

(Fallröhre, Fig. 12) das kleinste Papierschnitzelchen kaum merklich langsamer fällt als z. B. eine Bleikugel. Dies führt zu dem Satze:

Im luftleeren Raume fallen alle Körper (an demselben Orte) gleichschnell (vergl. §§ 56 und 88).

Ähnliche Erscheinungen wie diejenigen, welche die Körper beim Fallen in der Luft zu erkennen geben, zeigen sich auch beim Fallen der Körper im Wasser.

Versuch b. Läßt man etwa ein Stück Blei und ein ungefähr ebenso großes Stück Kreide von gleicher Form in einem hohen, mit Wasser gefüllten Glasgefäße zugleich nebeneinander fallen, so bleibt die Kreide hinter dem Blei zurück. — Was würde hiernach in ebenso tiefem fließenden Wasser erfolgen?

Hierauf beruht die Fortbewegung von Gesteinsmassen durch die Flüsse, wobei die leichten, sandigen Teile am weitesten gelangen; die sogen. Goldwäsche und das Schlämmen der in Pochwerken zerkleinerten Erze, das den Zweck hat, die metallhaltigen Teile von den übrigen Mineralteilen zu trennen; ferner das Schlämmen des Ackerbodens, wodurch sich der Gehalt des Bodens an Kies, Sand, Thon u. dgl. ermitteln läßt.

Übungsstoff. 1. Welcher Einwand könnte gegen die Erklärung des obigen Versuches erhoben werden, wenn das Papier vorher angefeuchtet würde? — 2. Was würde eintreten, wenn das Papier an einer Seite über den Rand der Münze hervorragte, u. w.? — 3. Angenommen, man legte das Papier unter die Münze und ließe dann beide K. fallen; würde dann der Versuch das Angeführte beweisen? Grund! — 4. Warum fliegen Spitzkugeln bei gleicher Pulverwirkung weiter als runde Geschosse? — 5. Werden ein Stück Blei und ein ebenso großes Stück Holz und Kork in der Luft gleichschnell fallen? Grund! — 6. Durchströmt ein Fluß, welcher reich an Gesteinsteilchen ist, einen großen und tiefen See, so fließt er aus demselben fast vollständig geklärt ab; w.?

Fig. 12.



II. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

(M e c h a n i k.)

A. Von den festen Körpern.

Einfache Maschinen.*)

§ 7. Der Hebel. Wenn Körper von bedeutendem Gewichte, z. B. schwere Steine, Baumstämme u. dgl., ein wenig gehoben oder fort-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 68.

gewälzt werden sollen, so pflegt man sich die Arbeit dadurch zu erleichtern, daß man Hebebäume oder Brechstangen von Holz oder Eisen zu Hülfe nimmt. Man verfährt dabei in zweifacher Weise: Entweder unterstützt man einen nahe am Ende des Stabes gelegenen Punkt (O, Fig. 13) und drückt den Stab an seinem anderen Ende nieder, sodafs er sich um den Punkt wie eine Wippe

Fig. 13.

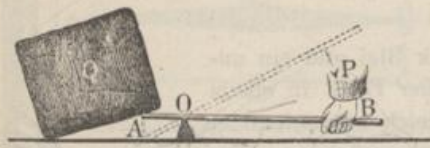
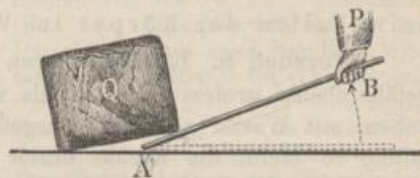


Fig. 14.



bewegt, oder man stemmt das eine Ende desselben (A, Fig. 14) gegen den Boden und hebt das andere Ende (B) in die Höhe. In beiden Fällen wird der Körper (Q) gehoben.

Ein unbiegsamer Stab, welcher so unterstützt ist, daß er um den Unterstützungspunkt gedreht werden kann, wird Hebel genannt. Hebebäume und Brechstangen sind demnach Hebel.

Den Körper, der mittelst eines Hebels gehoben werden soll, nennt man Last.

Die Richtung, in welcher Kraft und Last auf den Hebel einwirken, kann sehr verschieden sein. Die Erfahrung lehrt, daß man eine möglichst kräftige Wirkung erzielt, wenn man den Druck oder Zug, durch welchen man den Widerstand überwinden will, rechtwinklig (nicht schräg) auf den Hebel ausübt. Aus demselben Grunde giebt man dem Hebel, wo es irgend geschehen kann, eine solche Lage, daß auch die Last rechtwinklig auf ihn einwirkt. Für diesen Fall werden die beiden Teile des Hebels, welche zwischen dem Drehpunkte und den beiden Angriffspunkten liegen, als **Hebelarme** (Kraft- und Lastarm) bezeichnet.

Im folgenden ist nur dieser einfachste Fall berücksichtigt worden.

Liegt der Drehpunkt eines Hebels am Ende desselben (Fig. 14), so heißt der Hebel einarmig; liegt er zwischen den beiden Angriffspunkten, zweiarmig, und zwar gleicharmig (Fig. 10), wenn die Hebelarme gleichlang, ungleicharmig (Fig. 13), wenn sie ungleichlang sind. (Auch beim einarmigen Hebel unterscheidet man Kraft- und Lastarm.)

Mechanischer Vorteil und Nachteil.

Der Gebrauch der Krämerwage (Fig. 10) lehrt, daß zum Heben einer Last bei Anwendung eines gleicharmigen Hebels ebensoviel Kraft nötig ist, als die Last beträgt, sowie daß bei einer Drehung des Hebels die Last um ebensoviel gehoben wird, als die Kraft den Hebel in ihrem Angriffspunkte niederdrückt. Beim gleicharmigen Hebel findet daher nur eine vorteilhafte Änderung der Kraftrichtung statt. Man kann deswegen den gleicharmigen Hebel auch als **Richtungshebel** bezeichnen.

Anders verhält es sich beim ungleicharmigen Hebel. In Fig. 13 und 14 greift die Hand den Stab in einem Punkte an, der vom Unterstützungspunkte bedeutend weiter entfernt ist als derjenige Punkt, in welchem der Stein einen Druck auf den Stab ausübt. Die Erfahrung lehrt, daß sich auf diese Weise große Widerstände mit geringerer Kraft überwinden lassen; die Kraft muß dabei freilich einen weit größeren Weg zurücklegen, als die Last zurücklegt. Ersteres bezeichnet man als *mechanischen Vorteil*, letzteres als *mechanischen Nachteil*.

Ein Hebel, dessen Kraftarm länger ist als sein Lastarm, kann seiner Wirkung wegen als **Druckhebel** bezeichnet werden.

Als Druckhebel wirken aufser dem Hebebaume und dem Brecheisen auch noch Pumpenschwengel, Ruder, Schubkarren, die Messer der Brodschneideladen und Zuckerbrecher,

Schlüssel u. s. w. Manche Werkzeuge, wie z. B. Nufsknacker (Fig. 15), Kneifzangen (Fig. 16) und Scheren, bestehen aus zwei beweglich miteinander verbundenen Druckhebeln,

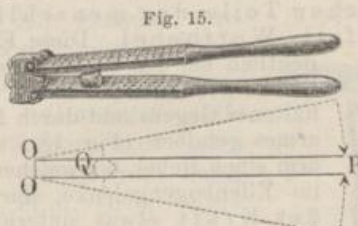


Fig. 15.

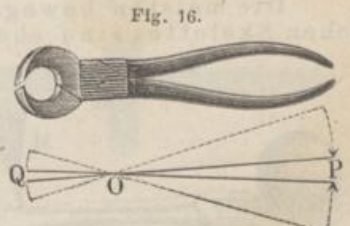


Fig. 16.

welche gegeneinander wirken. Was ist durch die unter den beiden Figuren stehenden einfachen Zeichnungen dargestellt?

Stellen wir uns vor, in Fig. 13 und 14 wirke die Kraft da, wo der Stein einen Druck auf den Hebel ausübt, die Last hingegen im Punkte B, so kehren sich die Verhältnisse um. Würde z. B. auf den zweiarmigen Hebel (Fig. 13) in A etwa mit dem Fusse ein kräftiger Stofs ausgeübt, so könnte ein auf das andere Ende des Hebels gelegter Stein von geringem Gewichte dadurch weit fortgeschleudert werden. Der einarmige Hebel (Fig. 14) würde, wenn er etwa die Einrichtung des mit einem Schleifsteine (Fig. 17), einem Spinnrade oder dergl. verbundenen Trittbrettes hätte und man nahe am unteren Ende desselben durch den Fuß einen Druck darauf ausübte, sich mit seinem oberen Ende viel schneller abwärts bewegen als der Fuß selbst. Eine geringe Auf- und Abbewegung des Fußes reicht in solchem Falle aus, den Stein oder das Rad mittelst Zugstange und Kurbel in eine schnelle Umdrehung zu versetzen.

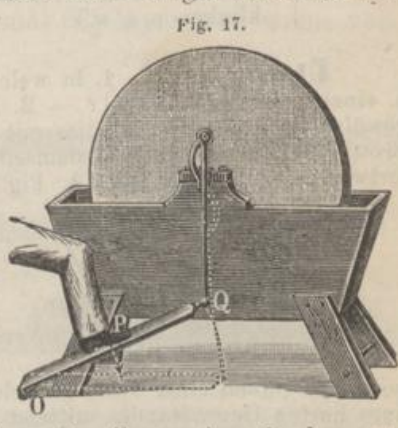


Fig. 17.

Welchen Einfluß eine solche Verkürzung des Kraftarms auf die Größe der erforderlichen Kraft ausübt, davon überzeugt man sich leicht, wenn man z. B. eine Thür durch einen Druck mit dem Finger in ihren Angeln bewegt. Je näher der Punkt, in welchem der Druck ausgeübt wird, dem hinteren Rande der Thür liegt, desto kräftiger muß der Druck sein.

Hieraus geht hervor, daß die Anwendung eines Hebels mit kurzem Kraftarme nicht mit einer Kraftersparnis verbunden ist, sondern im

Gegenteil mehr Kraft erfordert, als Last zu überwinden ist. Dies ist ein *mechanischer Nachteil*. Der *mechanische Vorteil* besteht bei einem solchen Hebel in der Vergrößerung der Geschwindigkeit.

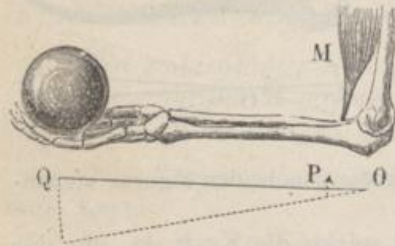
Hebel, bei denen der Kraftarm kürzer ist als der Lastarm, können ihrer Wirkung wegen als Wurfhebel bezeichnet werden.

Bem. Nur beim einarmigen Hebel pflegt man Druck- und Wurthebel zu unterscheiden.

Wie die Trittbretter, so bilden auch Wurfschaufeln, Sensen, Schäferstäbe u. s. w. Wurfhebel; auch Federhalter, Bleistifte und Pinsel stellen beim Gebrauche Wurfhebel dar. Zweiarmige Wurthebel sind z. B. die Hämmer an den Schlagwerken der Stuben- und Turmuhren.

Die meisten beweglichen Teile des menschlichen und tierischen Skelettes sind ebenfalls Wurfhebel. Diese Einrichtung tritt sehr

Fig. 18.

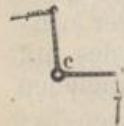


deutlich bei den Gliedmaßen hervor. Wird z. B. bei herabhängendem Arme ein in der Hand gehaltener Gegenstand durch Bewegung des Unterarmes gehoben (Fig. 18), so bildet der Unterarm einen Hebel, bei welchem der Drehpunkt im Ellenbogengelenke, der Angriffspunkt der Kraft etwas unterhalb dieses Gelenkes und zwar da, wo der auf dem Oberarme liegende kräftige Muskel (M) am Unterarme befestigt ist, und der Angriffspunkt der Last in der Hand liegt. Zum Heben des Gegenstandes ist eine geringe Verkürzung des Muskels ausreichend. — Wodurch ist dies in der Figur angedeutet?

— Wodurch ist dies in der Figur angedeutet?

Eine besonders wichtige Anwendung findet der gleicharmige wie der ungleicharmige Hebel bei den Wagen zur Bestimmung des Gewichtes des Körper (vergl. § 69).

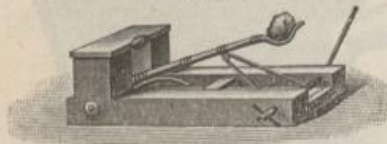
Fig. 19.



Je nachdem die Hebelarme gerade oder krumm sind, oder einen Winkel miteinander bilden, kann man gerade, krumme und Winkelhebel unterscheiden (Winkelhebel der Glockenzüge [Fig. 19], Thürklinken u. s. w.).

