anfange des zwölften Jahrhunderts in Frankreich angewendet wurden. Anfänglich hatte man nur Bockmühlen, welche auf einem hölzernen Gestelle, dem Bocke, um einen Zapfen drehbar sind; aber um das Jahr 1650 bauten die Holländer festere Windmühlen auf einem vielseitigen oder runden Gebäude aus Mauersteinen, welches oben einen Kranz hat, um in ihm die Mühle nach dem Winde zu drehen. Weil der Wind sehr häufig nicht horizontal, sondern abwärts weht, ist die etwa 10 Fuß lange Flügelwelle gegen den Horizont so geneigt, daß das hintere Ende etwa 16 bis 20 Zolle tiefer liegt, als das vordere; an der Welle befinden sich meistens 4, höchstens 6 Arme oder Windruthen von etwa 40 Fuß Länge (höchstens 70 Fuß); durch die Windruthen gehen Sprossen, welche nach der Seite der Umdrehung höchstens 1 Fuß, auf der entgegengesetzten aber zunehmend von 4 bis 6 Fuß vorstehen. Die Sprossenlöcher, also auch die Sprossen liegen nicht in einer graden Richtung, sondern in einer gewundenen Linie, welche ungefähr den zwölften Theil eines Schraubenganges bildet, so daß die Winkel, die sie mit einer durch die Flügelaxe lothrecht gelegten Ebene machen, von der Welle an zunehmend größer werden. Die Sprossen sind auf der kurzen Seite mit sogenannten Windbrettern bedeckt und stecken der Festigkeit wegen auf der langen Seite in einem gemeinschaftlichen Rahmen, dessen Felder man entweder mit einzelnen leichten Scheiben aus dünnen Holzspießen oder, was besser ist, mit Leinen oder Segeltuch überspannt.

Nach der angegebenen Einrichtung liegen die Flächentheile eines Flügels nicht in einer Ebene. Wäre dieses der Fall und bildete dieselbe gegen den Wind einen bestimmten Winkel von etwa 45 Graden, so würden bei einer gewissen Geschwindigkeit des Windes nicht alle Theile dieser Ebene dem Stöße mit gleicher Geschwindigkeit ausweichen; sondern die entfernteren bei ihrer größeren Geschwindigkeit eher, als die der Axe näheren, so daß jene unter Umständen sogar schneller ausweichen wür-

den, als der Wind sie zu stoßen im Stande wäre, wodurch ein die Bewegung hindernder Erfolg erzeugt würde. Nimmt aber die Neigung der Fläche der Flügel von der Ase an nach den Enden gegen den Wind allmählig ab, so werden auch die entfernteren Theile ungeachtet ihrer größeren Geschwindigkeit ebenso stark gestoßen, als die näheren, wodurch der Nutzerfolg um etwa ein Drittel vergrößert wird.

Daß Windmühlen auch zur Herstellung von Pumpen für Ent- und Bewässerungen von Ländereien angewendet werden und vielleicht noch nicht oft genug, wollen wir nur nebenbei erwähnen.

Wenn eine kleine Welle um ein Stäbchen drehbar ist und man steckt die kurzen steifen Schwungfedern eines Entenflügels schräge ringsum auf sie; so ist dies eine Nachahmung der Windmühle. Steckt man eine zweite Reihe so auf eine zweite Welle daneben, daß die Drehung entgegengesetzt geschieht, so gibt dies mit bunten Federn ein nettes Spielzeug.

Bei dem Stoße des Windes auf die Segel eines Schiffes ist es noch wichtig, daß die Luft in dem Segel aufgefangen und dadurch etwas verdichtet werde, wodurch der Erfolg gesteigert wird. Man muß dabei allerdings theils durch die Lage, theils durch die Gestalt des Segels auch dafür sorgen, daß die Luft, nachdem sie ihre bewegende Kraft abgegeben, ohne Nachtheil abfließen könne. Daher die mannigfaltige Form und Stellung der Segel auf den großen Seeschiffen. Je mehr Segelfläche senkrecht zum Schiffskiele gestellt ist, desto mehr wird die Kraft des Windes benutzt. Beim Laviren bestrebt man sich nach der Weltgegend zu segeln, aus welcher der Wind weht, indem man im Zickzack, also abwechselnd nach rechts und nach links von der Richtungsline fährt und dabei den schiefen Stoß des Windes benutzt.

Auch durch Luftpumpen zusammengepreßte Luft wird als stoßende Kraft angewendet, nämlich bei den Windbüchsen, welche im 15ten Jahrhunderte in Deutschland erfunden worden, gegenwärtig aber nur noch wenig gebraucht werden, theils weil ihre Anwendung nicht ganz gefahrlos ist, theils weil sie durch die wirksamern Feuerwaffen verdrängt worden sind. Sie wurden von den Schweizern im Kriege gegen Napoleon häufig gebraucht und von diesem ihre Anwendung als dem Völkerrechte zuwider erklärt. Ihr Knall ist nur unbedeutend und läßt den Schützen oft nicht leicht entdecken. Ein Nürnberger Künstler Kelnner hatte für den König Friedrich August von Polen sogar eine Art Windkanone angefertigt, welche Kugeln von 4 Pfund Gewicht mit solcher Gewalt schoß, daß sie auf 400 Schritte Entfernung zweizöllige Bretter durchbohrten. M. F. Wild lud den Kolben einer guten Windbüchse so lange, bis das Ventil desselben sich nicht mehr öffnen wollte. Nach dem durch sehr genaues Abwägen der eingeschlossnen Luft bestimmten Inhalte betrug die Verdichtung ungefähr 36 Atmosphären, also der Druck auf einen Quadrat Zoll gegen $36 \cdot 15 = 540$ Pfunde. Eine 4,5 Linien

im Durchmesser haltende Kugel drang aus einem Laufe von 34 Zoll Länge beim vierten Schusse noch durch ein einzölliges Tannenbrett in einer Entfernung von 120 Fuß, und beim fünften Schusse drang die Kugel auf 228 Fuß Entfernung noch $\frac{3}{4}$ Zolle tief ein.

Beim Laden stellt sich übrigens heraus, daß mit zunehmender Verdichtung in dem Rezipienten immer mehr von der hineinzupressenden Luft entweicht. Im Allgemeinen wird kaum eine stärkere, als die 100fache Verdichtung erreicht, die Wirkungen sind aber stets größer, als die durch Pulvergase erzeugten, wenn man sie auf die durch Rechnung gefundenen Erfolge bezieht. Ein Maß Schießpulver gibt nämlich etwa 370 Maß Gase von 0 Grad Temperatur bei einem mittleren Barometerstande. Da dieselben aber bei ihrer Entwicklung eine Temperatur von 800 Graden haben (wodurch auch das Schwefelkalium in Gas verwandelt worden ist) und dadurch zu dem 4fachen Raume ausgedehnt werden, so beträgt die Druckkraft 1480 Atmosphären, welche durch andere Mittel nicht zu erreichen ist. Daß aber die auf das Geschos wirkende stoßende Kraft diesem Verhältnisse nicht entspricht, liegt darin, daß das Pulver gegen die zusammengedrückte Luft der Windbüchse und ebenso gegen die aus ihm entwickelten Gase einen verhältnißmäßig sehr kleinen Raum einnimmt, daß jene Luft der Windbüchse bereits in dem Zustande ist, in welchem sie die Kugel mit einer gewissen Kraft fortreibt, daß die Gase aber sich erst entwickeln und mit Raumerweiterung, also Kraftverminderung stoßen, daß letztere hierbei einen großen Theil ihrer Wärme an das Metall abgeben, wodurch das Schwefelkalium seine Spannkraft verliert und mit dem in eine schmierige Masse verwandelten Gase den Lauf beschmutzt.

Weil bei der Windbüchse vor und hinter dem Geschosse, nämlich im Laufe dicht hinter und unmittelbar vor ihm während des Abschießens verdichtete Luft vorhanden ist, so kann ein Knall nicht entstehen, wie beim Feuegewehre, da sich hier durch die Abkühlung der Pulvergase ein sehr stark luftverdünnter Raum gebildet hat, in welchen die umgebende atmosphärische Luft mit Heftigkeit stürzt und so sich schlägt, daß ein Knall entsteht.

Beim Feuegewehre zeigt sich noch die unter dem Namen Rückschlag bekannte Erscheinung, indem nämlich das Feuerrohr der Büchse oder Kanone eine rückgängige Bewegung gegen die des Geschosses macht. Während das Geschos sich noch im Laufe bewegt, hebt der Druck des Gases auf eine Stelle desselben den auf die ebensogroße entgegengesetzte auf. Dem Drucke nach hinten auf den Verschuß des Rohres ist der nach vorn entgegengesetzt; jener aber ist so lange unwirksam, wie lange das Geschos durch diesen im Laufe vorwärts getrieben wird. Sowie aber das Geschos den Lauf verlassen hat, tritt die einseitige Wirkung von jenem, also der Stoß nach hinten zur Wirksamkeit hervor. Dieser Rückschlag ist bei Kanonen oft sehr bedeutend und es ist nothwendig,

auf ihn Rücksicht zu nehmen, wenn die Laffetten, wie auf Schiffen, einen beschränkten Raum angewiesen erhalten haben.

Den Windbüchsen ähnlich in der Art der Einwirkung der Luft auf einen festen Körper sind die Bolzenbüchsen mit einem Blasebalg. In dem Kolben des Gewehres ist nämlich ein kleiner Blasebalg, welcher durch eine starke Feder plötzlich zusammengedrückt werden kann. Hat man denselben durch eine Hebelvorrichtung aufgezo-gen, so daß er mit Luft erfüllt ist; so wird beim Abschießen die Feder den Blasebalg schnell zusammen und die Luft augenblicklich aus ihm pressen, so daß sie auf das vor ihr liegende Geschos, einer zugespitzten Zwecke, deren Kopf mit Haaren oder Fäden dicht umgeben ist, einen einzelnen Stoß ausübt. Da beim Vorwärtsgehen der Zwecke in dem sehr gut polirten metallenen Laufe die Luft sich mehr und mehr ausdehnen kann, so wird die stoßende Kraft derselben nach der Mündung hin abnehmen, die Geschwindigkeit der Zwecke aber bis dahin zunehmen, wenn von der Reibung abgesehen werden kann, weil eine Kraft fortwährend auf sie in der Bewegungsrichtung einwirkt. — Anders ist es, wenn die Zwecke oder der Bolzen durch eine elastische Feder gestoßen wird, weil hier die Kraft nur in einem Augenblicke wirkt und dann zu wirken aufhört.

Eine verhältnißmäßig noch größere Wirksamkeit des Luftstoßes zeigt sich bei dem sogenannten Bläserohre. Es ist dieses ein etwa 6 Fuß langes hölzernes, recht grades zylinderförmiges Rohr, dessen innere Weite etwa 3 Linien beträgt. Man steckt an dem einen Ende in die Mündung eine Thonkugel oder eine Zwecke, deren Kopf mit zusammengeballtem Zeuge so stark umhüllt ist, daß sie grade noch ohne große Reibung durch das glatte Rohr getrieben werden kann, wenn man mit dem Munde stark darauf bläst, indem die betreffende Mündung durch den Mund geschlossen wird. Auf diese Weise erhält das Geschos eine so große Geschwindigkeit, daß man kleine Vögel und andere Thiere (Mäuse, Ratten) auf ziemliche Entfernungen wohl noch tödten kann. Diese Geschwindigkeit aber wird nicht dadurch erreicht, daß man durch die Brustmuskeln die Luft in einen für diese Wirkung einer nur einen Augenblick thätigen Kraft entsprechenden Dichtigkeitszustand versetzt; sondern daß das Geschos, wie lange es im Laufe ist, von fortwährend in ziemlich gleichem Grade verdichteter Luft getrieben und somit an der Mündung stärker gestoßen ankommt, als wenn die nur augenblicklich in den Lauf gebrachte verdichtete Luft sich hinter dem Geschosse ausdehnen kann. Nehmen wir an, daß wir, was unmöglich ist, im Stande wären, die Luft mit dem Munde auf das Doppelte ihrer Dichtigkeit zu bringen, so würde ohne Berücksichtigung der Reibung die Anfangsgeschwindigkeit des die Mündung des Bläserohres verlassenden Geschosses gegen 73 Fuß sein; daß sie aber in Wirklichkeit viel größer ist, ergibt sich daraus, daß sich dasselbe am Ende der Sekunde noch lange nicht um 15 Fuß zur

Erde gefenkt hat, sondern daß es sein gradlinig ihm gegenüberstehendes Ziel mit ziemlicher Sicherheit trifft.

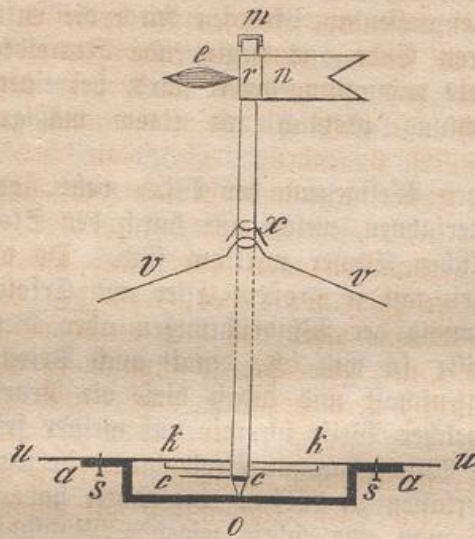
Bei der meistens nur als Spielzeug angewendeten Knallbüchse wird ein in ein Zylinderrohr gut einpassender Pfropfen durch die Luft, welche durch das von dem anderen Ende aus beginnende Eintreiben eines luftdicht einpassenden Stempels zusammengedrückt wird, bei einem hinreichenden Grade ihrer Verdichtung plötzlich mit einem mäßigen Knalle herausgestoßen.

Um zu bestimmen, aus welcher Weltgegend der Wind weht, hat man die Windfahnen oder Wetterfahnen, welche nur durch den Stoß der Luft auf einen festen beweglichen Körper wirksam sind. Da die Witterungskunde in der neueren Zeit mit so großem Eifer und Erfolge ausgebildet worden ist, die Bestimmung der Windrichtungen aber hierfür eine sehr wichtige Bedingung ist; so will ich, damit auch Privatleute durch Beobachtungen die Wissenschaft und durch diese die Praxis unterstützen können, angeben, in welcher Weise ich mir auf meiner früheren meteorologischen Station eine Windfahne zur Beobachtung in jeder beliebigen Zeit, ohne die Stube verlassen zu dürfen, eingerichtet habe.

Zunächst ist zu bemerken, daß man eine richtig zeigende Windfahne nur entweder auf einem einzelnen ganz freistehenden oder auf einem Hause, was die benachbarten überragt, anbringen darf, denn stößt sich der Wind an einem anderen höheren Gegenstande der Nachbarschaft, so bildet sich ein rückwärts und seitwärts gehender Wirbel, durch welchen die Fahne manchmal, ohne daß sich die Windrichtung ändert, ringsum gedreht wird.

Ferner muß sich die auf dem Horizonte lothrecht stehende Fahne sehr leicht bewegen lassen, damit auch ein leiser Wind sie nach seiner Richtung einstelle, was der Fall ist, wenn die beiden parallelen Fahnenflächen mit der Richtung des Windes auch parallel sind. Um diesen Zweck zu erreichen, muß die Fahne zwar ziemlich groß sein, damit ein schiefer Stoß auch eines leisen Windes sie einstelle, aber auch dabei möglichst leicht, also von nicht starkem Metallbleche. Sodann muß sie möglichst leicht drehbar sein um die Ase einer lothrechten Spindel, mag sie nun allein um die feste Spindel, oder an diese befestigt mit ihr sich drehen. Die Drehung würde aber durch vermehrte Reibung erschwert, wenn die Spindelaxe nicht den Schwerpunkt der Fahne enthielte. Es ist daher ganz unangemessen, wenn man eine bloße Fahne an der einen Seite der Spindel anbringt, weil dann ihr Schwerpunkt außerhalb der Ase liegt, die Fahne stets die Neigung hat, sich auf die eine Seite zu senken und auf dieser Seite eine starke Reibung zu erzeugen, wodurch ihre Beweglichkeit sehr vermindert wird. Man muß demnach ein die Fahne genau balancirendes Gegengewicht anbringen, es aber so einrichten, daß es dem Winde möglichst wenig Fläche für den Stoß darbietet, denn sonst würde die durch den Wind zu bewirkende Drehung

der Fahne durch die auf das Gegengewicht wirkende Kraft, welche die entgegengesetzte Drehung bewirken will, geschwächt.



