



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

Erster Abschnitt. Vom Stoße.

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

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 oberflächlichen 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.

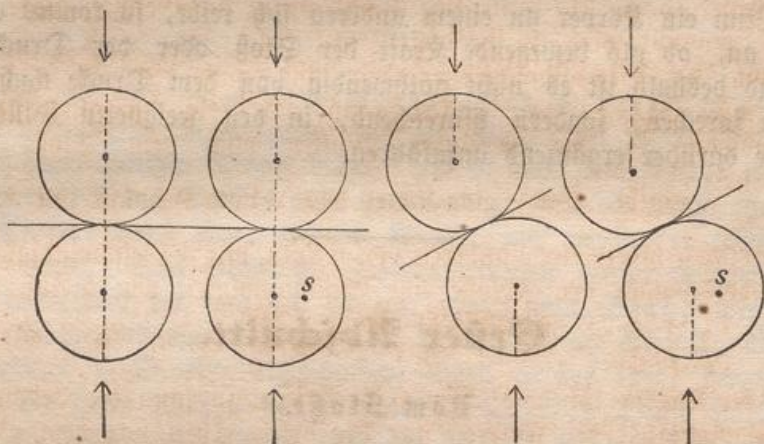
Vom Stöße.

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 ungemene 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 Pochwerken (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 besondern 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.

Verfolgen 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:

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

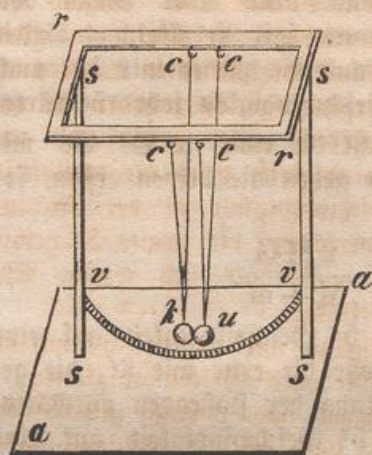
d. h. die stoßende Kugel bleibt stehen und die gestoßene geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden vorwärts.

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. — Ähnlich 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

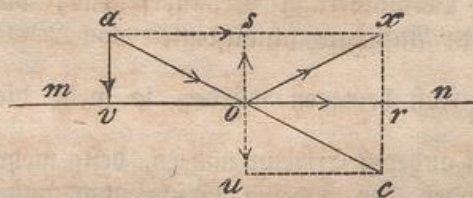
Körperchen sich dem einen oder dem anderen Extreme nähern, desto mehr wird auch der Erfolg der einen oder der anderen Erscheinung nahe kommen. Wegen der unvollständigen Berührung der einzelnen Schichten ist es der dem Pulver zunächst befindlichen während der freilich kurzen Zeit der Umwandlung des Pulvers 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, hingehzt.

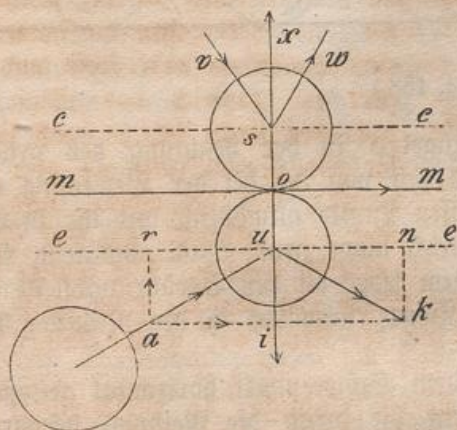
Sind in diesem Falle die Körper elastische, so verschwindet im Punkte o die lothrechte Kraft av nicht, sondern sie wird in die ihr gleiche os verwandelt, so daß der Körper im Augenblicke des Stoßes in o durch die beiden Kräfte or und os angeregt wird und daher den aus ihnen resultirenden Zwischenweg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



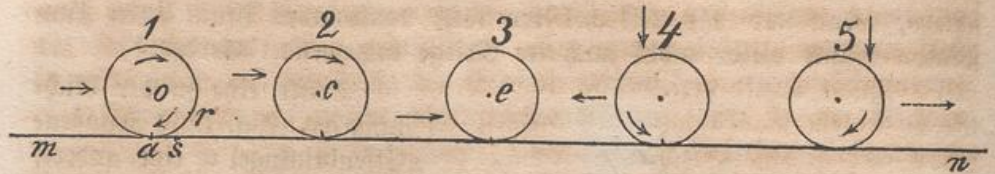
(Fig. 187.)

die Kraft des schiefen Stoßes, für welchen au das Maß sein mag, von dem Treffungspunkte 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 Treffungspunkt 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 Axe 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 Axe, welche mit der wälzenden Drehung sich zu einer um eine schräge Axe 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 Axe, 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.