Übungsstoff. 1. In welchem Falle bildet eine Brechstange a. einen zwei- b. einen einarmigen Hebel? — 2. Mit einem Hebebaume soll ein Baumstamm fortgewälzt werden. Wie ist dies mit Vorteil auszuführen? — 3. Wie muß man ein Brett unterstützen, um mit demselben einen Stein durch einen kräftigen Schlag weit fortwerfen zu können? — 4. Fig. 20 stellt die Einrichtung einer von den alten Römern als Kriegsgerät angewandten Wurfmaschine dar. Erkl.! — 5. Wie würde sich bei den beiden Hebeln, Fig. 13 und 14, der mech. V. ändern, wenn man der Stein a. in einem dem Drehpunkte des Hebels näher gelegenen, b. in einem vom Drehpunkte weiter entfernten Punkte auf den Hebel einwirkte? — 6. Wie hat man zu verfahren, wenn das Öffnen einer Nufs mittelst Nufsknackers (Fig. 15) oder das Zerschneiden eines harten Gegenstandes mittelst Schere möglichst leicht gehen soll? — 7. Welchen mech. V. und N. würde es haben, wenn bei dem Trittbrette (Fig. 17) der Fuß a. weiter nach unten, b. weiter nach oben aufgesetzt würde? — 8. Wie ändert sich bei jedem Hebel die Wirkung der Kr., wenn der Angriffsp. der Kr. a. dem Drehp. genähert, b. vom Drehpunkte weiter entfernt wird? — 9. Wird ein einarmiger Hebel am Ende mit einem Rade versehen, so kann er zur Fortschaffung von Lasten benutzt werden. Welches Werkzeug? — 10. Warum ist es hierbei nicht gleichgültig, an

Fig. 20.



wenn das Öffnen einer Nufs mittelst Nufsknackers (Fig. 15) oder das Zerschneiden eines harten Gegenstandes mittelst Schere möglichst leicht gehen soll? — 7. Welchen mech. V. und N. würde es haben, wenn bei dem Trittbrette (Fig. 17) der Fuß a. weiter nach unten, b. weiter nach oben aufgesetzt würde? — 8. Wie ändert sich bei jedem Hebel die Wirkung der Kr., wenn der Angriffsp. der Kr. a. dem Drehp. genähert, b. vom Drehpunkte weiter entfernt wird? — 9. Wird ein einarmiger Hebel am Ende mit einem Rade versehen, so kann er zur Fortschaffung von Lasten benutzt werden. Welches Werkzeug? — 10. Warum ist es hierbei nicht gleichgültig, an

welcher Stelle die Last liegt? — 11. Welche Teile der Pumpen, Feuerspritzen, Spinnräder, Nähmaschinen, Drehbänke, Schneideladen, Zuckerbrecher und Schlagwerke der Uhren bilden Hebel, und inwiefern? — 12. Welche von denselben sind ein- und welche zweiarmig, und worin besteht der mech. V. und der mech. N.? — 13. Was für Hebel (Druckhebel oder Wurfhebel) bilden Schlüssel, Spaten, Messer, Sensen, Schaufeln und Heugabeln beim Gebrauche? — 14. Welchen Vorteil hat es für den menschlichen und tierischen K., daß die Gliedmaßen Hebel mit sehr kurzen Kraftarmen bilden? — 15. Nenne Musikinstrumente, bei denen Hebel zur Anwendung kommen.

§ 8. Hebelgesetze. (Fortsetzung.) Ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ergibt sich für alle Hebel aus folgenden Versuchen:

Versuch a. Ein gerader, unbiegsamer Stab von gleichmäßiger Stärke (AB, Fig. 21) werde als *zweiarmiger Hebel* so unterstützt, daß er unbelastet in wagerechter Lage zur Ruhe kommt. Hängt man dann rechts und links vom Drehpunkte des Stabes in gleichen Abständen gleiche Gewichte auf, so wird das Gleichgewicht nicht gestört.

Dreht man den Hebel um seine Achse, so bewegt sich das eine Gewichtstück in senkrechter Richtung ebenso stark aufwärts, als das andere abwärts, man sagt: Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen, senkrechten Richtung zurücklegen, sind einander gleich. Die beiden Angriffspunkte beschreiben dabei gleiche Kreisbögen.

Versuch b. Belastet man den zweiarmigen Hebel mit 2 ungleichen Gewichten (Fig. 22), so entsteht jedesmal Gleichgewicht, wenn von dem an der einen Seite aufgehängten Gewichte an der andern Seite 1) in der halben Entfernung das Doppelte, 2) in der doppelten Entfernung die Hälfte, 3) in der vierfachen Entfernung ein Viertel u. s. w. aufgehängt wird.

Welche Gewichte müßten hiernach zur Herstellung des Gleichgewichtes links 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt werden, wenn rechts 1, 2, 4 und 8 cm vom Drehpunkte nacheinander eine Kraft von 100 g wirkte? Wie ändert sich demnach das Bestreben dieser Kraft, den Hebel zu drehen, wenn der Hebelarm verlängert wird? Wie verhalten sich a. die bei einer Drehung des Hebels von den beiden Angriffspunkten beschriebenen Kreisbögen, b. die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen?

Fig. 21.

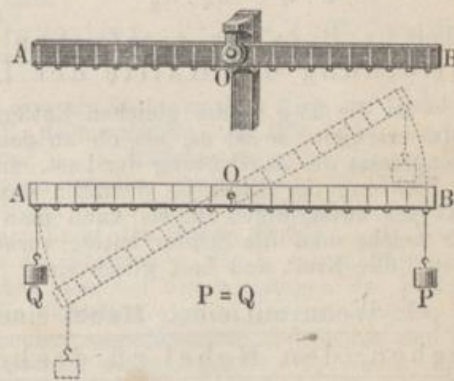
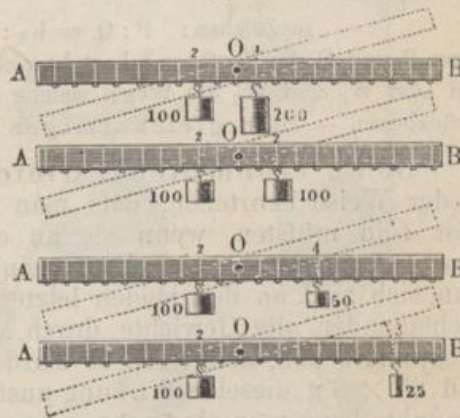
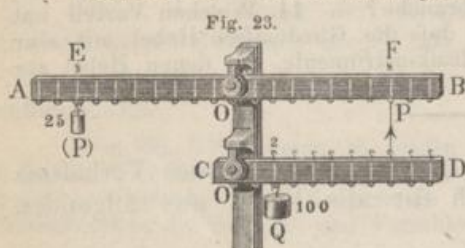


Fig. 22.



Bildeten bei Versuch a und b die beiden Hebelarme einen Winkel miteinander, so würde dies an dem Ergebnis nichts ändern, vorausgesetzt, daß Kraft und Last wie vorhin rechtwinklig auf ihre Hebelarme einwirken.

Versuch c. Ein *einarmiger Hebel* (CD, Fig. 23), werde zunächst



$$P : Q = h_q : h_p$$

unbelastet etwa dadurch im Gleichgewicht gehalten, daß man ihn durch eine Schnur mit einem zweiarmligen Hebel verbindet und an letzterem ein Gegengewicht (in der Figur nicht angegeben) aufhängt. Belastet man dann den Stab wie vorhin etwa 2 cm von der Achse mit 100 g, so entsteht Gleichgewicht, wenn man an der entgegengesetzten Seite des zweiarmligen Hebels, z. B. in der vierfachen Entfernung $\frac{1}{4}$, in der doppelten Entfernung die Hälfte der Last u. s. w. wirken läßt.

Da die 25 g in der gleichen Entfernung rechts (in F) einen Zug von gleicher Größe erzeugen, so ist es, als ob an dem einarmigen Hebel nach oben, also entgegengesetzt der Zugrichtung der Last, eine Kraft von 25 g wirkte. Abgesehen von der Richtung der Kraft ist demnach das Ergebnis dasselbe, wie bei Versuch b. Statt des zweiarmligen Hebels kann man auch eine feste Rolle zu Hilfe nehmen, über welche man die Schnur leitet; vorher hat man noch zu zeigen, daß an der festen Rolle Kraft und Last gleich sind.

1. Wenn auf einen Hebel eine Kraft einwirkt, so nimmt ihr Bestreben, den Hebel zu drehen, in demselben Verhältnis zu, in welchem ihr Hebelarm länger wird.

2. Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Lastarm zum Kraftarm. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung des Hebels in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

$$\text{In Zeichen: } P : Q = h_q : h_p \text{ und } W_p : W_q = Q : P,$$

wenn P und Q die Kraft und Last bezeichnen, h_p und h_q die Hebelarme der Kraft und Last W_p und W_q die Wege, welche Kraft und Last* in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. — Beim gleicharmigen Hebel ist $P = Q$ und $W_p = W_q$.

Ob an einem Hebel Gleichgewicht entsteht, läßt sich auch in der Weise beurteilen, daß man sich überlegt, wie groß Kraft und Last sein müßten, wenn sie an einem gleicharmigen Hebel wirkten, dessen Arme nur je eine Längeneinheit (etwa 1 cm) lang sind. Denkt man sich z. B. an den beiden letzteren der in Fig. 22 dargestellten Hebel nacheinander alle Gewichte durch ein Gewicht ersetzt, das 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt sei, so würden links 100×2 g, rechts 50×4 g und 25×8 g dieselbe Wirkung ausüben. Die auf diese Weise erhaltenen Produkte kann man als **Drehungsmomente**¹⁾ bezeichnen und hiernach die Gleichgewichtsbedingung des Hebels auch durch den Satz ausdrücken:

¹⁾ momentum, das Bewegende, die Wucht.

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Drehungsmoment der Kraft dem Drehungsmoment der Last gleich ist.

In Zeichen: $P \cdot h_p = Q \cdot h_q$, was auch aus obiger Proportion folgt.

Beispiel. Aufgabe: An einem Hebel (Fig. 24 und 25) wirke 8 cm vom Drehpunkte eine Last von 72 kg. Wie groß muß zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft sein, wenn sie 60 cm vom Drehpunkte wirken soll?

Fig. 24.

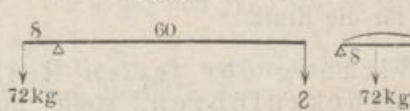
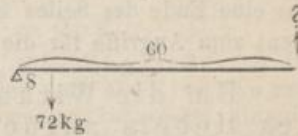


Fig. 25.



Auflösung (nach 1) ohne Proportion. 72 kg regen den Hebel an einem 8 cm langen Hebelarme ebenso stark zur Drehung an, wie $72 \times 8 = 576$ kg an einem Hebelarme von 1 cm Länge. Es entsteht daher Gleichgewicht, wenn man am andern Hebelarme 1 cm vom Drehpunkte ebenfalls 576 kg, oder in einem Abstände von 60 cm den 60. Teil, also $\frac{576}{60} = 9,6$ kg wirken läßt.

Auflösung (nach 2) durch Proportion. $P:72 = 8:60$; also $60 \cdot P = 72 \cdot 8$, in welcher Gleichung $60 \cdot P$ und $72 \cdot 8$ die Drehungsmomente sind.

Übungsstoff. 1. Warum läßt sich ein Stab vor dem Knie am leichtesten durchbrechen, wenn man ihn an seinen Enden anfasset? — 2. Wie ferner am leichtesten beim Auftreten mit dem Fufse; w.? — 3. Mittelst eines 2 m langen Hebebaumes soll ein Stein von 180 kg gehoben werden, der Lastarm sei 20 cm lang. Wv. Kr. ist erforderlich, wenn der Hebebaum a. als zwei-, b. als einarmiger Hebel gebraucht wird, und die Kr. jedesmal am Ende des Hebels, wirkt? — 4. Wv. Kr. würde in beiden Fällen nötig sein, wenn der Lastarm a. 25, b. 40, c. 50 cm lang wäre? — 5. In welchem Verhältnis ändert sich bei diesen Längen das Bestreben der Kr., den Hebel zu drehen? — 6. Wie verhalten sich in jedem einzelnen Falle die Wege zu einander, welche a. die beiden Angriffspunkte, b. die Kr. und L. in senkrechter Richtung beim Heben des Steines zurücklegen? — 7. Wv. L. könnte überwunden werden, wenn in den angeführten Fällen jedesmal eine Kr. von 25 kg wirkte? — 8. Wie müßten sich die Hebelarme zu einander verhalten, wenn der Stein (Frage 3) a. durch 15, b. durch 20, c. durch 25 kg Kr. gehoben werden sollte? — 9. Welchen mech. V. hat die Verlängerung oder die Verkürzung des Kraftarms, und welchen mech. N.? — 10. Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat a. die Verlängerung, b. die Verkürzung des Lastarms? — 11. Wie läßt sich beim Hebel das Verhältnis, in welchem Kr. und L. für den Fall des Glgew. zu einander stehen, aus der Länge der Wege ableiten, welche Kr. und L. bei einer Drehung des Hebels zurücklegen?

Fig. 27.

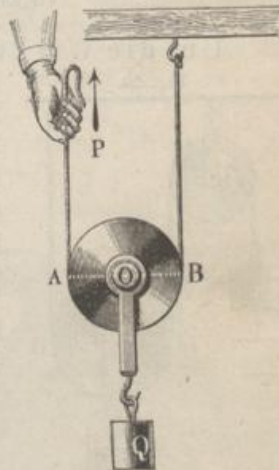
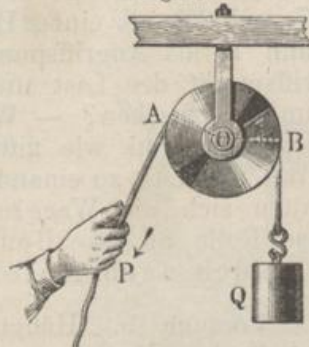


Fig. 26.



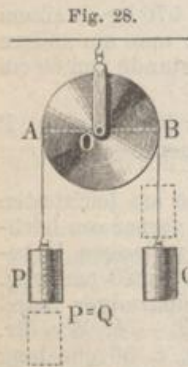
§ 9. Die Rolle.