(Fig. 197.)

Ränder zu einer scharfen Kante zusammengelöthet worden waren. Der unterste Theil der Spindel läuft in eine flache, gehärtete und polirte Spitze aus, welche auf einer ähnlichen Vertiefung o in einem eisernen Träger a o a ruht. Der Träger läßt ein Oblongum offen, nachdem seine Lappen durch zwei Holzschrauben s s an die Decke befestigt worden sind. Auf den vierkantigen Theil der Spindel über der Spitze ist ein Zeiger c c, der Fahne n grade gegenüber, aufgesteckt, welcher durch einen kleinen Stift gehalten wird und seine Spitze genau in der Ebene der Fahne hat. Endlich ist an der Decke in dem freien Raume des Trägers eine kreisrunde Scheibe k k von dünnem Bleche oder von Pappe mittelst einiger Stifte so befestigt, daß ihr Mittelpunkt in der Axe der Spindel liegt. Sie trägt an ihrem Umfange die durch einzelne deutliche Buchstaben bezeichneten Haupt- und Nebenweltgegenden, ist also eine sogenannte Windrose.

Damit an der Spindel herab nicht Nässe in das Haus dringe, hat die obere Oeffnung des Daches v v einen kurzen abgestumpften Hohlkegel, durch welchen die Spindel frei geht und darüber ist an der Spindel ein etwas überragendes Schirmdächelchen angelöthet, wie es bei x angedeutet ist.

Die lothrechte Lage der Spindel, welche unter Umständen auch aus gut getrocknetem und gefirnishtem Holze mit metallenen Endstücken gemacht sein kann, muß durch genaue Ablothung mittelst eines Regellothes erreicht werden. Schwieriger ist es, die Windrose so zu befestigen, daß

In Fig. 197 stellt m eine Spindel aus Rundeisen dar, welche über das Dach v v mehre Füße hervorragt und genau lothrecht durch die Decken u u und k k u. dergl. geht. Oben bei r und unten bei c ist sie vierkantig gearbeitet; oben trägt sie die auf das vierkantige Stück aufgeschobene und mit einer Schraube m versicherte Fahne n, welche durch das Gegengewicht e genau balancirt ist. Letzteres besteht aus zwei in der Mitte etwas ausgetriebenen, horizontal liegenden und mit Blei ausgegossenen Metallplatten, deren

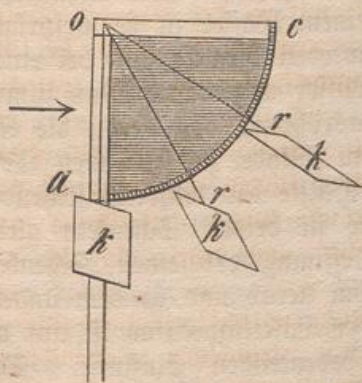
ihre Nord-südlinie auch genau im astronomischen Meridiane liegt. Zu diesem Zwecke wird man sich nach dem Polarsterne richten können. Man lothet so, daß der Polarstern, der Mittelpunkt der Windrose und das Loth in derselben Ebene liegen und läßt dann einen Gehilfen die Windrose so richten, daß man beim Visiren auch die Nord-südlinie derselben in dieser Ebene liegen findet und dann darf sie nur in dieser Lage an die Decke befestigt werden. Desters ist es nothwendig, von dem einen Zimmer nach einem andern zu lothen, wobei man aber gut thun wird, zurückzulothern, um zu sehen, ob man nicht etwa einen Fehler gemacht hat.

Ist man im Besitze einer Deklinationsnadel oder einer Bouffole und weiß man die magnetische Abweichung des Ortes, d. h. den Winkel, um welchen der Nordpol der Magnetnadel von dem astronomischen Meridiane nach Westen oder nach Osten abweicht; so kann man, wenn alles Eisenzeug in der Stube gehörig fern gehalten wird, auch zum Ziele gelangen.

• Hat man die Fahne an einer feststehenden Spindel, so kann man an letzterer in einer horizontalen Ebene vier rechtwinklich auf einander stehende Stäbe anbringen, welche die vier Hauptweltgegenden anzeigen.

Da die Fahne vom Winde immer dorthin gestellt wird, wohin derselbe weht, die Bezeichnung der Windrichtung aber nach der Weltgegend geschieht, aus welcher er kommt; so war es angemessen, den Zeiger der Fahne entgegengesetzt an der Spindel anzubringen, denn man hat durch ihn auf diese Weise unmittelbar die verlangte Windrichtung. Wenn der Wind einen Wirbel macht, so stellt sich die Fahne in die Richtung der Tangente des Beobachtungsortes.

Man hat auch eine Vorrichtung, um aus dem Stöße des Windes auf eine Fläche von bestimmter Größe seine Stärke oder Geschwindigkeit zu bestimmen; dies ist der Windmesser, Anemometer.



(Fig. 198.)

Eine ganz einfache Vorrichtung zu diesem Zwecke würde folgende sein. In Fig. 198 ist oac eine Windfahne in der Form eines Kreisquadranten, von welchem der eine Radius lothrecht, der andere horizontal und dessen Bogen von dem tiefsten Punkte a an in Grade getheilt ist. In dem Mittelpunkte o ist eine leicht drehbare Gabel angebracht, deren beide Theile or zu beiden Seiten des Quadranten lose herabgehen und unten eine auf der Windfahne lothrecht stehende Scheibe von 1 Quadratfuß Flächeninhalt tragen.

Ein horizontal wehender Wind stellt den Quadranten zunächst in seine Richtung und dann stößt er lothrecht auf die herabhängende Scheibe. Je schneller nun der Wind geht, desto kräftiger ist sein Stoß und desto höher muß die Scheibe *k* von ihm gehoben werden. Die horizontale Lage der Gabel würde für einen bestimmten Windmesser die größte Stärke des Windes angeben; da aber dieselbe um so eher erreicht wird, je leichter die Scheibe *k* ist, so darf man sie nicht so leicht nehmen, daß schon ein mäßiger Wind sie horizontal stellt, sondern so schwer, daß nur ein heftiger Sturm dieses thut, während ein mäßiger Wind sie nur wenig heben wird.

Damit bei Windstößen die Scheibe nicht über *c* hinausgeschleudert werde, ragt dort der als Radius betrachtete Stab etwas hervor und damit man, auch ohne zugegen gewesen zu sein, weiß, welches die größte Höhe der Scheibe gewesen ist, bringt man am Rande des Quadranten kleine Zähne an und versieht die Scheibe mit einem leichten Sperfhaken, welcher in diese Zähne eingreift und nach der Beobachtung mittelst einer Schnur wieder ausgelöst werden kann.

Man kann den Stoß des Windes auf die Scheibe leicht in Pfunden ausgedrückt erhalten, wenn man vorher durch Versuche ermittelt hat, wie viele Pfunde erforderlich gewesen sind, um die Scheibe auf eine gewisse Anzahl von Graden zu heben und schwebend zu erhalten. Mit Benutzung des Gewichtes der stoßenden Luft läßt sich dann ihre Geschwindigkeit finden; denn die Größe des Druckes steht mit dem Quadrate der Geschwindigkeit in gradem Verhältnisse.

Eine sinnreiche und im Ganzen sehr zuverlässige Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Windes besteht darin, daß man denselben auf tropfbare Flüssigkeiten stoßen läßt, aber nicht auf Wasser, sondern auf verdünnte und mit etwas Karmin gefärbte Schwefelsäure von 1,05 spezifischem Gewichte, weil jenes bei höherer Temperatur zu leicht verdunstet, diese aber viel weniger, so daß sie nur bei anhaltender Trockenheit durch Nachfüllen von etwas reinem Wasser in der ursprünglichen Menge und Dichtigkeit erhalten zu werden braucht und bei einem hohen Feuchtigkeitszustande der Luft kein Wasser annimmt. Man nimmt zu diesem Zwecke zwei kommunizirende Glasröhren, von denen die eine oben ein drehbares Rute mit der nach dem Winde zu stellenden Oeffnung hat und füllt die Flüssigkeit bis zur Hälfte der lothrecht stehenden Röhren ein. Bei Windstille steht dieselbe in beiden Schenkeln gleich hoch und je stärker der Wind auf die Oeffnung des einen Schenkels stößt, desto mehr wird die Flüssigkeit in ihm herab und in dem andern heraufgedrückt. Der Einfluß der wechselnden Lufttemperatur ist auf die Länge der Flüssigkeitssäule von keinem bedeutenden Einflusse. Der Unterschied der Höhe der Säulen, die Größe des Querschnittes und das spezifische Gewicht der Flüssigkeit geben dann den Druck des Windes auf

einen Quadratsfuß in Gewichtseinheiten, woraus dann die Geschwindigkeit des Windes ermittelt wird.

Die folgende Tabelle enthält die zu gewissen Höhen der Flüssigkeit gehörigen Drucke auf einen Quadratsfuß ausgedrückt in Pfunden und die Geschwindigkeiten des Windes, welche jenen Höhenstand erzeugen, ausgedrückt in pariser Fuß.

Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes	Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes	Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes
1'''	0,53%	18,35'	2" 1'''	13,29%	91,75'	5" 2'''	32,96%	144,5'
2	1,06	25,95	2 2	13,82	93,57	5 4	34,02	146,8
3	1,59	31,78	2 3	14,35	95,36	5 6	35,08	149,1
4	2,13	37,56	2 4	14,88	97,11	5 8	36,15	151,3
5	2,66	41,04	2 5	15,42	98,83	5 10	37,21	153,5
6	3,19	44,95	2 6	15,95	100,5	6 0	38,27	155,7
7	3,72	48,55	2 7	16,48	102,1	6 4	40,40	160,0
8	4,25	52,51	2 8	17,10	103,8	6 8	42,53	164,1
9	4,78	55,05	2 9	17,54	105,4	7 0	44,65	168,2
10	5,32	58,17	2 10	18,07	107,0	7 4	46,78	172,1
11	5,85	60,86	2 11	18,60	108,5	7 8	48,90	176,0
1" 0'''	6,38	63,57	3" 0	19,14	110,1	8 0	51,03	179,8
1 1	6,91	66,17	3 2	20,20	113,1	8 4	53,16	183,5
2	7,44	68,66	3 4	21,26	115,9	8 8	55,29	187,2
3	7,97	71,07	3 6	22,33	118,9	9 0	57,41	190,7
4	8,50	73,40	3 8	23,39	121,7	9 4	59,54	194,2
5	9,04	75,66	3 10	24,45	124,4	9 8	61,66	197,6
6	9,57	77,86	4" 0	25,52	127,1	10 0	63,79	201,0
7	10,10	80,00	4 2	26,58	129,8	10 4	65,92	204,3
8	10,63	82,07	4 4	27,64	132,3	10 8	68,04	207,6
9	11,16	84,10	4 6	28,71	134,8	11 0	70,17	210,8
10	11,69	86,11	4 8	29,77	137,3	11 4	71,30	214,0
11	12,23	88,01	4 10	30,83	139,7	11 8	74,42	217,1
2" 0'''	12,76	89,90	5 0	31,89	141,1			

Es sind noch viele andere Vorschläge zu Vorrichtungen für die Bestimmung der Geschwindigkeit des Windes gemacht worden, welche wir aber übergehen, theils weil sie zu sehr zusammengesetzt sind, theils auch zu nicht ganz genauen Resultaten führen. Es wäre übrigens ganz einfach, die Geschwindigkeit der Luftströmungen unmittelbar zu bestimmen, wenn sich zwei Beobachter mit genau übereinstimmenden Terzientuhren in einer gemessenen Entfernung so aufstellten, daß ein von dem einen losgelassener ganz leichter Gegenstand, wie eine Flaumfeder oder der Samenträger einer Distelpflanze, durch die Luft zu dem anderen getragen würde. Brauchte z. B. der Gegenstand 5 Sekunden, um den Weg von 500 Fuß zurückzulegen, so wäre die Geschwindigkeit 100 Fuß. Man muß natürlich eine größere Reihe von Beobachtungen anstellen,

aus denen das Mittel zu nehmen ist, um die unvermeidlichen Beobachtungsfehler so viel als möglich unschädlich zu machen.

Sehr interessant sind noch die Erscheinungen des Stoßes luftiger Körper auf recht elastische feste, wodurch letztere unter Umständen zum Tönen gebracht werden können, wie es uns die Aeolsharfe und die hölzernen Telegraphenstangen zeigen. Es erscheint aber angemessener, diese Wirkungen des Stoßes bis zu den Untersuchungen von den Tönen aufzuschieben.

Der Stoß fester Körper auf luftige bedingt das aktive Fliegen. Wenn wir das lustige Volk der Vögel, die buntgeflügelten Schmetterlinge und die zahllosen Schaaren von anderen Insekten die Luft durcheilen sehen, ja, wenn auch Säugethiere zum Theil auf die Dauer und sogar Fische zeitweise die Luft durchfliegen; so ist es kein Wunder, wenn uns der Traum, dieser muthwillige Affe der Phantasie, das Vergnügen des Fliegens vorspiegelt, wenn wir im Traume fliegend uns über das irdische Getreibe erheben und in höheren Regionen schwebend uns ein beseligendes Gefühl belebt, und wenn es seit Dädalus, welcher nach der Sage mit seinem Sohne Ikarus dem Minos aus Kreta übers Meer zu entfliegen suchte, nicht Wenige gegeben hat, die es sich angelegen sein ließen, Vorrichtungen zum Fliegen für die Menschen zu erfinden. Und in der That scheint es mir, daß die neuere in der Mechanik so weit fortgeschrittene Zeit unrecht gethan hat, dieses Thema nicht weiter zu verfolgen, welches auch der so sehr praktische Blick von dem berühmten Benjamin Franklin für lösbar erklärt hat. Auch der bereits 1292 verstorbene Roger Bacon meinte, daß es nicht schwer sein könne, eine Maschine zu bauen, durch welche ein Mensch wie ein Vogel in der Luft sich erheben könne und schon Archytas von Tarent soll eine hölzerne Taube durch einen eingeschlossenen Hauch (*aura spiritus inclusa*) und eine mechanische Kraft gewissermaßen belebt haben. Wir wollen aber, ehe wir zu späteren und uns genauer bekannten Versuchen zum Fliegen übergehen, einige allgemeine Betrachtungen über dieses in seiner theoretischen Entwicklung allerdings nicht leichte Thema anführen.

Es gibt sehr schwerfällig gebaute Vögel, welche dessenungeachtet und bei verhältnißmäßig gar nicht großen Flügeln ganz gut fliegen können. Es müssen also die zum Fliegen nöthigen Eigenschaften bei allen vorhanden sein. Dahin gehört, daß der ganze Körperbau nach vorn spitz ist, daß die Flügel bei der Vormärtsbewegung durch ihre Kante der Luft nur einen geringen Widerstand darbieten, daß der Schwerpunkt des Körpers auf der unteren Seite liegt, daß etwa $\frac{1}{5}$ des Volumens aus Höhlungen, welche Luft enthalten, besteht, daß auch die Knochen nur dünne Wandungen besitzen ohne Mark einzuschließen, daß die lufthaltigen Lungen oben am Rücken angewachsen sind und daß ihre Federbekleidung sowohl im Innern, als auch zwischen sich eine Menge Luft enthält. Da die Körperwärme der Vögel die der Menschen noch übertrifft, so ist

natürlich die eingeschlossene Luft leichter, als die äußere umgebende; aber alle diese Umstände sind vollkommen unzureichend, den Vogel ohne Flügelschlag in der Luft auf die Dauer schwebend zu erhalten und daß er auch während des Fliegens nicht etwa durch besondere Vorrichtungen sich wesentlich leichter machen kann, als er eben nach diesen Umständen ist, erkennen wir an dem sofortigen Herabfallen eines tödtlich geschossenen Vogels. Es ist also einzig der Flügelschlag, durch welchen der Vogel fliegt: je größer das Gewicht seines Körpers und je kleiner und schmaler seine Flügel sind, desto öfterer und heftiger muß er mit den Flügeln schlagen. Manche Vögel, wie die Sperlinge, Rebhühner u. a. müssen so schnell schlagen, daß durch diese Schläge ein Ton von gewisser Höhe entsteht. Der Winkel, welchen die beiden Flügel mit der graden Verbindungslinie ihrer Wurzeln machen, kann 180 Grade nicht ganz erreichen, wenn auch manche Vögel, wie die Tauben, mit ihren Flügeln zusammenschlagen. In je kürzerer Zeit sie einen gewissen Bogen und je mehr Schläge sie in einer gewissen Zeit machen und je größer die Flügel sind, desto kräftiger ist der Flug. Scharf begränzte, glatte Federn und spitz zulaufende dünne Flügel, wie sie die Schwalben und Möven besitzen, begünstigen einen raschen; flaumbedeckte rauhe Federn und breite runde Flügel, wie sie die Eulen besitzen, erzeugen einen leisen Flug. Bei dem Schlage der Flügel nach unten, wird die Luft über ihnen einen Augenblick weniger dicht, unter ihnen aber dichter; beides bewirkt die Erhebung des Vogels. Bildet der Vogel mit ausgebreiteten Flügeln hierbei gegen den Wind einen schiefen Winkel, so wird er durch diesen schiefen Stoß, wie ein Papierdrache aufwärts getrieben.