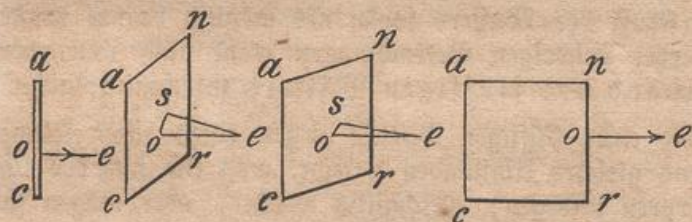
Stößt eine Flüssigkeit auf einen festen Körper, so wird sie nur dann die ganze ihr eigenthümliche Kraft ausgeübt haben, wenn sie bei dem Stöße ihre ganze Geschwindigkeit verliert, also nach dem Stöße vollkommen zur Ruhe gelangt ist. Bewegt sich ein fester Körper in einem flüssigen, welcher in einer bestimmten 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 Quadratsuße, 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

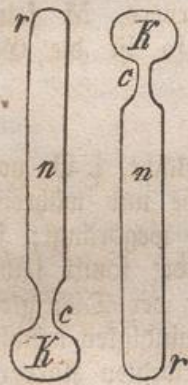
Körper gezogen wird (im Verhältnisse des Sinus des Neigungswinkels der Bewegungsrichtung gegen die Fläche),

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 Schlämmkreide, 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 zerkleinerte 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 zerkleinert 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 auf-treffe 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 zugeschärftete 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 Glücke 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 Ase 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 raffende 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.

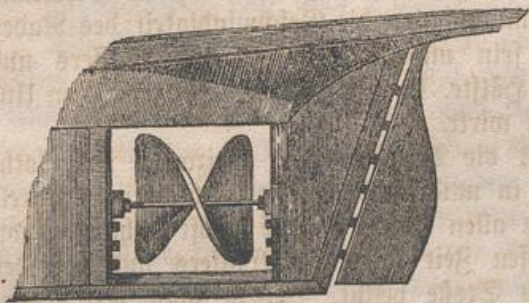
Es war also ein höchst glücklicher Gedanke, statt der Schaufelräder eine sogenannte Schraube, deren Axe aus dem Hintertheile des Schiffes unter dem Wasser hervorkommt, anzubringen. Man wird die mehr oder weniger nach dem Hintertheile zu bringende Belastung stets so vertheilen können, daß die Schraube 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 Aze so gedreht, wie es der Pfeil a auf ihrer oberen Seite andeutet, so wird die Schaufel nach unten bewegt. Läge die Aze 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 Aze 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 Aze angebracht ist, sondern mehrere. Ferner wäre es unangemessen, die Schaufeln eben zu machen, weil bei ihrer Drehung die von der Aze 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 blos 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.

11511 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 $\frac{3}{4} \cdot 66 \cdot 10 = 495$.

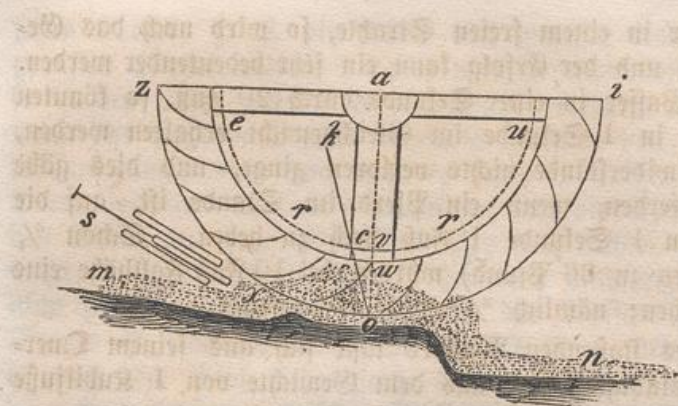
11512 Das Gewicht des stoßenden Wassers läßt sich aus seinem Querschnitte, seiner Geschwindigkeit und aus dem Gewichte von 1 Kubikfuße leicht berechnen.

11513 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 Stöße 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.

11514 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.)

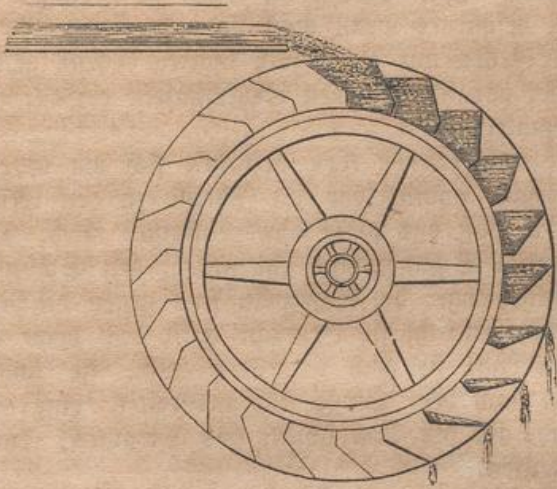
Zeichnet man um a einen Kreis evu in einer Entfernung von $\frac{1}{4}$, oder $\frac{1}{8}$ der Höhe des Radkranzes (so daß $vw = \frac{1}{4}$, wo ist), ferner die Linie ok unter einem Winkel von 10 Graden zur ao (Winkel $koa = 10^\circ$), welche in c die gezogene Kreislinie schneidet; so ist co der 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.