Um schwere Warenballen oder dergl. auf hoch gelegene Lagerplätze zu heben, große Mauersteine, Mörtel und Balken am Baugerüst hinaufzuziehen u. s. w., pflegt man kreisförmige, um eine Achse drehbare Scheiben anzuwenden, um deren Umfang in einer Rinne ein Seil läuft (Fig. 26 und 27). Solche Scheiben heißen Rollen. Die Achsen derselben liegen in sogen. Scheren oder Kloben.

Je nachdem die Rollen nur eine drehende, oder aufer dieser noch eine fortschreitende Bewegung ausführen, bezeichnet man sie als feste (Fig. 26 und 28) oder als lose Rollen (Fig. 27).

Bei den festen Rollen wirkt die Last an dem einen, die Kraft am andern Ende des Seiles; bei den losen Rollen hingegen wirkt die Last an der Schere, das eine Ende des Seiles ist mit einem festen Punkte verbunden, und das andere dient zum Angriffe für die Kraft.

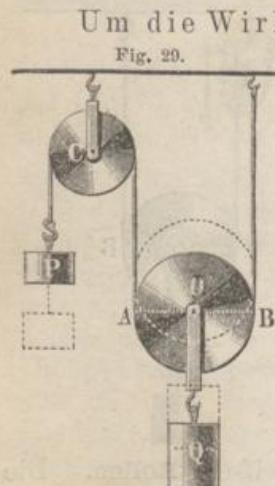
Um die Wirkung der festen Rolle auf die Wirkung des Hebels zurückzuführen, stelle man sich vor, die beiden Punkte (A und B, Fig. 26 und 28), in denen die Seilteile von der Rolle abgehen, seien die Angriffspunkte eines um O drehbaren Hebels, der aus der Rolle herausgeschnitten wäre. — Unter welcher Bedingung würde dann Gleichgewicht entstehen, und warum? — Wie würden sich die Wege zu einander verhalten? — Wende dies auf die feste Rolle an. — Bestätigung:



Versuch a. Hängt man an die beiden Schnurteile einer festen Rolle (Fig. 28) gleiche Gewichte, so entsteht Gleichgewicht. Bringt man darauf einen der beiden Schnurteile etwa dadurch in eine schräge Richtung, dass man ihn über eine andere, seitlich und tiefer gelegene Rolle leitet, so wird das Gleichgewicht nicht gestört. — Vergleiche die Wege miteinander, welche die Gewichte bei einer Drehung der Rolle zurücklegen.

Eine feste Rolle ist im Gleichgewichte, wenn Kraft und Last gleich sind. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung der Rolle zurücklegen, sind gleich.

In Zeichen: $P = Q$ und $W_p = W_q$.



Um die Wirkung der losen Rolle aus der Wirkung des Hebels abzuleiten, betrachte man den wagerechten Durchmesser der losen Rolle (AB, Fig. 27 und 29) als einen Hebel. Welcher Punkt ist dann 1) als Angriffspunkt der Kraft, 2) als Angriffspunkt der Last und 3) als Unterstützungspunkt anzusehen? — Was für ein Hebel würde dies sein, und wie müßten sich an demselben Kraft und Last zu einander verhalten? — Wie verhalten sich die Wege? — Wende dies auf die lose Rolle an. — Bestätigung durch den Versuch nach Anleitung von Fig. 29.

Versuch b. Hängt man die beiden Rollen so auf, dass die Schnurteile der losen Rolle nicht mehr parallel sind, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorher erforderlich.

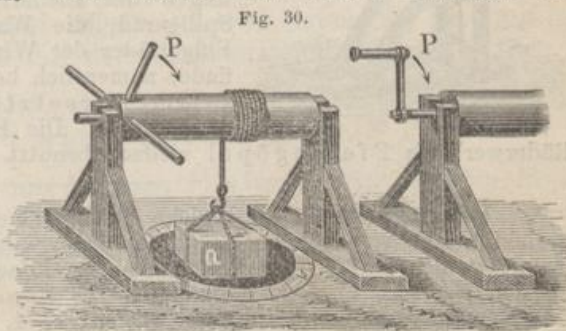
Eine **lose Rolle** ist im Gleichgewichte, wenn die Kraft halb so groß ist als die Last, vorausgesetzt, daß die beiden Seilteile der losen Rolle parallel sind. — Die Wege verhalten sich umgekehrt, wie sich Kraft und Last verhalten.

$$\text{In Zeichen: } P = \frac{1}{2}Q \text{ und } W_p : W_q = Q : P.$$

Feste Rollen sind ein bequemes Mittel, die Zugrichtung in vorteilhafter Weise umzuändern; sie werden daher auch als Richtungsrollen bezeichnet. Steine, Balken, Mörtel z. B. von oben am Baugerüst hinaufzuziehen, würde mit großen Schwierigkeiten verbunden sein; mittelst fester Rollen kann es von unten geschehen. Aus demselben Grunde werden feste Rollen auch beim Einrammen von Pfählen (mittelst Rammbar), zum Schließen von Thüren durch Zuggewichte, zur Anhängung von Kronleuchtern, Hängelampen, Vogelbauern u. dgl. angewandt. — Um an Kraft zu sparen, muß man *lose* Rollen anwenden. Dieselben werden gewöhnlich mit festen Rollen verbunden. Die einfachste Verbindung dieser Art ist in Fig. 29 dargestellt.*)

Übungstoff. 1. Worin stimmt eine feste mit einer losen Rolle überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Welchen mech. V. gewährt die Anwendung einer losen Rolle, und worin besteht der mech. N.? — 3. Um wv. verkürzen oder verlängern sich a. bei Fig. 28, b. bei Fig. 29 die Seilteile im Verhältnis zu einander, wenn die L. gehoben wird? — 4. Vgl. hiermit die von der Kr. und L. zurückgelegten Wegstrecken. — 5. Kann die Größe der Rolle einen Einfluß auf das Verhältnis von Kr. und L. ausüben? — 6. Welchen Vorteil bietet es, bei Turmuhren und Regulatoren die Gewichtstücke an losen Rollen aufzuhängen, statt sie an den Enden der Schnüre zu befestigen? (Q, Fig. 29, stelle das Gewichtstück, C die Welle dar; um welche sich beim Aufziehen der Uhr die Schnur wickelt.) — 7. Wie müssen in diesen beiden Fällen die Gew. sich zu einander verhalten, wenn der auf das Räderwerk ausgeübte Zug derselbe sein soll? — 8. Durch den Zug, welchen ein Pferd in wagerechter Richtung ausübt, soll ein schwerer Mauerstein senkrecht gehoben werden. Wie ist dies mit Hilfe von zwei festen Rollen auszuführen? — 9. Wie lassen sich die Gesetze über die feste und die lose Rolle aus dem Hebelgesetze ableiten? — 10. Bei welcher Rolle ändert sich die Wirkung der Kr. mit der Richtung der Seilteile, und bei welcher nicht? — 11. Wv. L. kann durch 20, 30, 40 kg Kr. a. an einer festen Rolle, b. an einer losen Rolle im Glgew. gehalten werden? — 12. Wv. Kr. ist aber erforderlich, um 80, 90, 100 kg L. vermittelst Rollen im Glgew. zu halten? — 13. Welchen Weg muß die Kr. dabei zurücklegen, wenn die L. um 4 m gehoben werden soll? — 14. Wie läßt sich nach den Wegen der Kr. und der L. beurteilen, unter welcher Bedingung Glgew. entsteht?

§ 10. Das Wellrad. Um Wasser aus tiefen Brunnen zu heben, Erde oder Gestein aus Schächten zu fördern, um das Steuerruder der Schiffe vom Deck aus zu bewegen und in vielen anderen Fällen bedient man sich des **Wellrades**, d. h. einer Vorrichtung, welche aus einer starken drehbaren Welle besteht, an deren Ende eine kreisrunde Scheibe, ein Rad oder mehrere Stäbe wie Speichen eines Rades (Fig. 30 links)



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 70.

befestigt sind. Letztere können auch durch eine *Kurbel* ersetzt sein (Fig. 30 rechts). Beim Gebrauche wird die Welle um ihre Achse gedreht. Hierbei läßt man die Kraft je nach der Einrichtung des Wellrades am Umfange der Scheibe oder des Rades, oder am äußeren Ende der Stäbe oder an der Kurbel wirken, während die Last durch ein Seil auf die Welle einwirkt.

Um die Wirkung des Wellrades auf den Hebel zurückzuführen, denke man sich an Stelle des Wellrades (Fig. 31)

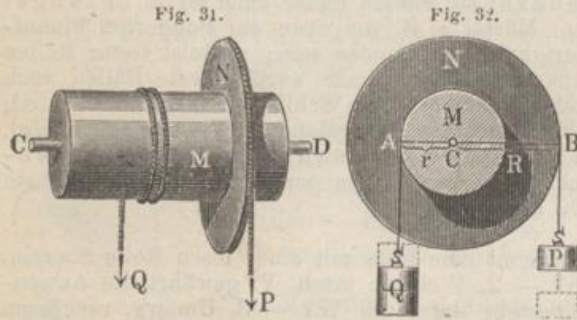


Fig. 31.

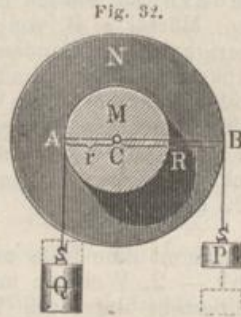


Fig. 32.

einen Hebel (AB, Fig. 32), dessen Drehpunkt in der Achse der Welle liegt, und dessen Arme mit den beiden Drehungsradien CA und CB zusammenfallen. Wie läßt sich dann für den Zustand des Gleichgewichtes das Verhältnis zwischen Kraft und Last bestimmen, und wie verhalten sich bei einer Drehung

der Welle die Wege zu einander?

Bestätigung durch den Versuch.

Am Wellrade ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Radius (r) der Welle zum Radius (R) des Rades. — Bei einer Drehung des Wellrades stehen die Wege, welche Kraft und Last zurücklegen, im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last zu einander.

In Zeichen:

$$P : Q = r : R \text{ und } W_p : W_q = Q : P.$$

Je nach dem Zwecke,

Fig. 33.



Räderwerk als Pferddegöpel vielfach benutzt.

den das Wellrad hat, ist die Einrichtung desselben verschieden. Im allgemeinen unterscheidet man Haspeln und Göpel. Bei ersteren ist die Welle wagerecht, bei letzteren senkrecht (Fig. 33). Zu den Haspeln gehören außer dem eigentlichen, aus Welle und Rad bestehenden Wellrade z. B. der Kreuzhaspel (Fig. 30 links), die Brunnenwinde (Fig. 30 rechts), das zum Bewegen des Steuerruders der Dampfschiffe dienende Spillenrad, die Wasserräder der Wassermühlen, die Flügelräder der Windmühlen u. s. w. — Das Wellrad findet namentlich bei den Räderwerken aller zusammengesetzten Maschinen eine ausgedehnte Anwendung. Die Erdwinde wird in Verbindung mit

Übungsstoff. 1. Welche Schleifsteine sind ähnlich wie Wellräder eingerichtet, und wovon hängt es ab, ob mehr oder weniger Kr. bei denselben angewandt werden muß? — 2. Welche beiden einfachen Maschinen kommen sehr häufig an den Fenstern unserer Wohnungen zur Anwendung? — 3. Wo läßt man bei Wind- und Wassermühlen die Kr. wirken? — 4. Durch welche mech. Vorrichtungen setzt sich die durch Wind oder Wasser erzeugte Bewegung in der Mühle selbst weiter fort? — 5. Nenne ein Küchengerät und ein Musikinstrument, bei denen das Wellrad zur Anwendung kommt. — 6. Welchen Einfluß würde es auf die Wirkung

eines Wellrades ausüben, wenn man a. die Welle dicker oder dünner, b. die Kurbel größer oder kleiner machte? — 7. Warum läßt sich das Verhältnis der Halbmesser, an denen beim Wellrade Kr. und L. wirken, nicht ganz beliebig ändern? — 8. Leite das Gesetz über das Glgew. des Wellrades nach Anleitung von Fig. 32 aus dem Hebelgesetze ab. — 9. Bei einem Wellrade sei der Durchmesser der Welle 15 cm, der Durchm. des Rades 90 cm; wv. L. kann dann durch 20, 25, 30 kg Kr. im Glgew. gehalten werden? — 10. Wv. L. würde im Glgew. gehalten werden können, wenn an der Welle eine Kurbel von 30 cm Länge befestigt wäre? — 11. Wv. Kr. würde nötig sein, wenn an demselben Wellrade (Frage 9) 100, 150, 180 kg im Glgew. gehalten werden sollten? — 12. Um wv. wäre die L. gehoben, wenn die Kr. einen Weg von 6 m zurückgelegt hätte? — 13. Welchen Weg müßte die Kr. zurücklegen, wenn die L. um 2,5 m gehoben werden sollte? — 14. Wie läßt sich aus den von der Kr. und der L. zurückgelegten Wegen das Verhältnis von Kr. und L. ableiten?

§ 11. Die schiefe Ebene. Sollen gefüllte Fässer, Warenballen, Kisten u. dgl. auf niedrige Lagerplätze gehoben oder von diesen herabgelassen werden, so bedient man sich, um Kraft zu sparen, einer Schrotleiter (Fig. 34); bei Bauten befördert man aus demselben Grunde Steine und andere Materialien auf schrägen Laufbahnen in die Höhe. Auch Bergstraßen, die in Windungen mit geringer Steigung angelegt werden, gewähren den Vorteil der Kraftersparnis bei der Fortbewegung von Lasten auf Wagen (Fig. 35), desgl.

Fig. 34.