Man hat die Berrichtungen des Schwanzes nur als die eines Steuerruders angesehen, durch welches der Vogel sich seitwärts bewegen könnte; dies ist aber falsch, weil für diesen Zweck die Fläche des Schwanzes lothrecht sein müßte, was selbst bei unserem Haushuhne nicht der Fall ist, indem es nur beim Laufen die beiden Theile desselben aufwärts zusammenlegt. Der Schwanz dient dem Vogel fast nur zur Vergrößerung der Widerstandsfläche beim Fallen, was man u. a. recht deutlich am wellenförmigen Fluge der Bachstelze sieht, welche im herabgehenden Theile der Flugbahn mit angelegten Flügeln den Schwanz ausbreitet, beim aufsteigenden zusammenzieht; im zweiten Theile der Bahn wirkt vorzüglich das Beharrungsvermögen, welches beim schiefen Fallen erlangt worden ist. Aehnlich ist es beim Fischadler, wenn er in einem Bogen so dicht an die Oberfläche des Wassers stürzt, daß er mit seinen Krallen die Beute ergreifen kann und doch von da an, ohne ins Wasser zu stürzen, in einem Bogen wieder aufwärts steigt. Wenn Vögel, z. B. Tauben, zufällig ihres Schwanzes beraubt sind, so können sie dennoch nach allen beliebigen Richtungen fliegen.

Wenn Raubvögel mit ihren großen runden Flügeln, deren untere Fläche durch den Widerstand der Luft noch mehr ausgehöhlt wird, als

sie es schon durch den natürlichen Wuchs der Federn ist, lange schweben, ohne mit den Flügeln zu schlagen; so fallen sie eigentlich ganz langsam auf einer schiefen und spiralförmig gewundenen Fläche, wobei die Luft unter ihren Flügeln etwas verdichtet ist.

Wenn die Kraft, mit welcher der Vogel aufwärts gestiegen ist, seinem Gewichte das Gleichgewicht hält, so wird er allerdings eine ganz kurze Zeit horizontal schweben, ohne sich zu regen, und diese Zeit kann etwas verlängert werden, wenn unter ihm eine starke Luftströmung stattfindet; er wird aber bald wieder einige Flügelschläge thun müssen, wenn er nicht zu tief sinken will.

Eine veränderte Richtung gibt sich der Vogel durch Anspannen, Wenden oder Einziehen der Flügel; durch ihre Steifung, durch Veränderung des Winkels, unter welchem der Schlag geschieht, durch die Anzahl und Stärke der Schläge und vorzüglich durch einen ungleichen Flügelschlag in ähnlicher Weise, wie es bei einem Rahne der Fall ist, welchen man durch zwei Handruder auf beiden Seiten in Bewegung setzt oder wie die Richtung eines Raddampfers verändert wird, wenn man nur das eine Rad in Bewegung setzte. Der Körper wird um die Seite gedreht, an welcher die hervorgebrachte Bewegung eine etwas geringere ist.

Die Geschwindigkeit der Vögel ist eine oft höchst bedeutende, z. B. von den pfeifenden Thurmschwalben, auch von den sogen. Brieftauben, von den Raubvögeln. Man erzählt, daß dem Könige Heinrich II. von Frankreich aus Fontainebleau ein Falke entflohen sei, welchen man nach 24 Stunden in Malta gefunden habe, so daß er in jeder Stunde 19 Meilen zurückgelegt haben würde. Auch die Höhe, bis zu welcher dieselben sich erheben können, ist oft sehr bedeutend. Alexander v. Humboldt sah auf dem Chimborasso einen Kondor über sich schweben, der ihm endlich wie ein Punkt erschien.

Eigentliche Versuche zum aktiven Fliegen der Menschen sind erst zu Anfange dieses Jahrhunderts gemacht worden. Der von Ch. Fr. Zachariae glückte nur insoweit, als seine kleine Maschine bei jedem Flügelschlage in einer Sekunde sich zwar merklich erhob, aber nicht schwebend erhielt. Glücklicher war im Jahre 1808 Jacob Degen, welcher zu Wien sich selbst mit einem Gewichte von 119 Pfunden durch eine Maschine von 25 Pfunden, bei welcher noch 9 Pfunde auf die Reibung kamen, also zusammen 153 Pfunde mit einem angebrachten Gegenwichte von 75 Pfunden, so daß noch 75 Pfunde zu heben waren, mittelst etwa 34 Flügelschlägen in 30 Sekunden zu einer Höhe von 50 Fuß erhob ($1\frac{1}{2}$ Fuß auf einen Schlag).

Bei einem späteren Versuche hing er sich mit seiner Maschine an einen Luftball von 19 Fuß Durchmesser, welcher ihn nur eben zu tragen vermochte, und erhob sich bis zu 105 Klaftern, löste sich dann vom Ballon ab und kam langsam und vollkommen sicher herabgeflogen, wobei

er zeitweise etwas ausruhte und sich dann wieder erhob, selbst mit Benutzung des Windes und auch sich umwendete.

Das Gerippe seiner Flügelvorrichtung bestand aus Bambusrohr, die Oberfläche aus gestricktem feinen Papiere; die Länge jedes Flügels betrug 10 Fuß 4 Zoll, die größte Breite 9 Fuß, die Oberfläche 54 Quadratfuß. In jedem Flügel waren 3500 Klappen, die an Seidenfäden befestigt waren und nach unten sich öffneten, so daß sie, bei der Bewegung nach oben geöffnet, wenig Widerstand leisteten, bei der Bewegung nach unten geschlossen wurden und den Stoß auf die Luft ausübten. Das Gestell, welches bis zur Höhe des Halses reichte, wenn der Fliegende aufrecht stand, war mit dem Körper zwar fest verbunden, hinderte aber dessen freie Bewegungen nicht und seidene Schnüre gingen von allen Seiten nach einer Stange, wie nach einem Mastbaume, um dem Ganzen die feste Lage zu erhalten. Der Schlag herab wurde durch das kräftige Treten der Füße hervorgebracht.

Wenn das Fliegen des Menschen nicht allzusehr erschwert, sondern auf eine längere Dauer ermöglicht werden soll, so wird es immer nothwendig sein, ihn in Verbindung mit einem Körper zu bringen, welcher um Vieles leichter ist, als die atmosphärische Luft; denn der Widerstand, welchen der in der Luft bewegte bloße Körper mit der Maschine erleidet, ist gleich dem Gewichte eines Luftkörpers, welcher den Querschnitt jener zwei Körper zur Grundfläche und die der Geschwindigkeit zukommende Länge zur Höhe hat. Damit also der Luftkörper dasselbe Gewicht habe, müßte die Geschwindigkeit sehr groß sein, was nicht leicht zu erreichen ist. Man könnte also zur Erreichung des Zweckes, statt sich an einen Luftball mit leichterer Luft zu hängen, unmittelbar über seinem Körper einen angemessenen, etwa fischartig gestalteten, mit Wasserstoff- oder Leuchtgas erfüllten leichten Körper so anbringen, daß dadurch die Flügelbewegung nicht gehindert würde. Um eine schnellere Ermüdung zu vermeiden, könnte man die Einrichtung so treffen, daß beide Beine abwechselnd arbeiten, wie beim Gehen, und daß auch die Arme in die Bewegung eingreifen, namentlich die Bewegung des einen oder des anderen Flügels beschleunigen könnten, um Schwankungen hervorzubringen. Es ließe sich auch wohl ein Schwanz anbringen, den man durch das Spreizen der Beine nach Belieben ausbreiten und neigen könnte. Vor dem Munde müßte zum Schutze gegen schnell andrängende Luft eine Art Schutzdach angebracht sein u. dergl. Genug! Es scheinen mir mit Unrecht die weiteren Versuche, das Fliegen der Menschen weiter auszubilden, wenn es nur zu ganz besonderen Zwecken benutzt werden sollte, aufgegeben worden zu sein.

Der Stoß der atmosphärischen Luft gegen das Niveau von Gewässern ist im Stande, diese in die heftigsten Bewegungen zu versetzen, und zwar um so mehr, je schiefere der Stoß ist. Es ist nämlich nicht so gar häufig der Fall, daß der Wind auf längere Dauer ganz

horizontal geht; er bildet Wellen, stößt meist schräge von oben nach unten und kann daher auch in dem Wasser Wellen erzeugen, welche um so höher werden, je tiefer das Meer oder Gewässer ist. Es ist vorzüglich der dauernde Einfluß des Sturmes, welcher die Wellen immer höher und höher thürmt; aber es ist auch im höchsten Grade auffallend, wie ein horizontal und stark wehender Wind das Wasser in kurzer Zeit wieder zu glätten vermag. Sind Wellen durch den Wind erzeugt worden, so stoßen dieselben auch gegen einander und werden dadurch selbst im offenen Meere auch oft zu bedeutenden Höhen aufgestaut. Ebenso findet es aber auch an den Küsten statt, daß den nach dem Lande kommenden Wellen die von diesem zurückgeworfenen entgegenkommen, wodurch sie schäumend, d. h. mit Luft sich mischend, einander zu bedeutenden Höhen aufthürmen. Wenn sie einander auf eine längere Strecke recht pavellel entgegen kommen, so überstürzt die stärker ankommende die andere in einem Bogen ankommende so, daß sie dabei eine Menge Luft einhüllt, welche sie zusammendrückt und mit einem lauten Klatsch durch sich läßt. Hübsche Figuren entstehen, wenn man einen Wasserstrahl entweder auf recht glatte, verschieden geformte Metallflächen oder wenn man zwei Wasserstrahlen gegen einander stoßen läßt, so daß die Geschwindigkeit ganz oder theilweise aufgehoben wird. Die beiden Strahlen können eine verschiedene Stärke und Geschwindigkeit haben, der Stoß kann ein zentraler oder exzentrischer, ein grader oder schiefer sein, und dabei können auch die Ausflußöffnungen verschieden geformt sein.

Zweiter Abschnitt.

Von der Reibung.

Wenn ein Körper mit Berührung an einem anderen sich bewegt, gleichgiltig, welchem Aggregatzustande die Körper angehören, so erfährt die bewegende Kraft eine Verminderung oder sie erleidet einen Widerstand, welchen man Reibung nennt. Dieser Widerstand wirkt schon, ehe noch die Bewegung begonnen hat und dauert während derselben fort. Die Reibung zweier Körper kann ohne oder mit Anwendung einer besonderen drückenden Kraft stattfinden; im zweiten Falle reiben wir einen Körper am anderen, wie z. B. wenn man ein Stück Zucker an einem anderen durch Anwendung eines Druckes hin und her bewegt. Dieses aktive Reiben wird angewendet, wenn man aus einem Körper, dessen Theile einen nur schwachen Zusammenhang haben, ein Pulver machen, oder ihn pulverisiren will; wir zerreiben den Körper. Wir betrachten

hier aber nicht diesen Erfolg, sondern nur den Widerstand gegen diese Bewegung, abgesehen von dem Beharrungsvermögen der Körper.

Die Ursache aller Reibung ist die Rauheit der Oberflächen aller Körper, indem sie bei keinem, so glatt sie auch erscheinen mögen, ohne Hervorragungen und Vertiefungen sind, wozu bei den festen Körpern noch häufig der nicht sehr bedeutende Grad der Härte tritt. Wären alle Körper absolut glatt und hart, so würde es freilich zwar keine Reibung geben, aber die Adhäsion würde als Zeichen der allgemeinen Massenanziehung der Bewegung auch ein Hinderniß entgegenstellen, welches wir aber mit unter dem Begriffe der Reibung behandeln, weil sich wohl kaum ermitteln läßt, wie viel von dem Hindernisse der Bewegung auf die Rauigkeit und wie viel auf die Glätte der Oberfläche zu rechnen ist.

Die Reibung fester Körper.

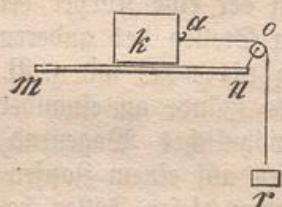
Während ein fester Körper auf einem anderen liegt, gehen die kleinen Erhabenheiten des einen in die Vertiefungen des anderen oder liegen theilweise auf einander oder schweben auch über Vertiefungen des anderen. Findet nun die Bewegung statt, so müssen die in den Vertiefungen liegenden Theile des einen über die Erhabenheiten des anderen gehoben werden, wobei gleichzeitig eine um so größere Menge von exzentrischen, der Bewegung einen Widerstand entgegensetzenden Stößen stattfinden, je rauher die Körper bei derselben Ausdehnung der Berührungsflächen sind. Bei diesen Stößen werden nach und nach Erhabenheiten abgerissen, die Flächen reiben einander ab und werden glatter.

Die Reibung derselben zwei Körper ist nach der Art ihrer Bewegung und nach ihrer Gestalt verschieden. Wenn der eine Körper bei seiner Bewegung stets mit denselben Stellen den anderen ruhenden in neuen Stellen trifft oder wenn jeder von zwei bewegten Körpern den anderen in immer neuen Stellen trifft oder wenn der eine Körper bei seiner Ruhe an denselben Stellen von immer neuen Stellen des anderen bewegten getroffen wird, so ist die Reibung eine gleitende, wie z. B. wenn ein Schlitten gezogen wird, wenn man beide Hände an einander bewegt, wenn ein Rad um seine feste Ase (gewöhnliches Wagenrad) oder eine Ase auf einer festen Unterlage (ein Zapfen auf einem Zapfenlager wie bei den Wasserrädern) sich dreht. In allen diesen Fällen bewegen sich die berührenden Theile der Oberfläche des einen Körpers parallel mit den Theilen der anderen Oberfläche, mögen es ebene oder gekrümmte Flächen sein. Die Zapfenreibung ist also eine besondere Art der gleitenden Reibung, indem die Berührungspunkte stets nur an dem einen Körper wechseln, mag sich die Nabe auf einer festen Unterlage oder die Nabe (Radfutter) um die feste Ase drehen. — Treten aber immer neue Punkte beider Körper mit einander in Berührung, während die früher in Berührung gewesen sind sich von einander entfernen, wie es

z. B. der Fall ist an dem Umfange des Rades eines Wagens, welcher über eine Fläche dahin fährt, so ist die Reibung eine wälzende.

Bei der gleitenden Bewegung muß jedes Theilchen des bewegten Körpers von der Berührungsstelle sich losreißen von dem es zurückhaltenden Theilchen des unbewegten Körpers, bei der wälzenden aber wird immer ein neues Theilchen des bewegten Körpers zur Berührung gebracht und das durch die Rauheit der Unterlage festgehaltene Theilchen mehr gehoben, als fortgeschleift, ohne daß hier so leicht Abreißung erfolgt, als dort. Es ist also unter übrigens gleichen Umständen die wälzende Reibung kleiner, als die gleitende, zumal bei jener der Schwerpunkt des bewegten Körpers, weil die Unebenheiten nicht fortgerissen werden, weniger gehoben zu werden braucht, und die Berührung der Körper auf kleinere Flächen beschränkt wird.