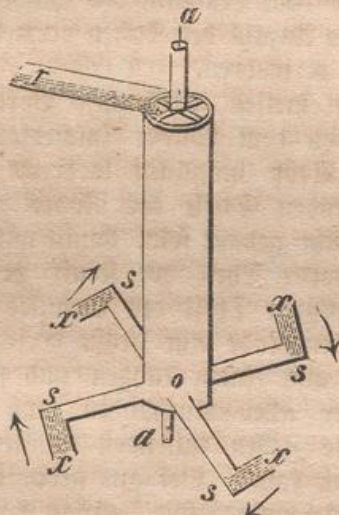
Die mittelschlächtigen Räder drehen sich in einer entgegengesetzten Richtung gegen das ankommende Wasser, indem dasselbe in die Zellen vor der Radaxe höchstens in einer Höhe von $\frac{2}{3}$ des Raddurchmessers fällt; es kann aber auch in der Höhe der Radaxe oder tiefer eingeleitet werden. Man wendet 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 Axe befinden sich am unteren Ende der Axe, 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 Axe 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.)

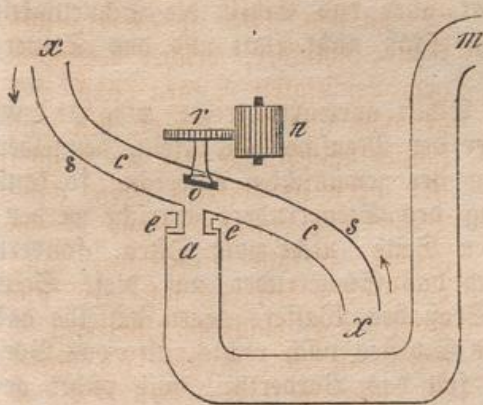
In Fig. 195 ist cc ein lothrechtlicher Zylinder, welcher der nöthigen Leichtigkeit wegen aus Holz gemacht und um die an den Endflächen angebrachte Axe aa drehbar ist; oben ist derselbe offen, damit Wasser aus einem Gerinne r ohne großes Gefälle einströmen kann; am Boden befinden sich vier (auch wohl sechs) einander diametral gegenüberstehende Röhren os, welche alle eine nach derselben Seite gerichtete Seitenöffnung x besitzen. Das obere Ende der Axe 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 Röhren 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 ebenso große 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 am geführt wird. Je höher das Niveau m in 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 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 Boocke, 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 Richtungslinie 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 eingeschlossenen 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.

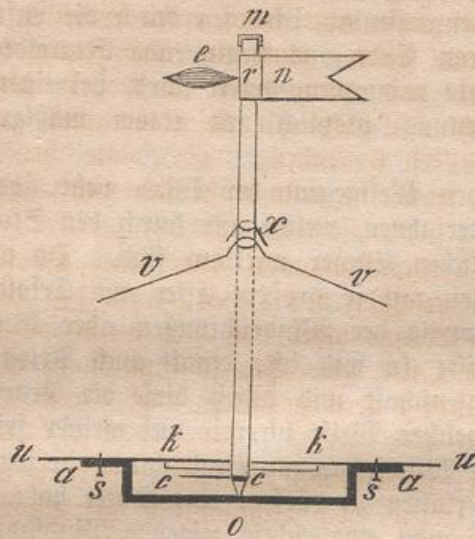
Bei der meistens nur als Spielzeug angewendeten Knallbüchse wird ein in ein Zylinderrohr gut einpassender Pfropfen durch die Luft, welche durch das von dem anderen Ende aus beginnende Eintreiben eines luftdicht einpassenden Stempels zusammengedrückt wird, bei einem hinreichenden Grade ihrer Verdichtung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

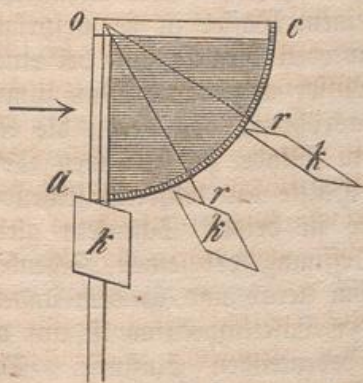
ihre Nord-südlinie auch genau im astronomischen Meridiane liegt. Zu diesem Zwecke wird man sich nach dem Polarsterne richten können. Man lothet so, daß der Polarstern, der Mittelpunkt der Windrose und das Loth in derselben Ebene liegen und läßt dann einen Gehilfen die Windrose so richten, daß man beim 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 Declinationsnadel 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 Sperrhaken, 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 $\frac{1}{3}$ 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 schief 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