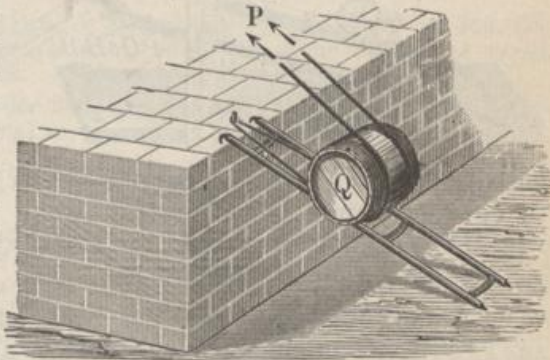


Fig. 35.



z. B. die Zuglinie des Wagens mit der StraÙe gleich, aber ebensowohl etwas höher oder tiefer als diese gerichtet sein. (Von allen möglichen Richtungen sind in Fig. 35 zwei angedeutet, von denen die eine mit der StraÙe OM selbst, die andere mit der Horizontalen ON parallel ist.)

Jede gegen den Horizont geneigte Ebene, auf welcher eine Last fortbewegt werden kann, wird **schiefe Ebene** genannt.

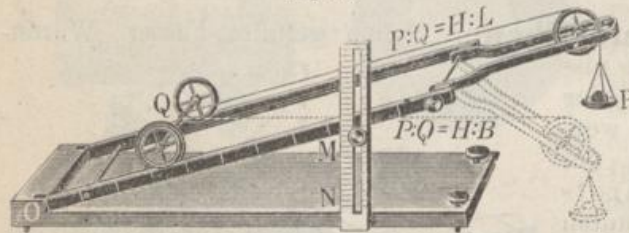
Das Lot (MN, Fig. 35) vom höchsten Punkte (M) der schiefen Ebene auf die durch den tiefsten Punkt (O) derselben gelegte Horizontalebene heißt die **Höhe**, der Abstand eines höchsten Punktes (M) vom Fusse (O) heißt die **Länge** und der zwischen dem Fußpunkte (O) der schiefen Ebene und dem Fußpunkte (N) des Lotes gelegene Teil der Horizontalebene die **Basis der schiefen Ebene**. Der Winkel, welchen die schiefe Ebene mit der Basis bildet, heißt **Neigungswinkel**.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs man, um auf einer schiefen Ebene eine Last hinaufzubewegen, desto weniger Kraft nötig hat, je weniger steil die Ebene ist (**mechanischer Vorteil**), dafs aber der Weg, welchen die Kraft zurücklegen mufs, um die Last auf eine bestimmte Höhe zu heben, mit der Verkleinerung des Neigungswinkels an Länge zunimmt (**mechanischer Nachteil**). Genaueres hierüber lehren die folgenden Versuche.

Bem. Im folgenden sollen nur die beiden einfachsten Fälle betrachtet werden, nämlich dafs die Kraft 1) parallel zur schiefen Ebene selbst und 2) parallel zur Basis wirkt.

Versuch a. Um zu untersuchen, wie bei einer schiefen Ebene die Kraft sich zur Last verhält, benutze man einen etwa nach Fig. 36 eingerichteten Apparat. Die

Fig. 36.



zweirädrige Achse, welche auf den schräg gerichteten Schienen ruht, sei die im Gleichgewicht zu haltende Last, die Schale mit den Gewichten stelle die Kraft dar. Stellt man den beweglichen Bügel so, dafs die Schnur parallel zur Ebene gerichtet ist, so entsteht immer Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie MN zu MO, also wie die Höhe zur Ebene selbst. Ist MN etwa $= 10$, MN $= 40$ cm, so ist $P = \frac{1}{4}Q$.

Ändert man die Lage der Schienen, so erweist sich die Kraft als zu klein, wenn die Schienen steiler, als zu groß, wenn sie weniger steil liegen als vorhin.

1. Wirkt die Kraft parallel zur schiefen Ebene, so entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) der Ebene zu ihrer Länge (l).

In Zeichen: $P : Q = h : l$.

Aus der Proportion folgt: $P : Q = \frac{h}{l}$, d. h. Kraft = Last \times Steigung der schiefen Ebene. Beträgt z. B. die Höhe 1 m, die Länge 10 m, so drückt der Bruch $\frac{1}{10}$ die Steigung aus.

Versuch b. Stellt man den Bügel so, dafs die Schnur mit der Basis ON parallel läuft, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorhin erforderlich, und zwar ist die Kraft sovielman in der Last enthalten, als die Höhe in der Basis.

2. Wirkt die Kraft parallel zur Basis der schiefen Ebene, so tritt Gleichgewicht ein, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) zur Basis (b) der Ebene.

In Zeichen: $P : Q = h : b$.

Wird die Last von O bis M hinaufgezogen, so ist der Weg, welchen sie in ihrer eigenen (senkrechten) Richtung zurücklegt, gleich MN;

der von der *Kraft* in ihrer eigenen Richtung zurückgelegte Weg ist

- 1) gleich OM, wenn die Kraft parallel zur schiefen Ebene selbst,
- 2) " ON, " " " " " " Basis der Ebene wirkt.

In letzterem Falle hat man sich vorzustellen, die Schnur behalte während der ganzen Bewegung durch allmähliche Hebung des Bügels ihre parallele Lage zur Basis bei. Für beide Fälle gilt demnach das Gesetz:

Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich bei der schiefen Ebene umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

$$\text{In Zeichen: } W_p : W_q = Q : P.$$

Beispiel. Aufgabe: Die Höhe einer schiefen Ebene betrage 40 cm, ihre Länge 3 m, die Last sei gleich 400 kg. Wv. Kraft ist erforderlich, um die Last im Glgew. zu halten, a. wenn sie parallel zur Ebene wirkt; b. wenn sie parallel zur Basis wirkte und letztere 2,5 m lang wäre?

Auflösung ohne Proportion. a. Bei 1 cm Höhe würde nur der 300. Teil der Last, also $\frac{400}{300} = 1\frac{1}{3}$ kg erforderlich sein; bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1\frac{1}{3} = 53\frac{1}{3}$ kg erforderlich.

b. Bei 1 cm Höhe würde nur der 250. Teil der Last, also $\frac{400}{250} = 1,6$ kg erforderlich sein, bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1,6 = 64$ kg erforderlich.

Auflösung durch Proportion. a) $P : 400 = 40 : 300$ u. s. w.

$$b) P : 400 = 40 : 250 \quad ,,$$

Die allgemeinste Anwendung findet die schiefe Ebene bei der Fortbewegung von Lasten auf ansteigenden Strafsen und Eisenbahnen. Da die Reibung in allen denjenigen Fällen, in denen die Last auf der Ebene fortgleitet, weit mehr als beim Gebrauche der hebelartig wirkenden einfachen Maschinen als Bewegungshindernis auftritt, so ist zur richtigen Beurteilung des Verhältnisses zwischen Kraft und Last in praktischen Fällen auf den Einfluß der Reibung ganz besonders Rücksicht zu nehmen. Dasselbe gilt auch von den beiden folgenden, nach Art der schiefen Ebene wirkenden Maschinen (Keil und Schraube). In den angeführten Gesetzen ist der Einfachheit wegen von dem Reibungswiderstande abgesehen.

Übungsstoff. 1. Was ist vorteilhafter: die Zuglinie eines Gespannes so zu richten, daß sie mit der Strafse parallel ist, oder daß sie mit derselben einen Winkel bildet, u. w.? (Fig. 35.) — 2. Ein Fafs von 200 kg werde von zwei Arbeitern auf einer Schrotleiter von 3 m Länge hinaufgerollt, deren oberes Ende gegen eine 0,75 m hohe Mauer gelehnt ist (Fig. 34.) Wv. Kr. muß jeder Arbeiter mindestens anwenden, um das Fafs im Glgew. zu halten, und zwar a. ohne Seil, b. mit Hülfe eines Seiles? (Vgl. zur Berechnung Fig. 27.) — 3. Wie muß die Höhe der schiefen Ebene (Fig. 36) sich zu ihrer Länge verhalten, wenn 360 kg L. durch 72 g Kr. parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollen? — 4. Eine Kugel wiege 5 kg. Wv. Kr. muß angewandt werden, um die Kugel in einer schrägen Rinne parallel zu letzterer im Glgew. zu halten, wenn diese auf 24 m 1,2 m Steigung hat? — 5. Welches Gew. könnte die Kugel haben, wenn 400 g Kr. angewandt würden? — 6. Wie stark dürfte die Steigung sein, wenn 9 kg mit 300 g parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollten? — 7. Vgl. die Kr., welche nötig ist, um eine L. parallel zur schiefen Ebene im Glgew. zu halten, mit derjenigen Kr., welche bei derselben schiefen Ebene angewandt werden muß, um die gleiche L. parallel zur Basis im Glgew. zu halten. — 8. Welches ist bei einer schiefen Ebene der von der L. wirklich zurückgelegte Weg, und welches der Weg, den sie in ihrer eigenen, d. h. senkrechten Richtung zurücklegt? — 9. Wie läßt sich aus dem Verhältnis der Wege auf die Gleichgewichts-Bedingungen zurückschließen? — 10. Vgl. die schiefe Ebene und den Hebel miteinander hinsichtlich der Art ihrer Anwendung.

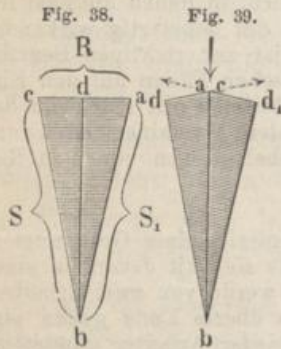
§ 12. Der Keil. Man bedient sich desselben bekanntlich zum Spalten eines Körpers (Fig. 37). Hierbei läßt man die Kraft senkrecht auf die Endfläche (den Rücken) des Keiles einwirken, während die Last (eigentlich die Doppellast) als Druck rechtwinklig gegen die beiden schrägen Seitenflächen (die Seiten des Keiles) wirkt.



Als Keil kann man jedes dreiseitige Prisma bezeichnen, dessen Grundflächen gleichschenklige Dreiecke bilden. — Der von den Seitenflächen eingeschlossene Winkel heißt Keilwinkel.

Die Erfahrung lehrt, daß man beim Keile um so weniger Kraft anzuwenden braucht, je schmaler der Rücken desselben im Verhältnis zur Länge ist, daß aber ein schmaler Keil tiefer eingetrieben werden muß als ein breiter, wenn die Wirkung dieselbe sein soll.

Aus einem Vergleiche des Keiles mit der schiefen Ebene läßt sich ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ableiten. Da jedes gleichschenklige Dreieck durch das von der Spitze auf seine Basis gefällte Lot in zwei kongruente rechtwinklige Dreiecke geteilt wird, so kann man sich den Keil aus zwei gleichen schiefen Ebenen (ba und bc, Fig. 38) zusammengesetzt denken, welche mit ihrer Basis (bd) fest verbunden sind.



Stellt man sich nun vor, diese beiden Hälften (bad und bcd) des Keiles seien so miteinander verbunden, daß die Seitenflächen desselben zusammenfallen (Fig. 39), die Basis jeder der beiden schiefen Ebenen also nach außen gekehrt ist, so geben die beiden Hälften des Rückens (nämlich da und d₁c der Fig. 39) offenbar die Richtungen an, in welchen die Doppellast auf den Keil einwirkt. Es läßt sich daher erwarten, daß die Kraft, welche zur Überwindung der einfachen Last erforderlich ist, zu dieser Last in demselben Verhältnis steht, wie die Höhe jeder der beiden gleichen schiefen Ebenen zur Länge dieser Ebenen (§ 11).

Um die Doppellast im Gleichgewichte zu halten, muß die Kraft doppelt so groß sein. Zu der auf jede Seite des Keiles einwirkenden Last muß sich also die ganze Kraft verhalten, wie die doppelte Höhe der schiefen Ebene sich zur Länge der Ebene verhält, oder mit anderen Worten: wie der Rücken des wirklichen Keiles sich zu einer der beiden Seiten verhält. — Ist der Keil (Fig. 39) ganz eingetrieben, so hat die Kraft den Weg ab zurückgelegt, der Widerstand der Last dagegen ist in seiner eigenen Richtung um die Strecke $ad + cd_1$, also um die Länge des Rückens, überwunden. (Verhältnis der Wege?)

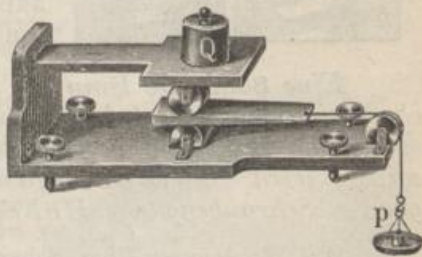
Dies läßt sich nach Anleitung von Fig. 40 (folg. Seite) mit annähernder Genauigkeit bestätigen.

Am **Keile** entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zu der als Seitendruck wirkenden Last verhält, wie der Rücken (r) des Keiles zur Seite (s) desselben. — Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, stehen im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last.

In Zeichen: $P : Q = r : s$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Die Anwendung des Keiles ist eine sehr mannigfaltige. Zahlreiche Werkzeuge, wie Messer, Nadeln, Scheren, Schwerter, Stemmeisen, Meißel, Beile, Spaten u. s. w., überhaupt alle Werkzeuge, welche zum Spalten, Schneiden oder Stechen dienen, bilden Keile. Oft wendet man den Keil auch zur Befestigung von Gegenständen an. Alle Nägel z. B. stellen Keile dar; die Räder der Maschinen werden auf ihren Wellen meist durch Keile befestigt, desgl. Holzapfen zu besserem Anschluß in den zugehörigen Löchern u. s. w. Auch zur Ausübung eines bedeutenden Druckes lassen sich Keile anwenden (Keilpressen).