Aus dem Begriffe der Reibung ist klar, daß man, wenn ein Körper an einem anderen bewegt werden soll, eine Kraft anwenden muß, welche nicht bloß der Last das Gleichgewicht hält oder vielmehr sie um etwas Weniges übertrifft, sondern daß man diese Kraft um den Reibungswiderstand vermehren muß. Für bestimmte Körper und für eine bestimmte Beschaffenheit und Größe der einander reibenden Flächen ist der Widerstand stets ein bestimmter Bruchtheil von der Last und heißt Reibungskoeffizient. Wäre die Reibung z. B. $\frac{1}{4}$ oder 25 Prozent der Last, d. h. müßte man bei 100 Zentnern Last 25 Zentner Kraft bloß zur Ueberwindung der Reibung anwenden, so wäre der Reibungskoeffizient 0,25. Es ist praktisch von großer Wichtigkeit, die Reibungskoeffizienten für verschiedene Stoffe zu bestimmen, da es ja bei Maschinen vorzüglich darauf ankommt, alle Einrichtungen so zu treffen, daß von der Arbeitskraft so wenig als möglich verloren gehe. Die Vorrichtungen zur Bestimmung der Reibung hat man Tribometer oder Reibungsmesser genannt. Die Methoden zur Messung der Reibung sind folgende:

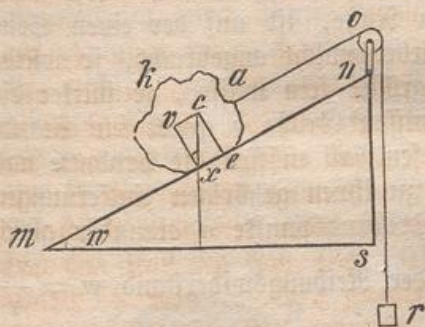


(Fig. 199.)

1) Auf einer genau horizontalen ebenen Platte $m n$ (Fig. 199) befindet sich der Körper k von dem Gewichte s , welcher die Platte mit einer bestimmten Fläche berührt, an dem einen Ende der Platte ist eine kleine äußerst leicht drehbare Rolle so befestigt, daß ein über sie gelegter und an k gebundener Faden, in dessen Richtung der Schwerpunkt des Körpers liegt, mit dem Theile $a o$ der Platte parallel ist. Ist an dem anderen Ende des Fadens ein Uebergewicht r angehängt, welches grade nur im Stande ist, das k in Bewegung zu setzen; so ist der Bruch r/s der Reibungskoeffizient. Wiegt k z. B. 10 Pfunde, ist r gleich 1 Pfund, so ist der Koeffizient 0,1. Um die Rücksicht auf die Reibung der Rolle zu beseitigen, kann man zwischen a und o eine genau berichtigte Federwage einspannen, deren Skale die Spannung des Seils angibt.

Wird auf einer horizontalen Ebene ein Körper so gezogen, daß die Bewegung gleichmäßig bleibt, so ist die ziehende Kraft der Reibung gleich und die Beobachtung der durchlaufenen Wege, aus denen sich die Gleichförmigkeit der Bewegung ergibt, läßt beurtheilen, ob auch die ziehende Kraft stets der Reibung gleich ist.

2) Wäre Reibung nicht vorhanden, so würde jeder Körper auf einer gegen den Horizont auch außerordentlich wenig geneigten Ebene herabgleiten. Je größer man den Neigungswinkel gegen den Horizont machen muß, ehe der Körper herabgleitet, desto größer ist seine Reibung. Es steht also die Größe dieses Neigungswinkels mit der Größe der Reibung in einer gewissen Beziehung, welche durch das Verhältniß der



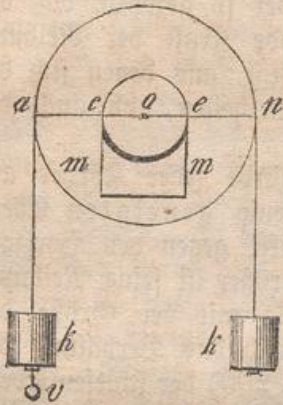
(Fig. 200.)

Stellt die Linie cx das Gewicht des Körpers dar und zugleich die Richtung, in welcher es wirkt, so muß diese auf mn schief wirkende Kraft zerlegt werden in die darauf lothrecht wirkende ce , womit der Körper die schiefe Ebene drückt, und in die mit ihr parallele cv , womit sie darauf herabgleiten würde, wenn keine Reibung stattfände. Das Verhältniß von jener Kraft zu dieser ist gleich dem Verhältnisse der Höhe ns der schiefen Ebene zu ihrer Basis ms ; beide sind nur Antheile von cx .

Wenn man an den Körper k eine Schnur bindet und über eine sehr leicht bewegliche Rolle o leitet, daß das Schnurenstück ao mit der schiefen Ebene parallel geht und der Schwerpunkt von k in ihrer Richtung liegt, so wird ein an dem anderen Ende der Schnur angebrachtes Gewicht die gleitende Kraft grade im Gleichgewichte halten können und die durch die drückende Kraft hervorgebrachte Reibung wird ein Mehrgewicht verlangen, wenn k aufwärts bewegt werden soll, und ein Mindergewicht, wenn das Herabgleiten eben beginnen soll. Der Reibungskoeffizient ist für den Winkel, bei welchem soeben das Herabgleiten des freiliegenden Körpers beginnt, der Bruch, dessen Zähler die Höhe und dessen Nenner die Basis der schiefen Ebene ist.

3) Für das Maschinenwesen ist besonders wichtig die Reibung, welche die Zapfen von Wellen in ihren Lagern erleiden. Es

Höhe ns (Fig. 200) der schiefen Ebene zu ihrer Basis ms angegeben wird. Ist nämlich w derjenige Winkel, bei welchem der Körper k auf der schiefen Ebene mn grade herabzugleiten beginnt, so läßt sich aus der Kraft, mit welcher k wegen seines Gewichtes lothrecht auf den Horizont wirkt, und aus diesem Winkel sowohl die Kraft finden, mit welcher k auf die schiefe Ebene lothrecht drückt, als auch die Kraft, mit welcher k auf ihr ohne Reibung herabgleiten würde.



(Fig. 201.)

dies bei vorhandener Reibung um so größer sein müssen, je stärker die Reibung ist, und würde bei einer gewissen Größe v grade im Stande sein, die Reibung aufzuheben. Für diesen Fall müssen die Produkte aus den beiden Kräften w und v mit den zu ihnen gehörigen Entfernungen r und R von dem gemeinschaftlichen Drehungspunkte o einander gleich sein oder $w \cdot r = v \cdot R$; folglich ist der Reibungswiderstand $w = \frac{vR}{r}$ und der Reibungskoeffizient, wenn man die ganze Belastung der Welle, (also ihr eigenes Gewicht mit den angehängten) mit u bezeichnet, ist $= \frac{v}{u} \cdot \frac{R}{r}$. Wäre z. B. der Radius der Welle 6 Zoll, der des Zapfens 2 Zoll, die Belastung der Welle 300 Pfunde und brächten 10 Pfund einseitig angehängt soeben die Drehung hervor, so wäre der Reibungswiderstand 60 Pfunde $\left(\frac{10 \cdot 12}{2}\right)$ und der Reibungskoeffizient $\frac{1}{5} = 0,2$ (nämlich $\frac{10 \cdot 12}{300 \cdot 2}$).

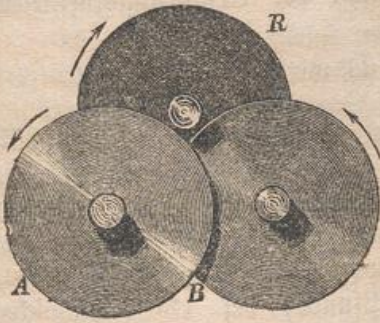
4) Auf ähnliche Weise kann man die Größe der Reibung bei allen Maschinen bestimmen, indem man der Maschine, während sie keinen fremden Widerstand zu überwinden hat, so viele Gewichte anhängt, daß sie eben in Bewegung geräth. Um dieses Gewicht muß die Last vergrößert werden, wenn man die Kraft für das Gleichgewicht bestimmen will. Die Reibung ist bei einer bestimmten Maschine erzeugt durch die Summe der Last und der bewegenden Kraft.

Wenn der Durchmesser eines Rades 8 Fuß, seiner Welle 1 Fuß und des Zapfens 2 Zoll oder $\frac{1}{6}$ Fuß ist, wenn ferner der Wellbaum 80 Pfunde, die angehängte Last 320 Pfund und die angewendete Kraft 40 Pfund beträgt, so ist der Gesamtdruck auf die Zapfenlager $80 + 320 + 40 = 440$ Pfunde. Wäre nun der Reibungskoeffizient

sei ao (Fig. 201) der Radius R einer Welle, co der Radius r ihres Zapfens, mit welchem sie sich auf dem Widerlager mm drehen kann; so ist der Reibungswiderstand w um den Radius r des Zapfens und die an dem Umfange der Welle irgendwie, z. B. durch ein ungelegtes Tau mit Gewichten angebrachte Last um den Radius R der Welle von dem Drehungspunkte o entfernt. Sind die Enden des übergelegten Taus mit gleichen Gewichten kk versehen, so bleibt die Welle selbst ohne Reibung in Ruhe, ist auf der einen Seite noch ein Uebergewicht angebracht, so würde

0,277 (oder wäre, wie es bei Eisen auf Eisen der Fall ist, der Reibungs-
koeffizient 27,7 Prozent der Last), so könnte man sich um den Zapfen
ein Seil mit dem Gewichte 0,277 · 440 Pfunde = 111,88 bei weg-
gedachter Reibung geschlungen denken, und das würde dieselbe Kraft-
änderung zeigen, als wenn man an dem Umfange der Welle die Last
um $\frac{1}{6}$ · 111,88 Pfunde = 18,65 Pfunde vermehrte. Es würden also
in diesem Beispiele gegen 19 Prozent der angewendeten Kraft zur Ueber-
windung des Reibungswiderstandes verbraucht.

5) Friktionsrollen. Bei der Drehung eines Rades um eine
Axe ist die Reibung um so nachtheiliger, je weiter die reibenden Stellen
von dem Drehungsmittelpunkte entfernt sind, d. h. je stärker die Axe ist.
Deshalb sind dünne Axen vortheilhafter, als dicke. Ferner aber wird
die Reibung durch Verminderung der Anzahl der Berührungspunkte der
auf einander bewegten Körper verkleinert. Es ist also die Gestalt der
Axe wichtig. Eine zylindrische Axe berührt eine ähnlich, aber nur wenig
gebogene Unterlage in einem schmalen, länglichen Streifen, und, könnte
letztere eine Ebene sein, in einer graden Linie. Lauft aber die Axe in
eine kegelförmige Spitze mit einem nicht zu kleinen Winkel aus, welche
auf der Innenfläche eines weiteren Hohlkegels ruht, so ist die Menge
der Berührungspunkte noch geringer. Ruht endlich die Axe der Rolle



(Fig. 202.)

R (Fig. 202) auf zwei leicht drehbaren
Rollen A und B, so berührt sie die
letzteren nur sehr wenig und wenn sie
selbst in der Richtung des oberen Pfeiles
sich dreht, gerathen die Rollen, ohne daß
die Axe an ihren Umfänger sich hin-
schiebt oder irgend bedeutend reibt, in
Drehung, wie sie die an ihnen gezeich-
neten Pfeile angeben; dagegen erleiden
die Axen der Rollen A und B zusammen an
der Axe von R eine ebenso große Reibung,
wie die Axe von R. Wäre die Reibung ein gewisser Antheil x von ihrer
Belastung k , also $x \cdot k$, und somit die Reibung an der Axe jeder der
beiden Rollen $\frac{1}{2} x \cdot k$, so könnte dieser Reibungswiderstand nur durch
eine ebenso große Kraft aufgehoben werden, wenn sie auch, wie die
Reibung selbst, an dem Umfange der Axe angriffe; greift sie aber wei-
ter an, so braucht sie nur in demselben Verhältnisse kleiner zu sein, in
welchem ihr Angriffspunkt von dem Drehpunkte sich entfernt. Da nun
die Berührungspunkte der Axe von R mit den Umfängen der Rollen die
Angriffspunkte der Kräfte sind, welche die Reibung an den Umfängen
ihrer eigenen Axen zu überwinden haben, so wird die Reibung der Axe
R um den so vielen Theil herabgesetzt, als es das Verhältniß des Ra-
dius R der Rolle zum Radius r ihrer Axe anzeigt, und es ist da-
her die zur Ueberwindung der Reibung nöthige Kraft für jede Rolle

$\frac{1}{2} \cdot \frac{r}{R} \times k$, also für beide Rollen zusammen $\frac{r}{R} \cdot x k$. Dieser Ausdruck gibt nur insofern einen etwas zu kleinen Werth, als hierbei das Gewicht der beiden Rollen, welches die Reibung um etwas vermehrt, und die Reibung des R an den Berührungsstellen mit A und B vernachlässigt ist. Ist das Gewicht von A und B unbedeutend und die sonstige Einrichtung angemessen, so ist die wirkliche Reibung durch solche sogenannte Friktionsrollen auf ein möglichst geringes Maß zurückgeführt.

6) Wenn bei Maschinen Tauen, Ketten, Riemen angewendet werden, welche wegen ihrer Steifigkeit nicht genau an den Orten angreifen und in der Richtung wirken, welche bei der Berechnung des Erfolges zum Grunde gelegt werden, so liegt darin auch noch ein Hinderniß der Bewegung, welches im graden Verhältnisse mit der darauf wirkenden Last (L), so wie der Dicke (Durchmesser d) der Tauen und im umgekehrten des Durchmessers (D) der Rolle oder Welle steht, um welche das Tau geschlungen ist. Da man hierbei die Erfahrung gemacht hat, daß eine Schnur von 1 Linie Dicke bei einer Last von 1 Pfund an einer Welle von 1 Zoll Durchmesser durch die Steifheit einen Widerstand von 1 Loth oder $\frac{1}{30}$ Pfund leistet, so ist der allgemeine Ausdruck für den Widerstand $\frac{1}{30} \cdot \frac{dL}{D}$. Bei dickeren Tauen wächst der Erfahrungskoeffizient

bis zu 0,2, so daß der Ausdruck $\frac{0,2 \cdot d}{D} \cdot L$ wird.

Ist ein Seil um einen unbeweglichen Zylinder gewickelt, so hält es wegen seiner Reibung um so größere Lasten im Gleichgewichte, je mehr es umgewickelt ist, aber es steigt seine tragende Kraft dabei in auffallender Weise. Wenn man die Reibung nur $\frac{1}{4}$ des Druckes annimmt, so braucht man, um eine Last von 100 Pfunden zu heben, bei einer Umwicklung von 90° , 148 Pfunde, bei 180° Umwicklung 206 Pfunde, bei 360° schon 481 Pfunde, bei 540° 1055 Pfunde, bei 700° 2314 Pfunde, bei drei ganzen Umwickelungen 11131 Pfunde. Es hält also ein sehr geringes Gewicht nach einigen Umwickelungen des Seiles einer sehr bedeutend ziehenden Kraft das Gleichgewicht: bei sechs Umwickelungen ein einziges Pfund 12300 Pfunden.

Wenn aber der Zylinder um seine Ase ganz frei drehbar ist, so bedarf es einer weit geringeren Kraft, weil das angezogene Seil nicht über der Oberfläche desselben fortgezogen zu werden braucht, indem es ihn dreht und der noch vorhandene Widerstand ist fast nur der Steifheit des Seiles beizumessen, welches der Krümmung des Zylinders nicht gleich folgt.

Wie groß aber der gemeinschaftliche Einfluß der Steifheit der Seile und der Reibungswiderstand werden kann, zeigt sich u. a. bei den später noch genauer anzuführenden Flaschenzügen. Bei einem öfters schon ge-

brauchten und gut eingeschliffenen Flaschenzuge mit zwei Kloben, von denen jeder zwei Rollen besaß, hatten die beiden größeren Rollen einen Halbmesser von 23 Linien, die beiden kleineren von 18,5 Linien, die Are 3,5 Lin. An dem unteren Kloben von 10 Pfund Gewicht hingen 50 Pfund, die vier Seile wogen 12 Pfund, also war die Gesamtlast 72 Pfunde. An dem fünften Seile waren 25 Pfunde nothwendig, um eine gleichmäßige Bewegung zur Ueberwindung der Reibung hervorzu- bringen, ohne Reibung wären nur 18 nothwendig gewesen.

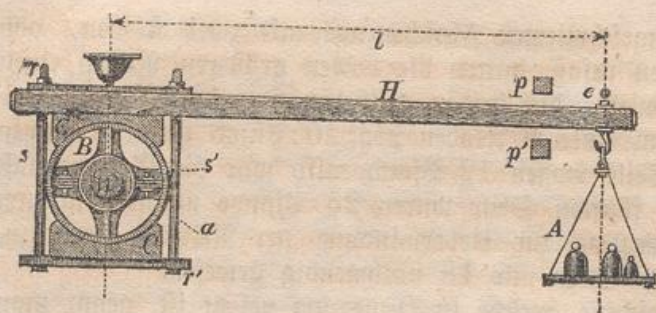
7) Bei einer Maschine, welche in Bewegung gesetzt ist, nennt man das Produkt einer beständigen Kraft und des von ihrem Angriffspunkte in einer gewissen Zeit beschriebenen Weges die Arbeit der Kraft. Wird nun bei der Maschine die Arbeit der Kraft auf einen anderen Angriffspunkt übertragen, so erleidet sie wegen der verschiedenen Reibungswiderstände einen Verlust und der von ihr noch übrig bleibende Erfolg wird der Nutzerfolg oder Nutzeffekt der Maschine genannt. Es muß beim Baue der Maschinen das Bestreben dahin gerichtet sein, den Nutzerfolg möglichst groß zu erhalten. Wie dazu aber unter Umständen die Reibung auch förderlich sein kann, werden wir später sehen.

Der Bremskraftmesser.

Es ist praktisch höchst wichtig, die Größe der Arbeit irgend einer Kraftmaschine, z. B. eines Wasserrades, des Schwungrades einer Dampfmaschine oder einer Gasmaschine, Luftexpansionsmaschine zu bestimmen. Man könnte allerdings wohl auf theoretischem Wege zum Ziele gelangen, wenn man Rechnungen, welche bisweilen ziemlich umständlich sind, nicht scheuen wollte; es ist aber leicht möglich, unmittelbar zum Ziele zu gelangen, wobei sich die in der Rechnung bisweilen nicht mit der nöthigen Schärfe zu berücksichtigenden Hindernisse der Bewegung gleichzeitig geltend machen.

Man könnte zu diesem Zwecke an der Triebwelle der Maschine eine Last anbringen und beobachten, bis zu welcher Höhe dieselbe in einer gewissen Zeit bei der Drehung der Welle gehoben wird. Die Kraft der Maschine ist dann in Fußpfunden, Kilogrammetern oder Pferdekraften darstellbar. Diese Art des Versuches läßt sich aber nicht überall ohne große Unbequemlichkeiten ausführen und deshalb hat man auf ein in jedem Falle anwendbares Mittel gedacht. Man untersucht nämlich, welchen Reibungswiderstand die Arbeitswelle, wenn die Maschine eine bestimmte Arbeit verrichtet, also eine gewisse Geschwindigkeit besitzt, zu überwinden im Stande ist, statt daß sie Gewichte zieht.

In Fig. 203. ist W der senkrechte Durchschnitt der Welle des Arbeitsrades; um sie schließt sich dicht an ein eisernes Rad B, welches aus zwei Hälften besteht, die sich durch die Schrauben ss' und nöthigenfalls durch Keile mit der Welle in feste Verbindung bringen lassen; um



(Fig. 203.)

die Felge dieses Rades legen sich zwei hölzerne Sättel CC oder Backen genau an, lassen sich innerhalb des Rahmens r r' durch Schrauben an demselben beliebig stark an den Umfang des Rades

drücken. Der obere Theil des Rahmens läuft in einen Stab oder Hebel H aus, an dessen Ende e sich eine Wageschale A befindet. Der Rahmen mit den Backen wird die Bremse genannt.

Um nun den Versuch zur Bestimmung der Kraft einer Maschine zu machen, nimmt man ihr die sonst zu leistende Arbeit ab, indem man die anderen Maschinenteile auslöst, dann preßt man zunächst das Rad B an die Welle W so fest, daß es bei jeder Bewegung der Welle mitgenommen werde; und nun zieht man die Schrauben des Rahmens so stark an, daß der Hebel H mit der Wageschale A ohne weitere Belastung und im Ruhezustande der Maschine eine horizontale Lage behält. Wird jetzt die Maschine in den Gang gesetzt, so dreht sich wegen der Reibung des Rades an den Backen der ganze Rahmen mit dem Hebel eben so geschwind herum, als die Aze. Soll dies nicht geschehen, so muß die Wageschale A mit Gewichten belastet werden. Da aber jede Maschine zu einer gewissen Leistung eine gewisse Geschwindigkeit haben muß, so wird man die Schrauben des Rahmens so stark anziehen und dabei durch Versuche die Gewichte so einrichten, daß der Hebel bei der gewünschten Geschwindigkeit eine horizontale Lage behält.

Damit die Reibung den Hebel nicht zu weit mit hinauf und die Gewichte beim Versuche nicht zu weit herabnehme, hat man oberhalb und unterhalb seiner horizontalen Lage zwei sogenannte Fangebalken p und p' angebracht.

Das Rad R läßt sich dann wohl entbehren, wenn die Welle W nicht zu dünn ist.

Zur Beurtheilung der von der Maschine bei ihrer angenommenen Geschwindigkeit auch anderweitig zu leistenden Arbeit ist festzuhalten, daß diese gleich dem jetzt bei dem Versuche überwundenen Reibungswiderstande ist. Es sind hier eigentlich drei Kräfte zu betrachten:

1) die Kraft, mit welcher der im höchsten Punkte des Rades gestützte und bei e mit der Schale versehene Hebel, ohne daß er anderweitig belastet ist, aus der horizontalen Lage zu sinken sucht und deren Moment das Produkt gl ist, wenn g das in e angreifende Gewicht des Hebels mit Schale und l seine Länge ist;

2) die Kraft, welche nach der Belastung der Schale mit den Ge-

wichten k auch in e angreift und dieselbe Entfernung l von dem Stützpunkte des Hebels hat und somit als Moment das Produkt $k \cdot l$ besitzt;

3) der Reibungswiderstand w an dem Umfange des Rades, welcher um den Radius c des Rades von seinem Drehungsmittelpunkte entfernt ist, so daß also das Bewegungsmoment dafür $w \cdot c$ ist.

Soll nun das Gleichgewicht stattfinden, so müssen die beiden ersten Kräfte zusammen der dritten das Gleichgewicht halten oder muß $w \cdot c = g \cdot l + k \cdot l$ oder $= (g + k) \cdot l$ sein, woraus sich für den Reibungswiderstand $w = (g + k) \cdot \frac{l}{c}$ ergibt.

Die von der Maschine unter Festhaltung der beim Versuche angenommenen Geschwindigkeit in einer gewissen Zeit geleistete Arbeit wird endlich gefunden, wenn man den so ermittelten Widerstand w mit dem Wege multipliziert, welchen ein gewisser Punkt der Welle in dieser Zeit zurückgelegt hat. Jeder Punkt des Radumfanges hat nach einer Umdrehung den Weg $2\pi \cdot c = 6,283 \cdot c$, also nach x Umdrehungen den Weg $6,283 \cdot x \cdot c$ zurückgelegt; also ist die während dieser Zeit verrichtete Arbeit

$$(g + k) \cdot \frac{l}{c} \cdot 6,283 \cdot x \cdot c = (g + k) l \cdot x \cdot 6,283.$$

Wenn der Hebel eine Länge von 3 Metern besitzt, sammt der leeren Schale mit 41 Kilogrammen herabzieht, wenn die Belastung der Schale während des Ganges der Maschine 70 Kilogramme beträgt, die Welle in jeder Minute 45, also in einer Sekunde $\frac{45}{60} = 0,75$ Umdrehungen macht, so ist die Kraft der Maschine

$(41 + 70) \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 6,283 = 1564$ Kilogrammometer,
was durch Division mit 75 gegen 21 Pferdekraften gibt.

Hätte man die Gewichte nach Pfunden und die Länge des Hebels nach Fußten angenommen, so würde das Resultat Fußpfunde sein und man müßte es mit 500 (für preussisches Maß mit 510) dividiren, um Pferdekraften zu erhalten.

Aus dem Begriffe der wälzenden Reibung ergibt sich schon, daß sie viel kleiner sein muß, als die gleitende, wenn in beiden Fällen alle übrigen Umstände dieselben sind, also die Körper gleiches Gewicht, gleiche Beschaffenheit ihrer Oberfläche, die Unterlagen gleiche Lage und auch sonst gleiche Beschaffenheit besitzen.

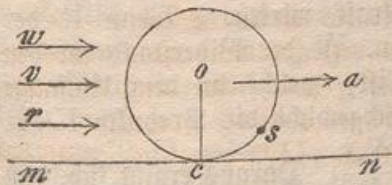


Fig. (204.)

Nehmen wir zunächst eine vollkommen harte und polirte Kugel auf einer eben solchen Ebene, welche horizontal liege; so berühren die beiden Körper, mathematisch betrachtet, einander nur in einem Punkte c (Fig. 204). Lage ein solcher Zylinder auf der Ebene,

so fände die Berührung in einer graden Linie und von jedem kreisförmigen Querschnitte desselben auch in einem Punkte statt. Fände im Berührungspunkte c keine Reibung statt, so würde eine mit m n parallel durch den Schwer- und zugleich Mittelpunkt wirkende Kraft die Kugel so fortbewegen, daß c stets der Berührungspunkt bliebe. Bei der in der Wirklichkeit stets vorhandenen Reibung aber wird der Punkt c der Kugel die Ebene verlassen und die Kugel sich wälzen, wobei wir uns den einfachsten Fall denken wollen, daß ihre Wälzungsaxe mit der Ebene parallel bleibt.

Ist die Wälzung vollkommen, so geht der Punkt c durch die Drehung der Kugel um ebensoviele zurück, als ihr Mittelpunkt vorwärts gelangt. Wirkt eine Kraft in der Richtung des Pfeiles bei w auf die Kugel, so kann c eine schnellere Drehungsbewegung nach rückwärts, als c nach vorwärts bekommen; aber die Drehung nimmt nach und nach ab und es tritt ziemlich bald die vollkommen wälzende Bewegung ein. Wirkt endlich die Kraft in der Richtung des Pfeiles bei r , so kann die Kugel so sich bewegen, daß der Punkt c in der Richtung nach s sich dreht, während der Mittelpunkt in grader Richtung nach a fortgeht. In diesem Falle wird die Drehungsbewegung vermindert und kann sogar in die entgegengesetzte übergehen, so daß der fortrückende Körper auf seinem Wege umkehrt; die fortrückende Geschwindigkeit hat aufgehört und die rückwärts wälzende Bewegung ist noch zum Theil vorhanden. Nur im ersten Falle bringt die Reibung durch Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit eine vermehrte Bewegung des Mittelpunktes hervor. Eine vollkommene Wälzung, bei welcher die drehende Bewegung des Berührungspunktes rückwärts genau so schnell, als die Fortrückung des Schwerpunktes vorwärts wäre, findet in der Wirklichkeit nicht statt, weil die Reibung stets diese Stelle, welche kein Punkt ist, zurückhält.

Wenn die von der Kugel in einem einzigen Punkte berührte Ebene gegen den Horizont geneigt ist, so fängt die Wälzung der Kugel schon wegen ihres Gewichtes an. Was von einer Kugel gilt, findet auch von einem Zylinder statt, wenn seine Axe horizontal liegt, und auch von einem kreisförmigen Reifen oder Rade mit ebenso liegender Drehungsaxe.

Bei einem Wagenrade findet an dem Umfange des Rades wälzende, an der Axe gleitende Reibung statt, die beide nach entgegengesetzten Richtungen auf die bewegende Kraft wirken. Wenn K der Halbmesser der Räder, r der von den Axen, W der Widerstand an den Axen und K die entgegenwirkende Kraft ist, welche an dem Umfange des Rades angreift; so sind für das Gleichgewicht die Produkte $K \cdot R$ und $W \cdot r$ einander gleich, also ist $K = \frac{W \cdot r}{R}$. Daraus ergibt sich, daß K um so kleiner wird, je größer R und je kleiner r ist, d. h. je größer

der Radius (oder Durchmesser) des Rades und je dünner seine Aze ist, woraus sich, abgesehen von der Verschiedenheit der Reibung, dünne eiserne Azen als vortheilhafter erkennen lassen, als die wegen der nöthigen Haltbarkeit dickeren hölzernen, und große Wagenräder besser sind, als kleine, wie z. B. an den sogenannten Kollwagen.

Nachdem $W. r$ kleiner oder größer als $K. R$ ist, dreht sich zufolge der äußerlich am Wagen angebrachten Kraft das Rad oder schleift nur auf seiner Unterlage, wie es im Winter auf glatten Schneebahnen und bei großer Belastung, also bei starker Reibung an der Radaxe oder starr gewordener Schmiere öfters vorkommt. Wenn bei einer Lokomotive die Räder nur schleiften, so würde sie nicht im Stande sein, eine Last zu ziehen; ohne angehängte Last wäre in diesem Falle die Dampfkraft gleich der Summe der Reibungswiderstände und mit einer angehängten Last kleiner.

Obwohl die Reibung der Lokomotive an den Schienen oft kleiner ist, als die eines längeren Wagenzuges, so setzt jene diesen doch in Bewegung, weil die nur durch nachgebende Kuppelung verbundenen Wagen bloß nach einander, nicht gleichzeitig in Bewegung gerathen, und das Beharrungsvermögen der vorderen, schon in Bewegung befindlichen, auch die hinteren fortführt. Dies hat aber seine Gränze in der Gleichung zwischen den Reibungen, wie sie das Bewegungsmoment der Maschine einerseits und der sämmtlichen angehängten Wagen andererseits angibt.

Zur Verminderung der Reibung bei der Fortschaffung großer Lasten wendet man als Unterlagen runde Stangen, Zylinder oder Walzen und auch Kugeln an, wenn für sie die Unterlage selbst noch hart und unnachgiebig genug ist, denn in diesem Falle hat die kleine Berührungsstelle der Kugel den ganzen auf ihr lastenden Druck zu ertragen, welchem ein weicherer Körper nicht gewachsen ist. Dicke Walzen sind als Unterlagen besser, als dünne. — Die Schiffer hängen in den Häfen an ihre Schiffe Rollen, um die Reibung mit anderen Schiffen zu vermeiden.

Schmiermittel.

Wenn die festen Körper in trockenem Zustande über einander hin gleiten, so verändern sie ihre Oberflächen je nach ihrer Beschaffenheit in verschiedenem Grade. Die körnigen Körper weniger, als die faserigen; die Metalle werden glatter und statt der verminderten Reibung tritt, namentlich bei größeren Berührungsflächen, die vermehrte Adhäsion als Widerstand ein; die Hölzer und alle faserigen Körper werden rauher und somit die Reibung größer. Unter übrigens gleichen Umständen wird durch das Poliren die Reibung herabgesetzt bei Kupfer und Eichenholz um 0,62 auf 0,17; bei Eisen auf Eiche bis zu 0,08; bei Stahl auf Eis zu 0,15. Um aber beiden Uebelständen zu begegnen und zugleich die bei starker Reibung entstehende Wärme, welche sich bei

Hölzern bis zum Entzünden, bei Metallen bis zum Glühendwerden und Erweichen steigern kann, in einem möglichst geringen Grade aufkommen zu lassen, wendet man Schmiermittel an, d. h. man bestreicht oder begießt die einander reibenden Theile mit einem Stoffe, welcher in die kleinen Vertiefungen der festen Körper eindringt und ihre Oberflächen glatter macht, ohne die Adhäsion zu befördern. Das Schmiermittel aber selbst wird um so besser sein, je weniger es klebrig und zähe ist oder die Neigung hat, theils am festen Körper sich festzusetzen, theils in sich selbst zusammenzuhängen.