Fig. 40.



Übungsstoff. 1. In welcher besonderen Weise kommt die schiefe Ebene beim Keile zur Anwendung? — 2. Warum sind Beile, Messer u. dgl. so geschliffen, daß sie ziemlich schmale Keile bilden? — 3. Rasiermesser sind gewöhnlich an einer Seite hohl geschliffen; warum wohl? — 4. Bei welchen Säugetieren tritt die Keilform der Zähne einer bestimmten Zahngruppe ganz besonders hervor? — 5. Inwiefern ist bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles zum Spalten von Holz die Reibung vorteilhaft? — 6. In welcher Beziehung steht nach den Beobachtungen, welche man im täglichen Leben machen kann, die Größe des Keilwinkels zur Kraftersparnis? — 7. Warum darf der Keilwinkel nur bis zu gewissen Grenzen verkleinert werden? — 8. Zum Abhauen von Eisen u. dgl. muß der Keilwinkel im allgemeinen größer genommen werden als zum Spalten von Holz; warum wohl? — 9. Vermittelt einer Keilpresse will man (abgesehen von der Reibung) durch eine auf den Rücken des Keiles wirkende Kr. von 50 kg einen Widerstand von 450 kg überwinden. Wie muß der Keil eingerichtet sein? Verhältnis! — 10. Wie läßt sich aus dem für die schiefe Ebene geltenden Gesetze a. das Verhältnis von Kr. und L., b. das Verhältnis der Wege für den Keil ableiten?

§ 13. Die Schraube.

Fig. 41 stellt die bekannte Einrichtung einer Bücherpresse dar. C ist eine Schraube, durch deren Kopf ein Stab, AB, gesteckt ist, Q der Gegenstand, welcher gepresst werden soll. Durch wiederholtes Umdrehen der Schraube läßt sich ein sehr starker Druck oder auch, wie bei Fig. 42, ein Zug ausüben. Dies erklärt sich daraus, daß die schräg ge-

Fig. 41.

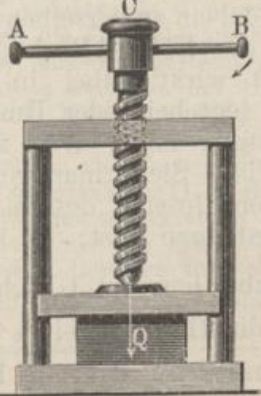
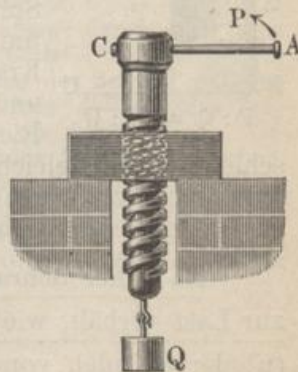


Fig. 42.



richteten Hervorragungen (Windungen), welche sich am Umfange der Schraube befinden, in ebenso gerichtete Vertiefungen des festliegenden Querbalkens eingreifen, sodafs bei der Drehung zugleich eine senkrechte Verschiebung der Schraube erfolgt. Welchen Zweck haben die Querstäbe AB und AC?

Fig. 43.



Fig. 44.



Eine vollständige Schraube besteht aus zwei Teilen: der Schraubenspindel und der Schraubennutter. Bei der Schraubenspindel liegen die Windungen auf der äusseren, bei der Schraubennutter auf der inneren Fläche (Fig. 43 und 44).

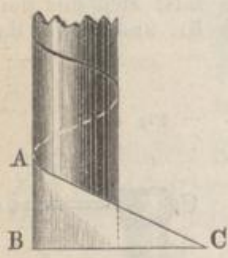
Eine Schraube kann als ein Cylinder angesehen werden, auf welchem ein Gewinde, d. h. eine unter immer gleichem Winkel sich herumwindende Erhöhung angebracht ist. Ein einzelner Umgang des Gewindes wird Schraubengang, der Abstand zweier aufeinander folgenden Schraubengänge Höhe des Schraubenganges genannt.

Die Windungen einer Schraube können scharfgängig (Fig. 43) oder flachgängig sein (Fig. 44). Kraft und Last können sowohl auf die Schraubenspindel, als auf die Schraubennutter einwirken. Im ersteren Falle liegt die Schraubennutter fest, und die Spindel wird um ihre Achse gedreht, wobei diese gleichzeitig eine fortschreitende Bewegung ausführt; im letzteren Falle hat die Spindel eine feste Lage, und die Schraubennutter wird gedreht und verschoben.

Die Erfahrung lehrt: Je enger die Windungen einer Schraube sind, desto weniger Kraft braucht man bei derselben zur Ausübung eines Druckes oder Zuges anzuwenden, desto öfter aber muß man die Schraube umdrehen, um die gleiche Wirkung zu erhalten. — Genauerer ergibt folgende Betrachtung:

Denkt man sich um einen Cylinder (Fig. 45) ein rechtwinkliges

Fig. 45.



$$P : Q = H : U$$

Dreieck als schiefe Ebene gewunden, so stellt die Hypotenuse desselben einen Schraubengang dar, dessen Höhe der Höhe AB der schiefen Ebene (AC) gleich ist. Wäre nun die Windung erhaben und von einer festliegenden Schraubennutter umgeben, so würde durch eine volle Umdrehung der Spindel ein an derselben hängendes Gewicht (vgl. Fig. 42) um die Höhe AB der schiefen Ebene gehoben. Die Kraft wirkt dabei in der Richtung der Basis BC und legt bei jeder Umdrehung der Spindel in dieser Richtung einen Weg zurück, welcher der Basis der schiefen Ebene gleich ist. Sieht man von der Reibung ab, so gelangt man daher zu folgendem Gesetze, dessen Richtigkeit sich ebenfalls durch geeignete Versuche bestätigen läßt:

An einer **Schraube** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) eines Schraubenganges zum Umfange (u) der Spindel, vorausgesetzt, dafs die Kraft am Umfange der Spindel

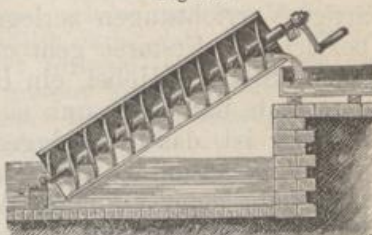
wirkt. — Bei einer Drehung der Schraube verhalten sich die Wege von Kraft und Last umgekehrt zu einander, wie sich Kraft und Last selbst verhalten.

In Zeichen: $P : Q = h : u$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Bem. Die in Fig. 45 dargestellte Schraube nennt man links, die übrigen Schrauben, Fig. 41—44, rechts (wie ein Korkzieher) gewunden.

Wie bei der Schraubenpresse dienen auch die an Schraubstöcken, Hobelbänken, Schraubzwingen, Wagenbremsen u. s. w. angebrachten Schrauben zur Ausübung eines kräftigen Druckes. Mittelst Schrauben (Schraubenwinden) lassen sich ferner bedeutende Lasten heben, z. B. gesunkene Häuser wieder in die richtige Lage bringen. Auch zur Fortbewegung von Dampfschiffen (siehe Fig. 57), zum Richten großer Geschütze, zum genauen Einstellen von Mikroskopen u. dgl. werden Schrauben angewandt. In unzähligen Fällen bedient man sich der Schrauben zur Befestigung von Gegenständen (Schrauben mit eingeschnittenem Kopfe). Eine schraubenartige Vorrichtung, welche dazu dient, Wasser auf geringe Höhen zu fördern, ist die sogen. Wasserschraube (Fig. 46), deren Schraubenflächen mit einem cylindrischen Mantel umgeben sind. In schräger Lage schöpft dieselbe bei jeder Umdrehung unten Wasser, das dann immer höher steigt und oben wieder abfließt. (Die älteste derartige Vorrichtung ist die Archimedische Wasserschnecke, eine schraubenförmig gewundene Röhre.)

Fig. 46.



Übungstoff. 1. Vgl. die beiden schiefen Ebenen miteinander, welche am Keile und an einer vollständigen Schraube vorkommen, hinsichtlich a. ihrer gegenseitigen Lage, b. ihres Verhaltens beim Gebrauche dieser Werkzeuge. — 2. Nenne mit Schrauben versehene Werkzeuge, Instrumente u. s. w., bei denen a. die Spindel gedreht wird und die Schraubenmutter festliegt, b. das Umgekehrte stattfindet. — 3. Die Schrauben zweier Bücherpressen seien gleichdick, das Gewinde der einen aber sei enger als das der anderen. Durch welche läßt sich der stärkere Druck ausüben, u. w.? — 4. Welcher mech. N. ist damit verbunden? — 5. Durch die Umdrehungen einer Schraube soll eine gleichmäßige und sehr langsame geradlinige Bewegung hervorgerufen werden (Drehbank, Mikroskop u. s. w.). Wie muß die Schraube eingerichtet sein? — 6. Wv. Kr. muß man anwenden, um mittelst einer Schraube einen Widerstand von 750 kg zu überwinden, wenn die Höhe des Schraubenganges 5 mm und der Umfang der Spindel 8 cm betrage? (Als rechth. Dreieck zu zeichnen.) — 7. Wievielmals so groß ist in diesem Falle der Weg, welchen die Kr. zurücklegt, als die Strecke, auf welcher die L. überwunden wird? — 8. Wie würde sich die Wirkung ändern, wenn die Kr. nicht am Umfange der Spindel, sondern an einem quer durch den Kopf derselben gesteckten Stabe (Fig. 41 und 42) angriffe und der Angriffspunkt 5 mal so weit von der Achse der Spindel entfernt wäre als der Umfang derselben? — 9. Welchen Einfluß würde dies auf das Verhältnis der Wege ausüben? — 10. Wie läßt sich bei einer Schraube aus den Strecken, welche sich aus der drehenden und fortschreitenden Bewegung ergeben, das Verhältnis zwischen Kr. und L. ableiten? — 11. Welches sind die beiden einfachen Maschinen, auf die sich alle übrigen zurückführen lassen? — 12. Je nachdem bei der Anwendung der einfachen Maschinen nur eine Drehung oder eine Gleitung oder beides zugleich erfolgt, lassen sich dieselben in drei Gruppen teilen; welche Maschinen gehören zu jeder dieser Gruppen?

§ 14. Maschine. Goldene Regel der Mechanik.¹⁾ Die bisher betrachteten einfachen Vorrichtungen, deren man sich zur Überwindung von Widerständen bedient, nämlich der Hebel, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube, haben den Zweck, zu vermitteln, daß die Wirkung einer Kraft günstiger ausfalle, als wenn letztere unmittelbar auf die Last einwirkt. So gestattet der gleicharmige Hebel und die feste Rolle eine vorteilhafte Änderung der Krafrichtung, während durch die übrigen Vorrichtungen an Kraft oder an Geschwindigkeit gewonnen wird.

Jede Vorrichtung, welche dazu dient, eine Kraft in vorteilhafter Weise auf eine Last wirken zu lassen, wird Maschine genannt.

Die genannten sechs Maschinen lassen sich nicht wieder in maschinenartige Vorrichtungen zerlegen und werden daher als **einfache Maschinen** bezeichnet. Ersteres geht ohne weiteres daraus hervor, daß ein unbiegsamer Stab als Hebel, ein Brett als schiefe Ebene benutzt werden kann; den Stab hat man nur so zu unterstützen, daß er um einen Punkt drehbar ist, das Brett dagegen in eine schräge Lage zu bringen. Rollen und Wellrad sind, wie wir gesehen haben, nichts anderes als Hebel, welche in eigentümlicher Weise zur Anwendung kommen, während Keil und Schraube besondere Arten der schiefen Ebene sind. Nehmen wir darauf Rücksicht, in welcher Weise mit Hülfe der einfachen Maschinen ein Widerstand überwunden wird, so ergibt sich, daß Hebel, Rolle, Wellrad und Schraube bei ihrer Anwendung gedreht werden, der Keil hingegen sich bei seinem Gebrauche geradlinig fortbewegt, die schiefe Ebene endlich ihre Lage unverändert beibehält. Während ferner die beiden, den Keil zusammensetzenden schiefen Ebenen fest miteinander verbunden sind, gleitet bei einer vollständigen Schraube die eine der beiden schiefen Ebenen auf der anderen fort.

Alle zusammengesetzten Maschinen enthalten als Hauptbestandteile einfache Maschinen, auf deren Wirkung die aller Teile der zusammengesetzten zurückgeführt werden soll.