Als Schmiermittel wendet man an: fein geriebenen und geschlemmten Graphit, Theer, Talg, Seife, Schweinesfett, fette Oele, Wasser und andere zusammengesetzte Stoffe, namentlich die aus Fett und fein gepulvertem Graphit bestehende Antifrictionschmiere. Für poröse Körper sind die zähen, für Metalle die leicht flüssigen Schmiermittel geeignet; bei Wasserrädern kann man einen feinen Wasserstrahl fortwährend auf die Radaxe leiten; bei Eisenbahnwagen wendet man ein fettes Del an, welches aus einem kleinen Gefäße tropfenweise auf die Radaxen gelangt. Bei Holz auf Holz, Metall auf Metall und bei Holz auf Metall oder umgekehrt, kann man durch das Schmiermittel die Reibung auf $7\frac{1}{2}$ bis 8 Hundertel des Druckes herabsetzen. Da aber die Schmiermittel durch die Reibung selbst Veränderungen erleiden und zähe werden, wodurch sie die Bewegung hemmen, so müssen die Körper von Zeit zu Zeit gereinigt werden.

Wenn die Friktion zwischen Guß und Erz noch 0,25 betrug, so wurde sie durch Del 0,17, Fett 0,11, Seife 0,026, Talg 0,025, Antifrictionschmiere 0,019.

Erfahrungen für das Maß der Reibung.

Da die verschiedenen Körper in Betreff der Beschaffenheit ihrer Oberfläche, ihrer Härte, ihres ganzen Gefüges u. s. w. außerordentlich verschieden sind, so ist es nicht möglich, ein für alle Körper geltendes Gesetz zur Bestimmung der Reibung anzugeben. Unter übrigens gleichen Umständen steht die Reibung harter Körper so ziemlich, namentlich bei großen Belastungen und kleinen Reibungsflächen, mit der drückenden Kraft, welche die Oberflächen der Körper lothrecht gegen einander preßt, in gleichem Verhältnisse, ist aber von der Größe der Oberflächen weniger abhängig, weil bei der vermehrten Anzahl der einander reibenden Punkte der Druck auf gleich große Stellen in demselben Verhältnisse vermindert wird, wenn er nur im Ganzen derselbe geblieben ist. Je härter die Körper sind, von desto geringerem Einflusse auf die Reibung ist die Größe der Berührungsfläche. Wenn auch Schmiermittel die eigentliche Reibung vermindern, so ist doch ihre Anwendung bei großer Berührungsfläche der hervorzubringenden Bewegung weniger

förderlich, da sie das Zusammenhängen der beiden Oberflächen vermehren.

In Betreff der bei der Bewegung stattfindenden Reibung ist zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen bei großen Reibungsflächen die Reibung mit vermehrter Geschwindigkeit etwas zunimmt, während sie bei sehr kleinen Reibungsflächen innerhalb ziemlich weiter Grenzen der Geschwindigkeit, nämlich von 0,003 bis 3 Meter für die Sekunde, unverändert bleibt, ja sogar eher abnimmt. Es ist also im Ganzen die Reibung von der Geschwindigkeit wenig abhängig.

Im Allgemeinen ist die Reibung zweier Körper aus demselben Stoffe größer, als die verschiedenartiger, und ist in beiden Fällen von der Zeit, während welcher die Körper in ruhiger Berührung waren, nicht unabhängig. Der Reibungskoeffizient erreicht erst nach einiger Zeit seinen größten Werth: bei Metallen fast sogleich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall sogar erst in einigen Tagen. Es ist also bei Körpern, die längere Zeit mit einander in Berührung gewesen sind, die Reibung bei beginnender Bewegung größer, als während derselben, so daß man nach einigem Stillstande einer größeren Kraft bedarf, um die Bewegung wieder anzufangen, als die war, welche vorher angewendet wurde. Die Reibung kann während der Bewegung so groß sein, daß ein weicherer Körper (Kupfer, Eisen) einen härteren und ruhenden abzuschleifen im Stande ist.

Der Reibungskoeffizient läßt sich für die verschiedenen Fälle und Körper nur durch die Erfahrung finden und wir wollen nun darüber Einiges angeben.

Wenn Eichenholz auf eben solchem nach der Richtung der Fasern geschleift wird, so war der Koeffizient 0,42. Bei einer größeren Reibungsfläche war für einen bis zu 2474 Pfunden steigenden Drucke die Reibung kaum halb so groß, wenn man die Berührung nur einen Augenblick dauern ließ, in Beziehung auf die nach einiger Zeit erst erlangte volle Stärke; bei einer kleinen Reibungsfläche und demselben Drucke war der Einfluß der Berührungszeit unmerklich. Gesah die Bewegung des als Unterlage dienenden Eichenholzes mit seinen Fasern quer gegen die Fasern des festliegenden Tisches, so war der nach einiger Berührungszeit hervorgehende höchste Werth des Reibungskoeffizienten nur 0,27, also viel kleiner, als der vorige, weil bei Kreuzung der Fasern nicht ein so starkes Ineinandergreifen der kleinen Unebenheiten stattfinden kann, als bei der parallelen Richtung.

Bei Holz und Metall ist die längere Berührungszeit von auffallendem Einflusse. Eine Last von 1650 Pfunden auf Unterlagen von Eisen über Eichenholz nach der Richtung der Fasern gezogen, verlangte nach einer Berührungszeit von $\frac{1}{2}$ Sekunde nur 125 Pfunde Kraft, nach 80 Sekunden schon 145 Pfunde, nach 16 Stunden 280 Pfunde, und nach 4 Tagen gar 340 Pfunde, so daß der Reibungskoeffizient

zwischen 0,08 und 0,2 mit zunehmender Berührungzeit wächst. — Bei Metallen dagegen ist die Berührungzeit von geringem Einflusse, die durch wiederholten Gebrauch vermehrte Politur wirkt bei kleinen Berührungsflächen günstig und kann den Koeffizienten von 0,26 auf 0,17 herabsetzen.

Bei der Anwendung von Schmiermitteln auf Holz nimmt die Reibung während einer auffallend langen Zeit zu. Wenn man eine Seifenschicht von $\frac{1}{2}$ Linie Dicke bei größeren Reibungsflächen anwendete, so erreichte die Reibung, selbst wenn die Bestreichung nach mehrmaligem Gebrauche abgeglättet war, erst nach 6 Tagen ihren größten Werth: bei 3250 Pfunde Druck betrug sie im ersten Augenblicke 120 Pfunde, nach 1 Minute 413 Pfunde, nach 1 Stunde 880 Pfunde, nach 5 Tagen 1200 bis 1550 Pfunde. Bei einer sehr kleinen Reibungsfläche erlangte die Reibung sehr bald ihre größte Stärke.

Metallflächen zeigen auch mit Anwendung von Schmiermitteln keine große Verschiedenheit bei ungleicher Dauer des Druckes, indem die Reibung etwa nur von 0,09 bis 0,10 steigt.

Ist die Bewegung eingeleitet, so ist zu ihrer Fortsetzung nur eine Kraft erforderlich, welche die Reibung überwindet. Die Reibung während der Bewegung bei Eichenholz auf Eichenholz ist ziemlich genau 0,105 und mit gekreuzten Fasern nicht viel geringer, als bei parallelen, doch beträgt sie bei geringerer Belastung einen größeren Theil des Druckes, was wohl von der Beugung der Fasern herührt. — Wenn Eisen auf Eichenholz mit geringer Geschwindigkeit sich bewegt, so beträgt die Reibung etwa 0,18 des Druckes, bei größerer Geschwindigkeit etwas mehr. Wird das Eichenholz mit Seife bestrichen und über Eichenholz fortgezogen, so beträgt der Reibungskoeffizient nur 0,037; wird aber der Druck dabei vermindert, so nimmt er zu, weil die Adhäsion dann merklicher wird (welche auf 180 Quadratzoile 5 Pfunde beträgt), während sie bei starkem Drucke gegen den dem Drucke verhältnißmäßigen Theil fast nicht in Betracht kommt.

Stählerne Axen in kupfernen Büchsen geben 0,15 bis 0,19 bei allen stärkeren Belastungen als Reibungskoeffizient, während er bei schwachen etwas größer ist. Bei Anwendung von feiner Seife geht er sogar bis auf 0,09 herab. Die gleitende Reibung der Axen in ihren Büchsen ist im Allgemeinen etwas kleiner, als die ebener Flächen über einander.

Auch über die wälzende Reibung sind hinreichend Versuche angestellt. Eine Scheibe aus Tannenholz von 22 Zoll Umfang rollte auf einer schiefen Ebene für alle Neigungswinkel bis zu 21° genau mit vollkommener Wälzung herab und erst bei 50° Neigung konnte, da hier die gleitende Reibung etwas mehr als $\frac{1}{3}$ betrug, eine Abweichung von der vollkommenen Wälzung ziemlich merklich werden. Bei lothrechter Stellung der Ebene hört natürlich die Wälzung ganz auf.

Eine Walze von Goujakholz auf Eichenholz fortgewälzt, zeigte bei 6 Zoll Durchmesser eine Reibung von 0,006 des Druckes und bei 2 Zoll Durchmesser 0,018; also ist die wälzende Reibung, wie es als gesetzmäßig angegeben worden ist, wirklich im umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers vorhanden.

Ein nur oberflächlich eben gemeißelter Steinblock von 1080 Pfunden wurde zuerst auf der Felsenfläche des Steinbruches mit 758 Pfunden Kraft fortgeschleppt; dann legte man ihn auf einen Bretterschlitten und zog ihn auf einer hölzernen Unterlage fort mit 606 Pfunden, so daß der Reibungskoeffizient 0,56 beträgt; darauf wurden beide Holzflächen mit Seife bestrichen und man bedurfte nun bloß 182 Pfunde Kraft (Reibungskoeffizient 0,17); endlich legte man den Stein auf Walzen von 3 Zoll Durchmesser, welche auf einem Bretterboden sich befanden und die Kraft zum Fortziehen des Steines betrug nur 28 Pfunde, folglich die wälzende Reibung 0,026.

Wie vortheilhaft schon das bloße Einseifen ist, zeigt sich auch, wenn man Schiffe vom Stapel läßt.

Wenn bei Eisenbahnwagen die gleitende Reibung an den Büchsen bei guter Schmiere 0,035 (im Mittel freilich höher) gerechnet wird, so ist die wälzende an den Rädern nur 0,00032 von der Last gefunden worden.

Das Zugvieh hat auf einer genau horizontalen Straße nur die Reibungswiderstände zu überwinden. Wäre ein Weg so gut geebnet, daß ein Lastwagen auf ihm, wenn er auf 36 Fuß Länge 1 Fuß Steigung hat, von selbst herabrollte und somit die Reibung von der gleitenden (respektiven) Kraft überwunden würde, so wäre zur Fortschaffung des Lastwagens auf einem solchen horizontalen Wege nur $\frac{1}{36}$ seiner Last erforderlich, so daß 100 Pfunde Kraft eine Last von 3600 Pfunden in Bewegung setzen würden. Aber beim Schleifen der Last auf einem solchen Wege oder beim Fahren auf einem Sandwege beträgt die Reibung wohl die Hälfte bis 0,8 der Last, bei Schlitten auf guter Schneebahn nur $\frac{1}{2,5}$.

Auf weichen Wegen wächst der durch das Einschneiden der Räder erzeugte Widerstand in einem größeren Verhältnisse, als die Last, und daher ist es vortheilhaft, dieselbe auf mehre Wagen zu vertheilen. Bei gleichem Gewichte einer Last sammt den Wagen ziehen 8 Pferde auf 8 Wagen ebensoviel, als 16 Pferde auf einem Wagen. Die Tiefe des Einschneidens eines bestimmten Wagens hängt im graden Verhältnisse von der Weichheit des Weges und im umgekehrten der Breite der Radsfelgen ab. Vierrädrige Wagen sind besser, als zweirädrige Karren bei derselben Belastung.

Wollte man die Reibung auf Eisenbahnen nur $\frac{1}{10}$ von der auf Kunststraßen rechnen (was ohngefähr so ist, wenn man das Verhältniß der Reibungskoeffizienten 0,003 zu 0,027 annimmt), so würde auf

horizontaler Bahn die Kraft nur $\frac{1}{360}$ von der Last sein und man könnte mit 100 Pferden Kraft eine Last von 36000 Pfunden in Bewegung setzen; man nimmt aber die Reibung im Mittel gewöhnlich auf $\frac{1}{200}$ der Last an.

Wenn der Reibungskoeffizient für eine gute Chaussee 0,037 ist, so würde ein Pferd zum Ziehen von 1000 Pfunden gegen 37 Pfunde Kraft verwenden müssen; ist aber der Reibungskoeffizient bei Eisenbahnen mit gewölbten Schienen nur 0,004, so bedarf man zu 1000 Pfunden nur 4 Pfunde, und rechnet man eine Pferdekraft zu 500 Pfunden, so würde sie im Stande sein, 125 mal 1000 oder 125000 Pfunde in Bewegung zu setzen, wenn die Reibung sich gleich bliebe mit der Vergrößerung der Last. — Gußeiserne Räder auf ebenen Gußeisenschienen haben 0,018 und Wagenräder auf sandigem Wege 0,13 als Reibungskoeffizient.

Die Eisenbahnen lassen keine bedeutenden Steigungen zu, weil die gleitende Kraft die Reibung an den Schienen bald übertrifft, wobei besonders das bedeutende Gewicht der Eisenbahnwagen zu berücksichtigen ist, denn auf derselben schiefen Ebene wird ein leichterer Wagen mit geringerer Kraft herabrollen, als ein schwererer, und zwar im graden Verhältnisse des Gewichtes. — Ist der Reibungskoeffizient sehr klein, so muß die Kraft zum Hinaufziehen einer Last auf einer schiefen Ebene sehr bedeutend wachsen, wenn auch der Neigungswinkel nur um Weniges zunimmt. Wäre der Reibungskoeffizient 0,00625 (oder $\frac{1}{160}$), so müßte für eine Steigung von 9 Fuß auf 1000 Fuß (Neigungswinkel 1°) die Kraft schon zum $2\frac{1}{2}$ fachen wachsen gegen die auf horizontaler Bahn nothwendige. Brauchte man auf horizontalem Wege nur den 380sten Theil der Last, so müßte man bei 1 Fuß Steigung auf 380 Fuß die Kraft schon verdoppeln. Wäre aber der Reibungskoeffizient 0,04 (oder $\frac{1}{25}$), so müßte die Zugkraft bei $17\frac{1}{2}$ Fuß Steigung auf 1000 Fuß nur bis zum $1\frac{1}{2}$ fachen vergrößert werden.

Die Verminderung der Reibung gewährt also nur bei ganz horizontalen Bahnen den größten Vortheil, und da man bei Pferde-Eisenbahnen dem einen Pferde so viel zu ziehen zumuthet, als es auf einer horizontalen Bahn fortbringen kann, so müßte man bei 7 Fuß Steigung auf 1000 Fuß schon 2 Pferde vorspannen.

Die folgende Tabelle enthält die Reibungskoeffizienten für einige wichtige Fälle mit einigen Abweichungen anderer Beobachter.

Eisen auf Eisen (0,138)	0,277	Kiefern auf Kiefern (Tannen) . .	0,562
" " Messing	0,263	Wege mit losem Sande	0,227
" " Kupfer	0,170	Frisch beschüttete Chausseen . . .	0,134
Gußeisen auf Bronze	0,147	Landwege	0,103
Eichenholz auf Eichen quer (0,32)	0,273	Fester Wiesenboden	0,040
" " " lang (0,48)	0,418	Gute Chausseen	0,027
Eichen auf Gußeisen	0,372	Eisenbahnen	0,003
" " Kiefern (Tannen) . .	0,667		

Um also z. B. 100 Pfunde Eisen auf Eisen zu bewegen, ist eine Kraft nothwendig, welche 27,7 Pfunde zu heben im Stande ist. — Nach diesen Untersuchungen würden bei Wagen eiserne Radaxen in bronzenen Naben Futterern das Vortheilhafteste sein. Ueberhaupt ist im Allgemeinen die Reibung zwischen gleichartigen Körpern größer, als die zwischen ungleichartigen. — Bei feinen Wagen läßt man stählerne Zapfen auf gut polirten harten Steinen, wie z. B. Achaten, sich bewegen. Ebenso bei Pendeln, welche lange und gut schwingen sollen.

Vortheile und Nachtheile der Reibung.

Die Reibung ist in einer doppelten Beziehung zu berücksichtigen: einerseits erleichtert sie uns die Erhaltung der Ruhe, andererseits erschwert sie die Bewirkung der Bewegung. Für die Ruhe ist sie ein Vortheil, für die Bewegung ein Hinderniß, und es fragt sich nur, was wir bezwecken, um in ihr einen Vortheil oder Nachtheil zu erkennen: wollen wir aus der Bewegung die Ruhe haben, so gewährt sie uns Vortheil, wollen wir aus der Ruhe die Bewegung erhalten, so ist sie nachtheilig. Bei der Verwerthung von Kräften durch Maschinen bringt sie sowohl Nachtheile, als Vortheile, jene aber in höherem Maße.

Denken wir uns einmal einen Augenblick alle Reibung zwischen den Körpern fort, so würde selbst auf einer vollkommen horizontalen Ebene der leiseste Anstoß hinreichend sein, den schwersten Körper in Bewegung zu setzen, und das Beharrungsvermögen würde ihn in der durch die angewendete Kraft ertheilten Geschwindigkeit in alle Ewigkeit erhalten. Der leiseste Luftzug würde hinreichend sein, alle Körper in Bewegung zu setzen, so daß sie in wilder Verwirrung durch einander stürzen würden. Diese Bewegung würde auch ohne äußeren Anlaß eintreten, wenn sich die Körper auf einer selbst äußerst wenig geneigten Ebene befänden. Es wäre uns selbst absolut unmöglich, auf einer schiefen Ebene auf- und abwärts zu gehen; auf recht glatter, horizontaler Ebene wird uns ja das Laufen wegen der geringen Reibung schon sehr erschwert. Ohne alle Reibung würde man auch auf der horizontalen Ebene nicht gehen, reiten oder fahren können; man könnte nichts mit den Händen oder einer Zange anfassen; die Nahrungsmittel würden uns entchlüpfen; man würde keinen Knoten machen können, die Fäden der Gewebe würden auseinander gleiten, die Nägel würden nicht fassen, die Keile nicht eindringen, die Schrauben nicht anziehen. Doch, wir wollen das trostlose Bild der Verwirrung in der irdischen Welt, welches sich ohne Reibung zeigen würde, nicht weiter ausmalen, sondern uns lieber zu den wirklichen Thatsachen wenden.

In Betreff der Schrauben ist noch zu bemerken, daß die Reibung bei ihnen gestattet, jede andere Kraft wegzunehmen, wenn es blos auf

ein Erhalten der Last ankommt. Hat man mit einer Schraube auch eine bedrückende Last hinaufgeschraubt, so dreht sich dieselbe nicht zurück, wenn man losläßt, sondern die Gänge klemmen sich aneinander so fest, daß man zum Erhalten der Last weiter gar keine Kraft nöthig hat. — Von großem Nutzen ist uns die Reibung beim Herablassen und beim Freihalten einer großen Last oder wenn man die Bewegung eines massigen Körpers, z. B. eines Schiffes, allmählig vermindern will. Hat man eine um ihre Aze drehbare Welle und schlingt man ein Seil mehre Male um sie, so kann man wegen der Reibung des Seiles an dem Umfange der Welle an dem Seile eine bedeutende Last mit einer geringen durch die Reibung unterstützten Kraft entweder in der Schwebe halten oder auch langsam herablassen, indem sich dann die Welle dreht. Ist die Welle nicht drehbar, so kann man das Seil weniger oft umschlingen und es allmählig loslassen, ohne die Umwicklung aufzugeben, wobei sich das Seil an dem Umfange der Welle schleift. Dies benutzen die Schiffer häufig, um ihre Schiffe beim Landen allmählig anzuhalten. — Die Reibung der Taue an den Rollen der Flaschenzüge gestattet es auch, große Lasten mit einer geringeren Anstrengung schwebend zu erhalten, als es ohne dieselbe der Fall sein würde.

Die Reibung ist nur nachtheilig, insofern sie den verlangten Uebergang eines Körpers aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung erschwert und die Geschwindigkeit des bewegten verzögert und allmählig schon aufhebt, wenn wir noch Bewegung zu haben wünschten.

Auch bei Maschinen bringt die Reibung mehr Vortheile als Nachtheile. Ohne sie würde es sehr schwierig, wenn nicht unmöglich sein, eine in Bewegung befindliche Maschine, z. B. eine Windmühle, zum Stillstande zu bringen. Durch Schnuren, Riemen, Ketten, welche man um Scheiben legt, trägt man die Bewegung eines Maschinentheiles auf einen anderen, oft sehr entfernten, aber bequem gelegenen über, was man Transmision nennt. Beim Herabfahren von steilen Wegen hemmen die Fuhrleute, indem sie entweder unter eines der Räder einen mittelst einer Kette am Wagen befestigten Hemmschuh schieben oder ein Rad ankettet, damit es sich nicht drehe, sondern auf dem Wege nur schleife, oder endlich an die beiden Hinterräder eine dicke Stange oder einzelne Holzstücke mittelst einer Schraube u. dergl. anklemmen, damit die Räder sich nicht so schnell drehen können. — Auf den Eisenbahnen nennt man das Hemmen mittelst kreisbogenförmig ausgehöhlter Holzstücke, welche an die Räder ziemlich stark angeschraubt werden, Bremsen. — Die durch den Dampf gedrehten Triebräder der Lokomotive sind nur dann im Stande, auf der festen Unterlage eine wälzende Bewegung anzunehmen, wenn die Reibung an den Rädern und Schienen größer ist, als an den Radaxen, erstere wächst bei zunehmendem Gewichte der Lokomotive verhältnißmäßig mehr, als letztere.

Um auf der Violine und ähnlichen Instrumenten leicht Töne er-

zeugen zu können, müssen sowohl die Saiten, als auch der Haarbogen rauh sein, was man durch Bestreichen des Bogens mit Kolophonium erreicht, wodurch dann die Saite ihre Glätte auch verliert. — Die Seil- und anderen Tänzer bestreichen sich die Schuhsohlen mit Kreide; bei Glattteis streut man Sand oder Asche, was auch auf Eisenbahnen vortheilhaft ist. — Nur durch die Reibung ist es möglich, daß man Gegenstände, welche pulverisirt worden sind oder in kleinen Körnern vorkommen, wie Mehl, Sand, Hirse, Korn, Weizen, Erbsen, Linsen, Delfrüchte u. s. w. kegelförmig aufhäufen kann, wobei sie, je nach dem Grade ihrer Reibung, mit ihrer Seitenfläche einen bestimmten Winkel gegen die Grundfläche bilden. — Ohne Reibung würde man Instrumente nicht schärfen und poliren können.

Wie weit es in letzterer Beziehung und der damit zusammenhängenden Verminderung der Reibung die praktische Mechanik gebracht hat, davon führt der Astronom Bessel in seiner Schrift über die Länge des einfachen Sekundenpendels ein auffallendes Beispiel an. Ein massiver Zylinder paßte in einen hohlen, auf der einen Seite geschlossenen, von Glockenmetall so gut, daß, wenn er jenen in diesen steckte, die darin enthaltene Luft nicht entweichen konnte, sondern sich zusammendrücken ließ, und daß er dennoch eine ihm ertheilte Umdrehung in dieser Lage einige Minuten fortsetzte. Hierbei war unstreitig ein Spielraum zwischen den beiden Zylinderflächen, welcher nicht leer sein konnte, sondern Luft enthielt, und es ist diese Thatsache ein neuer Beweis davon, daß die festen Körper an ihrer Oberfläche eine Schicht verdichteter Luft besitzen, welche mit Hartnäckigkeit an ihnen haftet, indem sie in diesem Falle durch die vom massiven Zylinder zusammengepreßte Luft nicht verdrängt werden konnte.

Die Reibung flüssiger Körper gegen feste.

Wenn Wasser in offenen Gerinnen oder in abgeschlossenen Röhren, ebenso wenn Leuchtgas in Röhren fortgeführt wird, so erleiden sie zufolge der Reibung an den Wänden der festen Körper eine Verzögerung. Dasselbe gilt natürlich von allen übrigen Flüssigkeiten, wenn sie auch weniger oft angewendet werden. Das Fließen tropfbarer Körper in offenen Gerinnen wird durch ihr Gewicht, in geschlossenen Röhren durch den hydrostatischen Druck und das luftiger nur durch den mit ihrer Spannkraft verbundenen Druck hervorgebracht. Es zeigen aber verschiedene Flüssigkeiten gegen dieselben festen Körper, so wie dieselbe Flüssigkeit gegen verschiedene feste Körper und endlich auch dieselbe Flüssigkeit je nach ihrer Temperatur gegen einen bestimmten festen Körper ein verschiedenes Verhalten.

Durch Glasröhren fließt Wasser leichter, als Quecksilber, und letzteres hört bei geringem Drucke und engen Röhren sogar auf zu fließen,

während ersteres noch hindurchgeht. Wasser hat zu Glas mehr Anziehung (Adhäsion), als Quecksilber, und deshalb wird ersteres gleichsam durchgesaugt. — In gleicher Weise zeigt dieselbe Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, ein verschiedenes Verhalten, jenachdem sie Kapillarattraktion oder Depression gegen sie zeigt. — Durch eine Röhre von bestimmter Weite und Länge fließt in einer gewissen Zeit mehr warmes Wasser durch, als kaltes, und bei Röhren von geringer Weite kann der Unterschied so bedeutend werden, daß 3 bis 4 mal mehr Wasser von 100° C. oder 80° R. als von 0° Temperatur durchfließt. Dies scheint ein Widerspruch zu sein gegen die früher angeführte Thatsache, daß Vermehrung der Temperatur die Haarröhrenanziehung vermindert, nicht aber gegen die obige Erscheinung, daß bei der geringeren Anziehung des Quecksilbers auch die Ausflußmenge vermindert wird. Wir werden zur Lösung dieses Widerspruches wohl annehmen dürfen, daß die Wärme, weil sie die Körper ausdehnt, auch leichter flüßig macht, und die Reibung im Inneren, welche das Fließen hindert, mehr aufhebt. Bei Alkohol tritt mit Verminderung der Temperatur bis 110° Kälte ein Zustand von Zähigkeit ein, so daß er nur wie Del flüßig ist.

Fließt Wasser in einem offenen Bette mit Gefälle, so sollte sich seine Geschwindigkeit eigentlich beschleunigen, weil die Schwere fortwährend bewegend auf dasselbe einwirkt; aber die Geschwindigkeit ist nicht nur kleiner, als es das Gefälle verlangt, sondern sie kann selbst eine ziemlich gleichmäßige werden, weil es sich an dem Boden und den Seitenwänden des Bettes reibt und die Kohäsion der Wassertheilchen im Innern des Gewässers, so wie selbst die Reibung an der Luft hindernd einwirkt. Daher ist auch in einem Flußbette die Geschwindigkeit des Wassers am größten gegen die Mitte unterhalb seines Spiegels und es steht in der Mitte wegen des geringern Widerstandes etwas höher, als an den Ufern. Bei einem graden Kanale ist die mittlere Geschwindigkeit des Querschnittes 0,8 von der größten Geschwindigkeit. Es ist also auch natürlich, daß bei einer bestimmten Wassermenge und einem bestimmten Gefälle die Geschwindigkeit mit der Breite des Bettes oder des Gerinnes abnehmen muß. Will man sich des Wassers als einer bewegenden Kraft bedienen, so muß man darauf bedacht sein, ihm eine möglichst große Geschwindigkeit zu geben, unmittelbar ehe es zur Wirksamkeit gelangt. Je kleiner der Umfang des benetzten Querschnittes im Vergleiche zu seinem Flächeninhalte ist, desto vortheilhafter ist das Gerinne: ein Halbkreis ist vortheilhafter, als ein halbes Quadrat, dieses besser, als ein halbes regelmäßiges Sechseck u. dergl.

Die Reibung des Wassers am Flußbette ist auch der Grund von der Erweiterung desselben; je schneller das Wasser fließt, desto mehr spült es von diesem ab, und setzt den Sand und Schlamm an den langsamer fließenden Stellen ab. Machen also Flüsse Biegungen, so ist das Ufer von der äußeren (oder konvexen) Seite derselben steiler, als

an der inneren. Es ist natürlich, daß Verengungen der Flußbette die Geschwindigkeit des Wassers vergrößern und auf diese Weise bewirken, daß das Bett mehr ausgetieft wird. Wenn daher ein Fluß für die Schifffahrt nicht mehr das nöthige Fahrwasser darbieten will, so baut man vom Ufer aus Wuhnen, d. h. Dämme aus Strauchwerk, Erdboden und Steinen ins Bett. Die Wuhnen dienen zugleich dem Ufer zum Schutze gegen das weitere Ausspülen desselben, weil sich das Wasser an ihnen stößt und nur sehr abgeschwächt ans Ufer selbst gelangen kann. Wuhnen, die gegen die Verbreiterung des Flusses gerichtet sind, hindern natürlich auch die Verflachung. Bisweilen wird es nothwendig, die Flüsse vollständig einzudämmen, um die nöthige Tiefe, unter Umständen auch Geschwindigkeit (bei Mühlen z. B.) zu erhalten und Ueberschwemmungen zu erschweren oder zu verhindern.

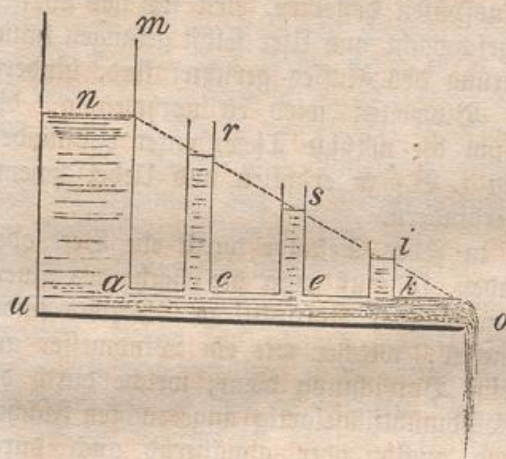
Will man die Menge des in jeder Sekunde durch ein Bett oder Gerinne abfließenden Wassers finden, so muß man die Fläche des Querschnittes mit der mittleren Geschwindigkeit multiplizieren. Letztere findet man durch einen sogen. Strommesser, welcher wie ein Windmesser angefertigt sein kann, wozu auch eine Vorrichtung dient, welche durch die Schnelligkeit der Drehung von windmühlflügelartig angebrachten Flächen die Geschwindigkeit der Strömung angibt oder annähernd auch durch die Bestimmung der Geschwindigkeit von Gegenständen, welche man auf der Wasseroberfläche schwimmen läßt.

Ist Wasser in Röhren einem Drucke ausgesetzt, indem es mit einem höher gelegenen Wasserbehälter verbunden ist, so ist dieser Druck im Ruhezustande auf gleich große Stellen, welche in derselben horizontalen Richtung liegen, gleich groß; wenn aber das Wasser durch solche Röhren fließt, so wird der Druck auf die Röhrenwand um so kleiner, je näher man der Ausflußstelle kommt, oder je weiter das Wasser in der Röhre bereits geflossen ist, und in demselben Verhältnisse wird auch die Geschwindigkeit des fließenden Wassers kleiner, bis sie endlich bei einer gewissen Länge der Röhre Null wird, so daß das Wasser nicht mehr in einem bogenförmigen Strahle herausströmt, sondern an der Röhrenmündung lothrecht herabfällt. Die Länge der Röhre aber, bei welcher dieses stattfindet, ist noch von der Weite derselben abhängig; denn das Wasser wird sich an den Wänden einer engen Röhre mehr reiben, als an denen einer weiten, indem die Wassermenge in der engen Röhre im Verhältnisse zur Reibungsfläche kleiner ist, als in der weiten, und somit der Widerstand in jenem Falle größer, als in diesem. Endlich aber wird eine glatte Porzellanröhre einen kleineren Reibungswiderstand darbieten, als eine unglasirte Thonröhre oder als eine raue Eisengußröhre.

Wenn für den letzteren Fall, wie er bei Wasserleitungen in Städten meistens vorkommt, die Länge der Röhre l , ihr Durchmesser d und die drückende Kraft k heißt, so gibt Prony für die in Metern

ausgedrückte Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers den Ausdruck
 $g = 26,79 \sqrt{\frac{dk}{l}}$ an.

In welcher Weise der Druck des Wassers auf die Röhrenwände durch die Ueberwindung des Reibungswiderstandes und der Adhäsion geschwächt wird, kann man leicht erkennen, wenn man vom Boden eines



(Fig. 205.)

ausgangspunkte a der Röhre a o die grade Verbindungslinie nach der Mündung o zieht: das Wasser steigt nur bis zu dieser Linie.