Bei der Betrachtung der sechs einfachen Maschinen wurde für jede einzelne derselben nachgewiesen, daß die Wege, welche Kraft und Last bei der Überwindung des Widerstandes in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, sich stets umgekehrt wie Kraft und Last verhalten, daß also der Kraftweg 2-, 3-, 4... mal so groß ist als der Lastweg, wenn die Kraft nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... der Last beträgt. — Zwar scheint die ihre Lage nicht verändernde schiefe Ebene hiervon eine Ausnahme zu machen, da bei ihr, wenn die Kraft z. B. parallel zur Ebene wirkt, der Kraftweg demjenigen Wege immer gleich ist, welchen der auf ihr fortbewegte Körper in Wirklichkeit zurücklegt. Berücksichtigt man jedoch, in welcher Richtung der bewegte Körper vermöge der Schwere bei direkter Einwirkung der Kraft einen Widerstand leistet, und in welcher Richtung die Kraft diesen Widerstand bei Anwendung der Maschine überwindet, so überzeugt man sich leicht, daß als die eigentlichen Last- und Kraft-

¹⁾ μηχανή (mechané), Werkzeug.

wege diejenigen Strecken aufzufassen sind, welche Last und Kraft in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. In diesem Sinne aber ist bei der schiefen Ebene die Höhe, um welche die Last gehoben wird, als Lastweg zu bezeichnen. Für alle Maschinen gilt demnach auch der Satz:

Was bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, geht am Wege verloren, oder: der mechanische Vorteil ist stets gleich dem mechanischen Nachteile. (Goldene Regel der Mechanik. *)

Es könnte hiernach scheinen, als ob der Gebrauch der einfachen Maschinen keinen praktischen Nutzen gewährte, zumal auch noch Reibungshindernisse zu überwinden sind und also eigentlich sogar mehr Arbeit aufzuwenden ist, als schliesslich geleistet wird. Die Erfahrung lehrt jedoch, dass ohne Maschinen sehr häufig die zur Verfügung stehenden Kräfte gar nicht ausreichen würden, gewisse Lasten zu bewegen. Der wirkliche Nutzen besteht also wesentlich darin, dass die Maschinen es ermöglichen, kleinere Kräfte auf längere Zeit wirksam zu machen, um dadurch Leistungen zu erzielen, zu denen sonst viel grössere Kräfte erforderlich sein würden. Ausserdem gewährt die Anwendung einfacher Maschinen meist noch den Vorteil, dass man die Kraft in einer bequemeren Richtung wirken lassen kann.

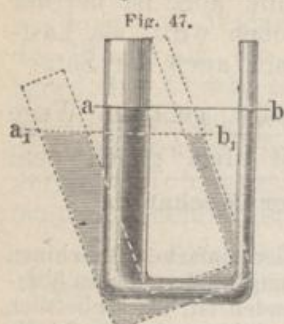
Übungsstoff. 1. In welchem Falle bewegt sich der Angriffspunkt der L. beim Heben des Steines (Fig. 13 und 14) in der Krafrichtung selbst und in welchem Falle entgegengesetzt? — 2. Vgl. die Strecken miteinander, um welche der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt ist, wenn ein Stab einmal als einarmiger, ein andermal als zweiarmiger Hebel gebraucht wird, in beiden Fällen aber der mech. V. derselbe ist. — 3. Wie weit ist bei Anwendung a. einer festen, b. einer losen Rolle der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt? — 4. Vgl. die Richtungen miteinander, in denen Kr. und L. sich dabei bewegen, wenn die Seilteile parallel sind. — 5. Wodurch unterscheiden sich bei einem mit Kurbel versehenen Wellrade die Wege, welche Kr. und L. zurücklegen, hinsichtlich a. ihrer Gestalt, b. ihrer Länge? — 6. Welche Wege hat man bei einer schiefen Ebene miteinander zu vergleichen, wenn die goldene Regel der Mechanik darauf Anwendung finden soll? — 7. Inwiefern kann man sagen, dass bei der schiefen Ebene die Kr. in veränderter Richtung wirkt? — 8. Ein Keil werde von oben in einen Klotz eingetrieben. In welcher Richtung werden dabei durch die senkrecht wirkende Kr. die Widerstände überwunden? — 9. Welche Lage haben die Richtungen, in denen die Widerstände überwunden werden, gegen die Richtung der Kr.? — 10. Vgl. die Wege, welche Kr. und L. bei einer Schraube zurücklegen, miteinander in Bezug a. auf ihre Gestalt, b. auf ihre Länge.

B. Von den flüssigen Körpern.

§ 15. Freie Oberflächen. Leitend verbundene (kommunizierende) Gefässe. Die Erscheinung, dass eine in Ruhe befindliche Flüssigkeit bei jeder beliebigen Stellung ihres Gefässes eine Horizontalebene bildet (§ 1), ändert sich nach allbekannten Erfahrungen nicht, wenn man die Flüssigkeit etwa durch Eintauchen eines festen Körpers so trennt, dass die Teile noch an irgend einer Stelle zusammenhängen. Werden Gefässe, welche aus mehreren in offener Verbindung stehenden Teilen bestehen (Giefskannen, Kaffeetöpfe u. dgl.), mit einer Flüssigkeit gefüllt, so steigt die Flüssigkeit auch im Ausflussrohre, und zwar bei jeder Stellung des Gefässes augenscheinlich

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 60.

bis zu gleicher Höhe (* Versuch mit einem Glasgefäße nach Fig. 47).



Zusammengesetzte Gefäße, deren Teile so miteinander verbunden sind, daß die darin enthaltene Flüssigkeit ungehindert aus einem Teile in den anderen fließen kann, werden leitend verbundene oder kommunizierende¹⁾ Gefäße genannt.

Über den Stand der Flüssigkeiten in leitend verbundenen Gefäßen giebt die Kanalwage (Fig. 48) den genauesten Aufschluß. Sie besteht aus einer etwa 1 m langen und 3—4 cm weiten Messingröhre, welche an jedem Ende eine kurze, senkrechte

Fig. 48.



Glasröhre trägt, und dient zum Nivellieren, d. h. zur Ermittlung von Höhenunterschieden behufs Herstellung von Wassergräben, Röhrenanlagen zur Entwässerung von Ackerland u. dergl. Zum Gebrauche wird das Instrument mit

Wasser gefüllt, an dessen Rändern man vor- und rückwärts vorbeisieht.

In leitend verbundenen (kommunizierenden) Gefäßen liegen die freien Oberflächen einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit in derselben Horizontalebene.

Bem. Nur bei ganz engen Röhren findet eine Abweichung statt, von der später die Rede ist (§ 54).

Weitere Anwendung leitend verbundener Gefäße.

Wasserstandsgläser: An Wasserbehältern mit undurchsichtigen Wänden, bei denen es wichtig ist, den Stand der Flüssigkeit zu kennen (z. B. Dampfkessel der Dampfmaschinen), werden außen senkrecht stehende Glasröhren angebracht, welche so befestigt sind, daß sie an beiden Enden mit dem Innenraume des Gefäßes in offener Verbindung stehen.

Springbrunnen: Ist der eine der beiden Schenkel zweier mit Wasser gefüllten kommunizierenden Röhren bedeutend kürzer als der andere und oben mit einer engen Mündung versehen, so entsteht ein Springbrunnen.

Wasserleitungen: Aus Teichen, Seen oder Behältern, welche in sogen. Wassertürmen aufgestellt sind, läßt sich das Wasser durch Röhren bis in die obersten Stockwerke der Häuser leiten, wo es mit um so größerem Drucke ausfließt, je höher der Wasserspiegel über der Ausflusmündung liegt.

¹⁾ communicare, mitteilen, in Verbindung stehen, zusammenhängen.

Artesische Brunnen: Wo der Erdboden ausgedehnte, geneigte oder muldenförmige Schichten von Geröll, Kies oder dergl. (Fig. 49) enthält, welche beiderseits von dichtem Thon oder Mergel eingeschlossen sind und irgendwo zutage treten, können durch Einsickern der atmosphärischen Niederschläge unterirdische Wasserbecken entstehen. Wird nun beim Bohren eines Brunnens eine solche Schicht getroffen, so steigt das Wasser im Bohrloche hinauf. Je nach der Höhe des Wasserstandes in der durchlassenden Schicht entstehen auf diese Weise gewöhnliche Brunnen oder Springbrunnen, welche oft bedeutende Mengen Wasser liefern. — Die artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Grafschaft Artois (spr. Artoa) in Frankreich, wo sie schon in früherer Zeit häufig angelegt worden sind.

Fig. 49.



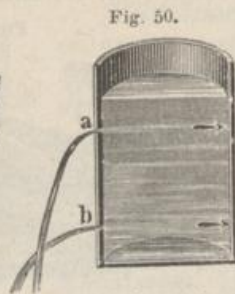
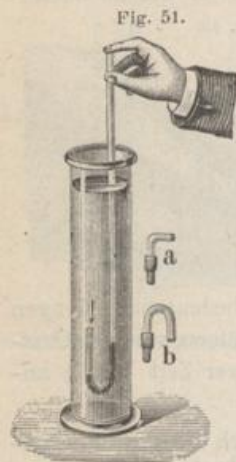
Durch das Gesetz der kommunizierenden Gefäße erklärt sich auch die Erscheinung, daß das Grundwasser mit dem Steigen und Fallen benachbarter Flüsse steigt und fällt.

Übungsstoff. 1. Im Innern des wagerechten Teiles einer zum praktischen Gebrauch eingerichteten Kanalwage befindet sich nahe am Ende eine Querwand mit kleiner Öffnung. Einfluß auf die Schnelligkeit, mit welcher das W. bei schräger Haltung der Röhre seinen Stand ändert? (Vorteil beim Transport!) — 2. Kann es beim Gebrauche der Kanalwage auf die Richtigkeit des Verfahrens einen Einfluß ausüben, ob die Verbindungsröhre wagerecht oder ein wenig schräg steht? Grund! — 3. Mittelst einer Kanalwage sei die Lage zweier Punkte, A und B (Fig. 48), bestimmt. Um wv. liegt der eine höher als der andere, wenn nach den Ablesungen an der Nivellierlatte A 76 cm, B 130 cm unter der Visierlinie liegt? — 4. Warum muß auch das obere Ende einer Wasserstandsröhre mit dem Innenraume des Behälters in offener Verbindung stehen? (Vgl. § 123.) — 5. Wie läßt sich aus einem Trichter, einem Gummischlauche und einer zugespitzten Glasröhre ein kleiner Springbrunnen herstellen? — 6. Wie verhält sich die Höhe, welche der Strahl eines Springbrunnens erreicht, zu der Höhe des Wasserstandes im Behälter? Erkläre dies. — 7. Wovon hängt die Höhe des Wasserstrahles eines artesischen Brunnens wesentlich ab, und warum können in ebenen Gegenden keine artesischen Brunnen vorkommen, welche Springbrunnen bilden? — 8. Inwiefern können Erdschichten wie die oben abgebildete beim Bergbau (etwa bei Anlage eines Stollens) sehr störend werden? — 9. Inwiefern ist bei der Anlage von Wasserleitungen das Gesetz der kommunizierenden Gefäße zu berücksichtigen? — 10. Können Wasserleitungen auch über Anhöhen gelegt werden, und unter welcher Bedingung? — 11. Bei Hochwasser macht sich das Gesetz über leitend verbundene Gefäße oft in sehr unangenehmer Weise geltend; inwiefern? — 12. Worin mag es seinen Grund haben, daß diese Ersch. bei schnellem Steigen des Hochwassers gewöhnlich etwas später eintritt und bei schnellem Fallen desselben erst allmählich wieder verschwindet?

§ 16. Allseitiger Druck der Flüssigkeiten.)* Wird ein Gefäß, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, an irgend einer Stelle leck, so sickert oder fließt die Flüssigkeit um so stärker aus, je tiefer die schadhafte Stelle unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Lockert man an gefüllten Regenfassern oder dergl. den Stöpsel und läßt ihn dann los, so wird er vom ausströmenden Wasser um so weiter fortgeschleudert, je höher das Wasser im Gefäße steht (Fig. 50, folg. Seite).

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 79.

Wie wirkt hiernach eine Flüssigkeit auf Boden und Wand des Gefäßes? — Was wird eintreten, wenn Kähne oder Schiffe im Wasser leck werden, und was läßt sich daraus schliessen?



* Versuch. Taucht man eine Uförmig gebogene Glasröhre, welche etwas (gefärbtes) Wasser enthält, in Wasser ein, indem man die Öffnung des langen Schenkels der Röhre mit dem Finger fest verschließt (Fig. 51), so sinkt die Flüssigkeit im kurzen Schenkel und zeigt dadurch einen Druck an. Dasselbe erfolgt auch, wenn man auf den kurzen Schenkel einmal eine kurze knieförmig gebogene (a), ein andermal eine Uförmig gebogene Glasröhre (b) befestigt. In gleichen Tiefen ist der Abstand der beiden Flüssigkeitsoberflächen in der Regel an allen Punkten derselbe. Derartige Versuche lehren:

Flüssigkeiten üben sowohl auf die Gefäßwände als auch in ihrem Innern (auf die Flüssigkeitsteilchen selbst) nach allen Richtungen einen Druck aus, der mit der Tiefe zunimmt und in gleichen Tiefen an allen Punkten derselbe ist, welche Gestalt das Gefäß auch haben mag.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen große Fässer, Bottiche u. dgl., tiefliegende Röhren von Wasserleitungen, ferner Deiche und Schleusenthore, sowie die Wände der Schiffe (namentlich die Böden derselben) sehr stark sein. — Gegenstände, welche auf dem Grunde des Meeres liegen, haben bei großer Tiefe einen bedeutenden Druck auszuhalten. Fische und andere Meeresbewohner empfinden diesen Druck nicht, da derselbe durch einen gleichen Gegendruck von innen aufgehoben wird.

Sind mit Flüssigkeit gefüllte Gefäße um eine senkrechte Achse drehbar, so kann das seitliche Ausfließen der Flüssigkeit eine Drehung des Gefäßes zur Folge haben (Probiergläschen mit kleiner seitlicher Öffnung, Fig. 52; Segnersches Wasserrad, Fig. 53, folg. Seite). Die Drehungsrichtung ist dabei der Ausflussrichtung des Strahles entgegengesetzt. (* Versuch nach Fig. 52.)