Fließt aber das Wasser bei o noch mit einer gewissen Geschwindigkeit aus, so kann es in den Röhren nicht so hoch steigen. Je größer die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre ist, desto geringer ist sein Druck auf die Röhrenwände, und wir sehen auch hier die früher schon bei der Bewegung der festen Körper aufgestellte Behauptung bestätigt, daß die Kraft eines bewegten Körpers sich um so mehr in der Richtung seiner Bewegung geltend macht und die Schwere (hier den Druck) überwindet, je größer die Geschwindigkeit ist. Ist die Ausflußgeschwindigkeit bei o z. B. noch $\frac{1}{4}$ von der theoretischen, d. h. von der, wie sie ohne Reibung stattfinden würde, so muß die Röhre dicht am Boden des Gefäßes als Seitendruck noch $\frac{3}{4}$ aushalten und in der dort befindlichen Aufsatzröhre c r muß dann das Wasser noch bis auf $\frac{3}{4}$ der Druckhöhe steigen. Wenn die Röhre es im Halbierungspunkte der a o aufgesetzt ist, so ist von e bis o nur noch die Hälfte der Reibung zu überwinden und das Wasser kann in es nur halb so hoch, als in c r steigen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, wie in den zum häuslichen Gebrauche vorhandenen Wasserleitungen die Kraft und Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers verschieden ist, je nach dem anderwärts in Anspruch genommenen Gebrauche der Leitung.

Um bei Sprin. strahlen die Höhe möglichst zu vergrößern, muß

man den Leitungen so wenig als möglich Biegungen geben, weil das Wasser durch den an ihnen erlittenen Stoß seine Geschwindigkeit vermindert, namentlich, wenn die Wendungen unter kleinen Winkeln geschehen; sind sie nicht zu vermeiden, so muß man sie so flach als möglich machen, wenn auch der Weg dadurch etwas länger ist. Ferner ist es zur Verminderung der Reibung gut, an dem Ende der Leitung, wo die eigentliche Springröhre aufgesetzt wird, nur eine dünne Platte aufzulegen.

Wenn Wasserleitungen nicht grade fortgehen, sondern abwechselnd steigen und fallen, so bringt man an den höchsten Stellen sogenannte Windstöcke an und an den tiefsten Wechselhäuschen, um durch jene die etwa sich ansammelnde Luft, durch diese den Schmutz abzulassen.

Wie das Wasser, erleidet auch die Luft bei ihrer Bewegung in Röhren, wie z. B. in Leuchtgasleitungen, und überhaupt an anderen Körpern einen Reibungswiderstand. Um ihn zu überwinden, wird ein Theil der Spannung des zusammengedrückten Gases verwendet und dieser Theil geht dann für die Geschwindigkeit verloren. Der Reibungswiderstand nimmt um so mehr ab, je mehr man sich dem Ende der Röhre nähert, je geringer die Geschwindigkeit und je größer der Durchmesser der Röhre ist, so daß er mit der ganzen Länge der Röhre und dem Quadrate der Geschwindigkeit in gradem und mit dem Durchmesser der Röhre im umgekehrten Verhältnisse steht.

Die Ausflußgeschwindigkeit ist um so kleiner, je dichter das Gas ist. Wenn die Geschwindigkeit für atmosphärische Luft gleich 1 gesetzt wird, so ist sie nach genauen Versuchen bei einem gleichen Drucke für Sauerstoff 0,950, Kohlenäure 0,812, Kohlenwasserstoffgas 0,1332, Wasserstoffgas 3,613. Durch enge Oeffnungen geht Wasserstoff am leichtesten, Sauerstoff am schwersten. Ueberhaupt aber verhalten sich die Ausflußgeschwindigkeiten unter übrigens gleichen Umständen wie umgekehrt die Quadratwurzeln der spezifischen Gewichte: verhalten sich die letzteren z. B. wie 9:4, so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie 2:3. Wenn die Luft in einen luftleeren Raum strömt, so ist ihre Geschwindigkeit unabhängig von dem Drucke, welchen sie erleidet, weil dieser mit der Dichtigkeit in gradem Verhältnisse steht, und sie beträgt 1217,4 Fuß. Strömt aber Luft in einen Raum mit Luft von geringerer Spannung, so ist die Ausflußgeschwindigkeit von dem Unterschiede beider Spannungen abhängig. Der Unterschied der Spannungen wird gewöhnlich (z. B. bei den Gasometern) durch die Höhe einer Wassersäule angegeben. Um der Luft eine Geschwindigkeit von 50 Metern oder 158 Fuß, also eine größere, als sie die heftigsten Orkane besitzen, zu geben, ist eine Druckdifferenz von 18 Centimetern oder 82,6 Linien erforderlich.

Die Ausflußmenge nimmt unter übrigens gleichen Umständen, d. h.

bei einer gewissen Röhrenweite und einem gewissen Drucke auf die Luft in der Art mit der Länge der Röhren zu, daß die Menge des Gases bei 4, 9, 16, 25 . . . mal längeren Röhren 2, 3, 4, 5 . . . mal geringer ist. (Die Mengen des ausfließenden Gases verhalten sich wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den Röhrenlängen.) —

Sollen Schornsteine oder sogen. russische Röhren bei übrigens richtiger Anlage und Weite, wozu bei Schornsteinen, wie wir in der Lehre von der Wärme noch näher entwickeln werden, eine angemessene Verengung nach oben gehört, einen recht guten Zug haben, so ist es nothwendig, daß ihre Innenflächen möglich glatt seien, was immer noch zu wenig beachtet zu werden scheint, aber aus der oben angegebenen, ziemlich schnellen Abnahme der Ausflußmenge, also auch der Geschwindigkeit, einer Berücksichtigung werth sein dürfte.

Ein unter einem gewissen Drucke aus einer Oeffnung fließender Luftstrahl behält nicht die Weite der Oeffnung bei, sondern verengt sich oder zieht sich wegen des Stoßes an den Wänden der Mündung ganz in ähnlicher Weise zusammen, wie es bei tropfbaren Flüssigkeiten der Fall war. Daher ist die wirkliche Ausflußmenge aus einem Luftbehälter stets kleiner, als das Produkt aus der Weite der Oeffnung und der Geschwindigkeit: sie beträgt bei atmosphärischer Luft nur 0,52 davon, steigert sich bei einer kurzen, kegelförmigen Ansaugröhre bis auf 0,6 und ist am größten, wenn bei einer sich erweiternden der äußere Durchmesser das Doppelte des inneren und die Länge 5 bis 10 mal so groß ist, als der letztere.

Die Stärke der Zusammenziehung des Luftstrahles richtet sich nach dem Unterschiede des Druckes, welcher zwischen dem abgesperrten ausströmenden Gase und dem äußeren stattfindet: ist jener um 0,003 oder 0,010 oder 0,50 oder um 1 größer, so ist der Durchmesser des engsten Theiles des Strahles von dem der Mündung des Gefäßes nach der Reihe 0,71, 0,65, 0,58, 0,55.

Eine recht auffallende Erscheinung ist es, daß der durch einen engen Spalt oder ein Röhrchen dringende Luftstrahl einen vorgehaltenen breiteren Gegenstand nicht wegbläst, sondern daß dieser Gegenstand in einzelnen, schnell auf einander folgenden Schlägen sogar an die Mündung angeedrückt wird. Man erkennt dieses schon, wenn man die eine Hand horizontal mit der inneren Seite nach unten hält, durch einen Spalt zwischen zwei Fingern mit dem Munde heftig bläst und ein Stückchen Papier unter den Spalt hält. Das Papier wird während des Blasens nicht herabfallen, sondern frei getragen. Man kann auch durch den Spalt ein Röhrchen bis zur Gränze der Handfläche stecken und ein Kartenblatt unterhalten. Kommt ein hinreichend starker Strahl aus einem Rohre durch eine Fläche, so kann sogar eine Metallscheibe

schon in einiger Entfernung angedrückt werden und bewegt sich dann abwechselnd mit einem brausenden Tone hin und her.

Der Grund zu dieser sonderbaren Erscheinung liegt theils darin, daß sich wegen der Zusammenziehung des Luftstrahles an seiner engsten Stelle, wo er die größte Geschwindigkeit hat, die Neigung zur Bildung eines luftleeren Raumes zeigt, in welchen die Scheibe durch den Druck der äußeren Luft gepreßt wird, theils darin, daß die auf die Scheibe schnell geblasene Luft ebenso schnell auf der Innenfläche derselben seitwärts zu entweichen sucht, weshalb ihr Druck auf diese Innenfläche geringer wird, als der von der Atmosphäre auf die Außenfläche ausgeübte.

Man kann es an dem ausströmenden Luftstrahle selbst sehr leicht erkennen, wie sein Seitendruck nach außen mit zunehmender Geschwindigkeit, also gegen die engste Stelle hin, abnimmt, wenn man die Luft aus der



(Fig. 206.)

engeren Röhre *a c* (Fig. 206) in eine weitere *c e* gelangen läßt. Geht nämlich von *o* aus in der Nähe der engsten Stelle *x* des zusammengezogenen Strahles nach unten eine zweischenkliche offene Glasröhre *o u n*, worin sich etwas Wasser befindet, so steht dasselbe in beiden Schenkeln gleich hoch, wenn durch das Rohr die Luft nicht geblasen wird. Geht aber ein Luftstrahl hindurch, so steigt das Wasser sofort in dem mit dem Rohre verbundenen Schenkel, zum Zeichen, daß jetzt der Druck auf die Mündung *o* im Rohre geringer ist, als auf den äußeren offenen Schenkel *u*, auf welchen die freie Atmosphäre drückt.

Zum Theil hierher gehörig ist auch die Erscheinung, daß bei und vor Stürmen das Barometer oft bedeutend fällt, denn die über die Erdoberfläche hinweg stürmende Luft legt ihre ganze Kraft in die Richtung ihrer Bewegung und somit wird ihr Druck nach unten auf alle Körper, also auch auf das Quecksilber im offenen Schenkel des Barometers, geringer. Wenn das Barometer schon vor dem Sturme fällt, so ist derselbe entweder bereits in höheren Schichten der Atmosphäre vorhanden oder es findet an dem Beobachtungsorte eine bedeutende Auflockerung der Luft statt. Auch Wirbelstürme müssen außerhalb des Wirbels das Barometer fallen machen.

R e a k t i o n .

Wenn Gase unter einem gewissen Drucke einseitig aus geschlossenen und leicht beweglichen Röhren strömen, so zeigt sich, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten, die Erscheinung der Reaktion oder Rückwirkung, indem sich dergleichen Röhren nach der Richtung bewegen, namentlich drehen, in welcher der Druck geblieben ist. Wenn also z. B. das Gas, welches

auch angezündetes Leuchtgas fein kann, aus der Mündung einer nach rechts gekrümmten und drehbaren Röhre unter einem Drucke strömt, so wird die Röhre nach links gedreht, weil nach der rechts liegenden Oeffnung der innere Druck auf die fehlende Röhrenwand verschwunden, nach der links liegenden Wand aber geblieben ist. Diese Rückwirkung ist es auch, welche bei Feuerwerken durch die bei der Entzündung des Pulvers in Röhren an drehbaren Rädern einseitig ausströmenden, oft buntfarbigen Pulvergase die interessantesten Erscheinungen zeigen, besonders wenn bunte Räder hintereinander gleichzeitig und entgegengesetzt sich drehen.

Auch das Steigen der Leuchtkugelgranaten und Raketen, manchmal bis zu einer Höhe von 4000 Fuß, ist eine Folge jener Rückwirkung. Die Mündung der Rakete muß durch Verlegung des Schwerpunktes unter sie mittelst eines langen Stabes stets unten erhalten werden, damit bei der Ausströmung des Gases von unten der Druck nach oben bleibt. Der Stoß des ausströmenden Gases auf die unterhalb in Ruhe befindliche und dem Beharrungsgesetze unterworfenen Luft unterstützt die Bewegung nach oben.

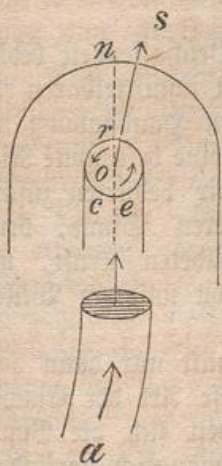
Hierher gehören auch die in manchen Kriegen so berühmt gewordenen Kongrevischen Raketen, welche aus blechernen, mit Pulver vollgeschlagenen Röhren bestehen, an deren vorderen Ende aber eine mit einem Brandsatz gefüllte eiserne Kugel mit einer Spitze und mehreren Löchern sich befindet. Die Rakete wird in eine Rinne horizontal auf ein Gestell gelegt, hinten angezündet, fährt mit gewaltigem Rauschen weite Strecken vorwärts, ehe sich die Füllung der Kugel entzündet, welche dann nach allen Richtungen hin Feuer sprüht, welches sich überall anhängt und nicht zu löschen ist, bis endlich die Kugel selbst wie eine Granate zerplatzt.

Die Bahn von Geschossen.

Wir haben schon früher (S. 345) erwähnt, daß abgeschossene Kugeln wegen der Axendrehung der Erde in der nördlichen Halbkugel immer rechts vom Ziele einschlagen müssen. Eine andere Abweichung der Richtung einer abgeschossenen Kugel von der Axe des Rohres wird aber nicht blos durch die Erdanziehung gegen sie hervorgebracht, sondern beruht noch auf dem Widerstande der Luft gegen die Kugel, wenn sie sich um eine Axe dreht, welche nicht in der Richtung der Axe des Rohres liegt. Solche Drehungen werden erzeugt, wenn der Schwerpunkt der Kugel nicht ihr Mittelpunkt ist, wenn die Kugel zu lose im Laufe vorwärts geht und sich an einzelnen Stellen der Innenwand stößt, wenn der Lauf nicht vollkommen grade ist und wenn das entzündete Pulver auf verschiedene Stellen der Hinterfläche der Kugel verschieden stark stößt. Um solche Drehungen der Kugel zu vermeiden, müssen die Kugeln sehr gut in den Lauf eingepaßt sein, so daß sie nur mit einiger Gewalt können eingetrieben werden, wobei man sie auf ein mit Talg bestrichenes Lappchen (Pflaster)

legt; ferner muß man sogenannte gezogene Läufe anwenden, d. h. Läufe, in deren Innerem drei, fünf oder selbst mehr Furchen spiralförmig eingeschnitten sind, welche im Ganzen $\frac{3}{4}$ bis höchstens $1\frac{1}{4}$ Windungen um die Ase machen und wegen der zunehmenden Geschwindigkeit der Kugel gegen das Ende weniger gekrümmt sind, als anfangs. Nur Bleikugeln oder Eisenkugeln mit einem Bleimantel sind für gezogene Läufe geeignet, weil nur ein so weiches Metall im Stande ist, bei der Bewegung im Laufe in die Rinnen gepreßt zu werden, und so der Kugel eine Drehungsbewegung um die durch ihren Schwerpunkt gehende und in der Bewegungsrichtung liegende Ase zu geben. Dreht sich die Kugel in dieser Weise, so bohrt sie sich gewissermaßen nach allen Richtungen hin gleichmäßig in die Luft ein und folgt übrigens nur noch der Schwere, welche aber auch dann nicht im Stande sein würde, die Kugel herabzuziehen, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 deutschen Meile in der Sekunde abgeschossen würde und die Luft ihr keinen Widerstand leistete, denn sie würde in 1 Stunde und 30 Minuten die Erde umkreisen.

Erfolgt aber bei einer abgeschossenen Kugel eine Drehung um eine anders liegende Ase, so weicht die Kugel stets in einer der Drehung entgegengesetzten Richtung ab. Hat die Kugel



(Fig. 207.)

sie selbst durch den Widerstand der Luft nach rechts geworfen werden. Es ist klar, daß die Kugel je nach ihrer Drehungsrichtung nach allen Seiten hin abweichen kann.

Wenn Körper aneinander gerieben werden oder sich reiben, so entstehen noch eigenthümliche Molekularbewegungen in ihnen, welche wir mit dem Namen Wärme, Elektrizität und Licht bezeichnen, denen aber wegen ihrer Eigenthümlichkeit und außerordentlichen Wichtigkeit besondere Abschnitte später gewidmet werden müssen.