Die Ursache dieser Erscheinung ist der Seitendruck des Wassers. Da das Wasser in derselben Tiefe auf alle Punkte der Gefäßwand einen gleichen Druck ausübt, so heben sich an je zwei gerade entgegengesetzten Punkten die Druckkräfte auf, d. h. keine von beiden Kräften kann, solange diese zusammen wirken, das Gefäß in Bewegung setzen. Sobald aber der Druck an einer Stelle aufgehoben wird, muß durch den gerade entgegengesetzten Druck, und zwar in der Richtung desselben, eine Bewegung erfolgen: **Rückwirkung** oder **Reaktion**. (Die

Drehung kann offenbar nur dann eintreten, wenn die Richtung des Strahles nicht genau durch die senkrechte Achse hindurchgeht.)

Anwendung des Wasserdruckes.

Räder, welche durch Rückwirkung des Wassers in Bewegung gesetzt werden, heißen **Reaktionsräder** oder **Reaktionsturbinen**. Eine sehr einfache Vorrichtung dieser Art ist das sogen. **Segnersche Wasserrad** (Fig. 53). Es besteht aus

einem aufrechten, hohlen Cylinder, welcher sich um seine Achse drehen kann und unten zwei oder mehrere quer gerichtete, ebenfalls hohle Arme trägt. Jeder Arm hat eine seitliche Öffnung. Wird von oben Wasser hineingeleitet, so fließt es unten in Strahlen aus, und der Cylinder dreht sich durch Rückwirkung des Wassers. Reaktionsräder, bei denen zur Verminderung der Reibung das Wasser von unten in den Cylinder geleitet wird, werden unter dem Namen **Reaktionsturbinen** im großen angewandt.

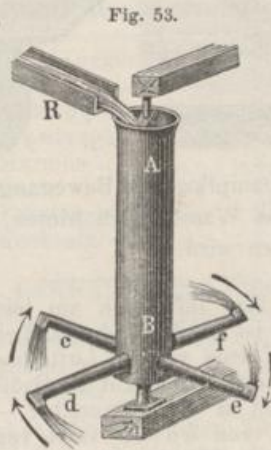


Fig. 53.

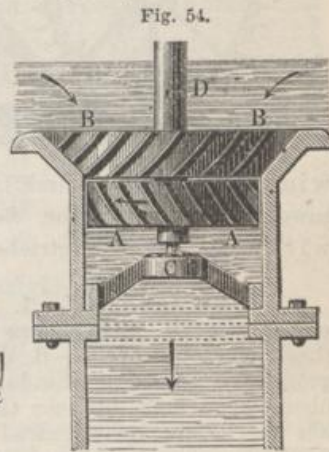


Fig. 54.

Von den Reaktionsrädern unterscheiden sich die **eigentlichen Turbinen**¹⁾ oder **horizontalen Wasserräder** (Fig. 54). Bei diesen wird das Wasser zunächst in einen weiten, trichterförmigen (oder auch cylindrischen) Raum geleitet, welcher durch feststehende, gekrümmte Eisenplatten, **Leitschaufeln** (BB), in zahlreiche Zellen abgeteilt ist. Dadurch wird die Richtung des Wassers derart geändert, daß es einen kräftigen Druck gegen die Schaufeln eines horizontalen Rades (Rad schaufeln, AA) ausübt, sodaß dieses sich dreht. Bei den eigentlichen Turbinen erfolgt demnach die Umdrehung des Wasserrades nicht durch Rückwirkung, sondern durch den Druck herabfallenden Wassers.

Gewöhnlich läßt man das Wasser auf **senkrecht stehende Räder** einwirken und zwar so, daß es von oben in die Schaufeln des Rades fällt (Fig. 55) und durch den Stofs, besonders aber durch sein Gewicht, das Rad dreht (**oberschlägige** oder **oberschlächtige Räder**), oder so, daß es vor der Achse des Rades auf die Schaufeln desselben fällt (**mittelschlägige** oder **mittelschlächtige Räder**), oder aber in der Weise, daß es mit großer Geschwindigkeit unter dem Rade hindurchfließt (Fig. 56, folg. Seite) und durch einen kräftigen Stofs das Rad in Bewegung setzt (**unterschlägige** oder **unterschlächtige Räder**).

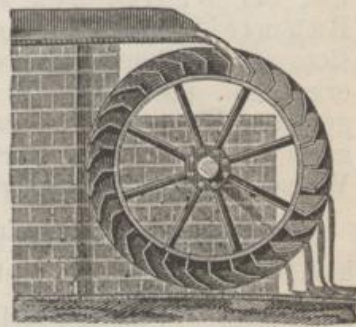


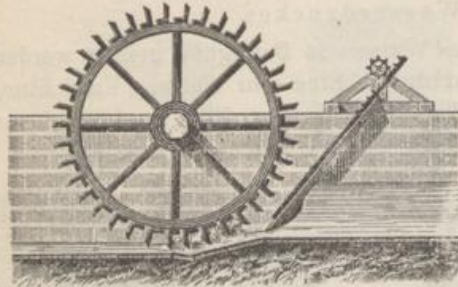
Fig. 55.

Bei den **Rädern** und **Schrauben der Dampfschiffe** ist die Wirkung umgekehrt wie bei

¹⁾ turbo, Wirbel, Kreisel.

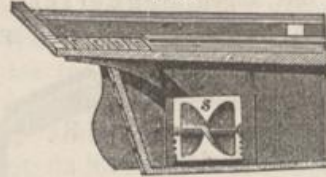
den vorher genannten Wasserrädern, und zwar ist bei den Raddampfern an jeder Seite des Schiffes auf einer quer liegenden Achse ein Schaufelrad befestigt, während

Fig. 56.



bei den Schraubendampfern eine mit mehreren Flügeln versehene Schraube hinten unter dem Schiffe (s. Fig. 57) auf einer Längsachse befestigt ist. (Die Flügel von

Fig. 57.



Schiffsschrauben, wie sie gegenwärtig gebaut werden, stellen Teile von Schrauben-

windungen dar.) Durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt, werfen beide, die Räder sowohl als die Schraube, das Wasser nach hinten, sodafs das Schiff durch Rückwirkung vorwärts getrieben wird.

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich am leichtesten entdecken, ob ein Fafs undicht ist? — 2. Inwiefern ist die Lage der undichten Stellen hierbei von Einfluss? (Leck eines Schiffes.) — 3. Warum werden Luftblasen beim Aufsteigen im W. immer gröfser? — 4. Welchen Einfluss müfste es auf die Gröfse eines hohlen Gummiballes ausüben, wenn man ihn sehr tief in W. eintauchte? — 5. Warum ist es vorteilhafter, das W. in ein Reaktionsrad von unten statt von oben eintreten zu lassen? — 6. Welche Lage nehmen nach Fig. 54 die Leitschaufeln der Turbinen gegen die Radschaufeln ein, u. w.? — 7. Inwiefern sind die Ursachen der Drehung bei den unter- und überschlägigen Wasserrädern verschieden? — 8. Bei überschlägigen Wasserrädern werden Kastenschaufeln statt flacher Schaufeln angewandt; w.? — 9. Warum kann bei einem unterschlägigen Rade das W. hinter dem Rade nicht dieselbe Geschw. haben wie vor demselben? — 10. Inwiefern läfst sich aus der Abnahme der Geschw. schliessen, ob die Wasserkraft mehr oder weniger ausgenutzt ist? — 11. Die Wasserräder der in Gebirgsthälern angelegten und durch das W. der Gebirgsbäche getriebenen Schneidemühlen sind stets überschlägig; warum wohl? — 12. Müssen die Räder von Dampfschiffen flache Schaufeln oder Kastenschaufeln besitzen, u. w.? — 13. Mufs die Schiffsschraube mit der vorderen oder hinteren Fläche ihrer Windungen einen Druck gegen das W. ausüben a. beim Vorwärts-, b. beim Rückwärtsfahren?

§ 17. Das spezifische Gewicht der festen und flüssigen Körper. *) Vergleichen wir die Körper miteinander hinsichtlich der Gröfse des senkrechten Druckes, welchen gleiche Raunteile vermöge der Schwere auf ihre Unterlage ausüben, so geben sich schon ohne Anwendung einer Wage auffällige Unterschiede zu erkennen. (Beispiele: Blei und Kork, Quecksilber und Wasser.) Nach genauen Wägungen ist das Gewicht von 1 cm Blei beinahe 50 mal so grofs als von 1 cm Kork und über 11 mal so grofs als von 1 cm Wasser; Quecksilber wiegt noch mehr. Es gilt überhaupt der Satz:

Bei gleichem Rauminhalte haben die Körper je nach der Beschaffenheit des Stoffes, aus welchem sie bestehen, ganz verschiedene, aber bestimmte Gewichte, welche den Stoffen eigentümlich sind.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 83.

Das einem Körper eigentümliche Gewicht, d. h. das Gewicht der in 1 ccm enthaltenen Masse in Grammen wird sein spezifisches Gewicht (Eigengewicht) genannt.

Da 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so kann man auch sagen: Das spec. Gewicht eines Körpers ist die Zahl, welche angiebt, wievielmal so groß das absolute Gewicht des Körpers ist als das eines gleichen Raunteiles Wasser.

a. Spec. Gewicht einiger festen Körper.

| | | | | | |
|------------------------------|------|---------------------------|------|-------------------------------|------|
| Platin, gemünzt | 21,7 | Eisen, gegossen | 7,2 | Schwefel | 2,00 |
| Gold, „ | 19,3 | Zinn, „ | 7,3 | Wachs, ungefähr | 0,97 |
| Blei, gegossen | 11,4 | Zink, gewalzt | 7,2 | Kautschuk | 0,93 |
| Silber, gehämmert | 10,5 | Schwerspat | 4,4 | Eis | 0,92 |
| Kupfer, „ | 8,9 | Marmor | 2,84 | Eichenholz, trocken | 1,17 |
| Messing, gegossen | 8,4 | Quarz | 2,65 | Buchenholz, „ | 0,60 |
| Nickel, „ | 8,3 | Fensterglas | 2,64 | Pappelholz, „ | 0,36 |
| Eisen, geschmiedet | 7,8 | Kochsalz | 2,10 | Kork | 0,24 |

b. Spec. Gewicht einiger Flüssigkeiten.

| | | | | | |
|------------------------------|------|---------------------------|------|---------------------|------|
| Wasser | 1,00 | Salzsäure | 1,21 | Leinöl | 0,95 |
| Quecksilber | 13,6 | Milch, ungefähr | 1,03 | Petroleum | 0,89 |
| Schwefelsäure, konz. | 1,85 | Seewasser | 1,03 | Weingeist | 0,79 |

In einer Flüssigkeit sinken alle diejenigen Körper unter, deren spec. Gewicht größer ist als das der Flüssigkeit; diejenigen, deren spec. Gewicht kleiner ist, schwimmen auf derselben und steigen, wenn sie untergetaucht und dann sich selbst überlassen werden, darin auf. Vergleiche in dieser Beziehung einige der angeführten Körper mit Wasser und berücksichtige die eigene Erfahrung.

Übungsstoff. 1. Wv. wiegt a. 1 ccm, b. 1 cdm der in der Tabelle angegebenen K.? — 2. Ein Gefäß enthalte W., ein anderes die gleiche Raummenge Qu. Welche auffällige Ersch. wird sich beim Aufheben der Gefäße zeigen? — 3. Inwiefern hat man bei der Wahl der Gefäße zur Aufbewahrung größerer Mengen Qu. auf das hohe spec. Gew. desselben Rücksicht zu nehmen? — 4. Nenne K., welche a. in Qu. untersinken, b. auf Qu. schwimmen. — 5. Nenne nichtmetallische K., welche in Weingeist untersinken, in W. dagegen nicht. — 6. Ferner solche, die auf beiden Flgkn. schwimmen. — 7. Eine Uförmig gebogene Röhre enthalte in dem einen Schenkel Qu., im andern W. In welchem Schenkel wird die Flgk. am höchsten stehen, u. w.? — 8. Ein Stück Blei wiege 11,4 kg; wv. W. wird durch dasselbe beim Untertauchen verdrängt? — 9. Wv. W. wird von 1 kg Blei, Kupfer, Schmiedeeisen oder Marmor beim Untertauchen verdrängt? — 10. Wv. aber von 1 kg Wachs, Kautschuk, Eis oder Kork, wenn diese K. untergetaucht werden? — 11. Wie erklärt es sich, daß Schmiedeeisen ein höheres spec. Gew. hat als Gufseisen? — 12. Welchen Einfluss übt somit nach der Tabelle die Bearbeitung der Metalle auf das spec. Gew. aus? Erkl.! — 13. Ordne die in der Tabelle angeführten festen K. nach ihrem spec. Gew. in Gruppen!

C. Von den luftförmigen Körpern.

§ 18. a. Allseitiger Druck der Luft.*) Stechheber. Da die Luft wie alle Körper der Erde schwer ist und mit den Flüssigkeiten die Eigenschaft gemein hat, daß ihre Teile sehr leicht verschiebbar sind, so läßt sich erwarten, daß ein in der Luft befindlicher Körper

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84.

durch die ihn umgebende Luft von allen Seiten einen Druck erleidet, wie ein in Wasser untergetauchter Körper einem allseitigen Drucke des Wassers ausgesetzt ist. Dies wird durch gewisse Erscheinungen bestätigt.

Fig. 58.



Versuch a. Aus einem ganz mit Wasser gefüllten und darauf mit einem Blatte Papier überdeckten Trinkglase (Fig. 58) fließt das Wasser nicht aus, wenn man das Glas umkehrt und das Blatt während des Umkehrens mit der flachen Hand festhält oder mit einem Teller bedeckt.

Fig. 59.



Fig. 60.



Noch auffälliger ist die Erscheinung, dafs eine Flüssigkeit aus einem Gefäße ohne Boden nicht ausfließt, wenn das Gefäß oben verschlossen und die untere Mündung desselben ziemlich eng ist. Diese Erscheinung entsteht beim Gebrauche des **Stechhebers**, einem *Gefäße aus Glas oder Blech, welches an seinem oberen Ende zum bequemen Verschlufs halsförmig verengt ist und unten in eine Spitze ausläuft* (Fig. 59). Man bedient sich desselben im täglichen Leben, um aus Fässern eine Probe der darin enthaltenen Flüssigkeit durch den Spund herauszuheben.

Versuch b. Wird ein Stechheber in Wasser getaucht, so bleibt er gefüllt, wenn man beim Herausziehen des Hebers die obere Mündung desselben mit dem Daumen verschließt. Das Wasser fließt aus, sobald man den Daumen entfernt. — Wie läßt sich mit einem Stechheber, an dessen unterem Ende ein Gummischlauch befestigt ist, oder mit 2 durch einen Gummischlauch verbundenen Glasröhren (Fig. 60) nachweisen, dafs die Luft nach allen Richtungen

einen Druck ausübt?

Stechheber, welche aus geraden, in ihrer Mitte kugelig oder cylindrisch erweiterten Glasröhren bestehen, werden **Pipetten** genannt. Zum Füllen des erweiterten Teiles solcher Röhren wird durch Ansaugen mit dem Munde Luft aus denselben entfernt.

Die Beobachtungen lehren:

Die Luft übt vermöge ihrer Schwere nach allen Seiten einen gleichstarken Druck aus.

Dafs die Luft einen Druck ausübt, weiß man erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts; bis dahin suchte man die auf dem Luftdrucke beruhenden Erscheinungen in anderer Weise zu erklären. — Wenn vom Luftdrucke schlechthin die Rede ist, so ist stets der Druck der Atmosphäre¹⁾, d. h. der die Erde umgebenden Lufthülle, gemeint.

Auf dem Drucke der Luft beruhen aufser den angeführten noch zahlreiche andere bekannte Erscheinungen: Spärliches Ausfließen beim Abzapfen von Wein, Bier u. dgl., wenn der Spund der Fässer nicht geöffnet ist, beim Ausgießen von Kaffee, Thee u. dgl., wenn der (nicht durchbohrte)

¹⁾ ατμός (atmos), Dunst; σφαίρα (sphaira), Kugel.

Deckel den Kannen dicht anliegt, oder beim Öffnen eines rohen Eies, wenn nur an einem Ende eine kleine Öffnung hergestellt ist, ferner beim Umkehren der Ölpipetten z. B. für Nähmaschinen, wenn kein Druck auf den Boden ausgeübt wird; Aufsteigen des Tabaksrauches in Pfeifen beim Gebrauche derselben u. s. w.

b. Spannkraft eingeschlossener Luft. *) Da luftförmige Körper sich nach allen Richtungen auszudehnen streben (§ 1), so erleiden die Wände der Gefäße, in denen ein luftförmiger Körper enthalten ist, aufser dem Drucke, welchen die freie Luft von aussen auf sie ausübt, auch von innen überall einen Druck. Dies giebt sich offenbar am leichtesten zu erkennen, wenn die Wand des Gefäßes dem Drucke nachgiebt. So dehnen sich z. B. Gummiblasen (Luftballons der Kinder) nach allen Seiten aus, wenn sie mit Leuchtgas gefüllt werden, desgl. Seifenblasen, wenn man mehr Luft in sie hineinbläst, oder die Luft aus ihrer Umgebung entfernt wird (Ansaugen einer Flasche, in welcher derartige Blasen enthalten sind). Bekannte Erscheinungen, wie das Fortfliegen des Pfropfens einer Knallbüchse beim schnellen Hineinschieben des Stempels, sowie das Zurückschnellen desselben, welches jedesmal eintritt, wenn der Stempel rasch aufgezogen und dann losgelassen wird, lehren ferner, dafs dieser Druck von der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft abhängt, d. h. zunimmt, wenn der Raum, den die Luft ausfüllt, verkleinert, hingegen abnimmt, wenn er vergrößert wird.

Eingeschlossene luftförmige Körper üben infolge ihrer Ausdehnbarkeit einen allseitigen Druck aus; derselbe nimmt mit der Verkleinerung des Raumes zu, mit der Vergrößerung desselben ab.

*Der Druck, welchen luftförmige Körper infolge ihrer Ausdehnbarkeit ausüben, wird Spannung genannt; die Kraft, mit der sie sich auszudehnen streben, bezeichnet man als **Expansivkraft** ¹⁾ oder **Spannkraft**.*

Strömt ein luftförmiger Körper aus einem beweglichen Gefäße mit genügender Kraft aus, so wird dieses durch Rückwirkung (Reaktionsdruck) nach rückwärts getrieben (vgl. § 16). Raketen z. B. steigen, da die Pulvergase heftig nach unten ausströmen, durch die Rückwirkung mit großer Geschwindigkeit nach oben.

Übungsstoff. 1. Erkläre den Gebrauch der Pipetten. — 2. Desgl. die Ersch. des folg. Versuches: Füllt man eine ziemlich lange, Uförmig gebogene Glasröhre (Fig. 61) etwa zur Hälfte mit gefärbtem W. und entfernt dann aus dem einen Schenkel durch Ansaugen einen Teil der Luft, so sinkt das W. im anderen, verschlossenen Schenkel; bläst man dagegen kräftig Luft hinein, so steigt es in demselben. Wird nach dem Ansaugen wie nach dem Hineinblasen der bis dahin mit dem Finger verschlossene Schenkel geöffnet, so findet im ersteren Falle ein noch stärkeres Sinken, im letzteren ein noch stärkeres Steigen der Flgk. statt. — 3. Wie ist es zu erklären, a. dafs eine in W. getauchte Handspritze beim Zurückziehen des Stempels sich mit W. füllt, b. dafs aus einer Knallbüchse der Pfropfen beim Hineinschieben des Stempels fortfliegt? — 4. Wie muß man verfahren, wenn der

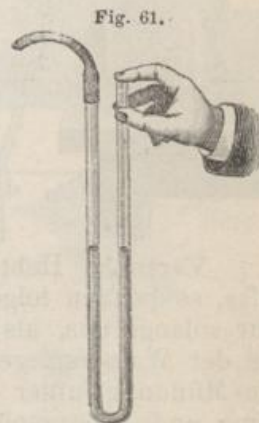


Fig. 61.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 85.

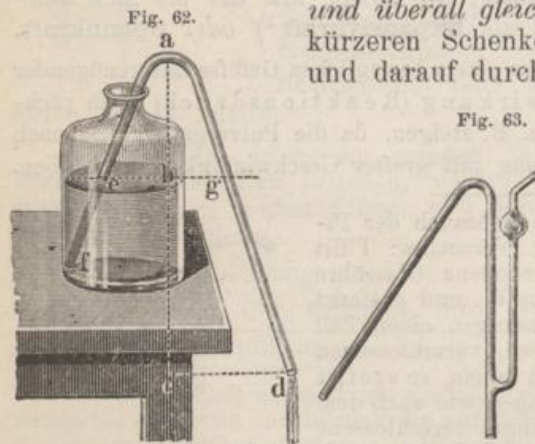
¹⁾ expando, dehne aus.

Inhalt eines Eies aus einer kleinen Öffnung der Schale ausfließen soll? — 5. Inwiefern muß beim Abzapfen von Bier, Wein u. dgl. auf den Druck der Luft Rücksicht genommen werden? — 6. Kaffee- und Theekannen haben im Deckel gewöhnlich ein kleines Loch; warum? — 7. An Deckeln, in denen ein solches Loch fehlt, ist oft ein leises Klappern hörbar, während die Flgk. ausfließt. Erkl.! — 8. Wie erklärt sich das Festsaugen eines hohlen Federhalters, Fingerhutes oder ähnlichen Gegenstandes an der Lippe? — 9. Warum fließt aus einer enghalsigen, ganz mit W. gefüllten Flasche beim Umkehren derselben nichts aus? — 10. Warum fließt das W. aus einem umgekehrt gehaltenen Trinkglase nicht aus, wenn man dessen Öffnung mit Gaze überbindet? — 11. Große Geldstücke kann man an eine glatte Wand oder dergl. schlagen, sodass sie hängen bleiben. Erkläre dies! — 12. Ein an den Rand eines Tisches gelegtes Blatt Papier, unter welches man etwa ein Lineal so gelegt hat, daß dieses zum Teil über den Rand des Tisches hervorragt, läßt sich durch einen kräftigen Schlag auf den vorstehenden Teil des Lineals nicht heben. Grund! — 13. Geschütze erleiden beim Abfeuern einen Rückstoß. Erkl.! — 14. Wodurch läßt sich die Spannung eines Bogens vergrößern, und wodurch die Spannung der Luft? — 15. Woraus läßt sich schließen, daß die in manchen Getränken enthaltene Kohlensäure, die Wasserdämpfe in den Cylindern der Lokomotiven, sowie die im Rohre der Geschütze wirkenden Pulvergase eine hohe Spannung haben?

Apparate, welche auf dem Luftdrucke und der Spannkraft eingeschlossener Luft beruhen.

§ 19. Heber. Zerstäubungsapparat. Heber dienen im allgemeinen dazu, Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes überzufüllen, ohne daß das volle Gefäß dabei aus seiner Stelle gebracht zu werden braucht. Je nach der Art ihrer Anwendung und Einrichtung unterscheidet man Stechheber (§ 18) und Saugheber.

Der Saugheber (Fig. 62) besteht aus einer *knieförmig gebogenen und überall gleichweiten Röhre*, welche mit ihrem kürzeren Schenkel in die Flüssigkeit eingetaucht und darauf durch Saugen mit dem Munde luftleer gemacht wird. Die Flüssigkeit steigt dann im eingetauchten Schenkel hinauf und fließt durch den äußeren Schenkel aus.



Bei ätzenden und ähnlichen, der Gesundheit schädlichen Flüssigkeiten wendet man Saugheber an, welche mit einem Ansatzrohre versehen sind (sogen. Giftheber, Fig. 63). Während des Ansaugens wird bei denselben die Ausflusmündung geschlossen.

Versuch. Hebt man mit einem Saugheber Wasser aus einem Gefäße, so können folgende Erscheinungen eintreten: **1.** Das Wasser fließt nur solange aus, als die Mündung des äußeren Schenkels tiefer liegt als der Wasserspiegel im Gefäße, und zwar um so kräftiger, je tiefer die Mündung unter dem Wasserspiegel sich befindet. **2.** Liegen Mündung und Wasserspiegel gleichhoch, so findet ein Ausfließen nicht mehr statt. **3.** Sobald die Mündung des äußeren Schenkels höher liegt als der Wasserspiegel, fließt das Wasser wieder zurück.

Saugheber, welche aus einer ziemlich engen Röhre bestehen (Fig. 64), kann man, wenn die Mündungen in gleicher Höhe liegen, ganz aus dem Wasser herausheben, ohne daß ein Ausfließen erfolgt. Warum?

Erklärung: Wenn der Saugheber mit Flüssigkeit gefüllt ist, so hat diese in jedem der beiden Schenkel das Bestreben, wieder auszufließen. Es wirken somit beiderseits zwei Kräfte einander entgegen, nämlich der Druck der Flüssigkeit und der Luftdruck. Letzterer ist an beiden Stellen gleichgroß, ersterer dagegen je nach der Lage der Mündung des äußeren Schenkels gleich oder verschieden.

Fig. 64.



a. Liegt die Mündung des äußeren Schenkels mit dem Flüssigkeitsspiegel in gleicher Höhe, so sind die senkrechten Abstände beider vom Knie (dem höchsten Punkte a, Fig. 63) des Hebers einander gleich. In beiden Schenkeln drückt die Flüssigkeit gleichstark nach unten. Dadurch wird die Wirkung des Luftdruckes beiderseits um gleichviel verkleinert. Der Überdruck der Luft ist also an beiden Stellen gleich; eine Bewegung der Flüssigkeit kann nicht eintreten.

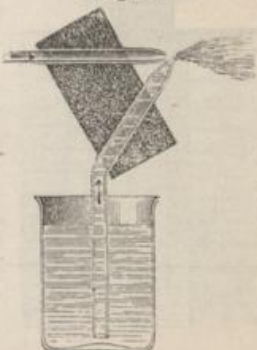
b. Liegt die Mündung des äußeren Schenkels tiefer oder höher als der Wasserspiegel (1 und 3), so sind die senkrechten Abstände derselben vom Knie des Hebers ungleich. Die Flüssigkeit wird daher nach derjenigen Seite hingetrieben, wo der Überdruck der Luft am kleinsten ist, also nach der Mündung des äußeren Schenkels, wenn diese tiefer, hingegen nach dem Gefäß hin, wenn sie höher liegt als der Flüssigkeitsspiegel. — Das Ausfließen muß offenbar um so schneller erfolgen, je tiefer die Ausflusmündung unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt, denn um so kleiner ist an derselben der hemmende Überdruck der Luft.

Fig. 65.



Durch die Wirkung heberförmiger Abfluskanäle bei unterirdischen Wasserbehältern sucht man auch die Thätigkeit der sogen. intermittierenden, d. h. mit Unterbrechung fließenden Quellen zu erklären (Fig. 65). Es ist indes wahrscheinlich, daß solche Quellen auch durch andere Ursachen in Thätigkeit gesetzt werden können, vor allem durch den Druck der in den unterirdischen Hohlräumen eingeschlossenen Gase (Kohlensäure).

Fig. 66.



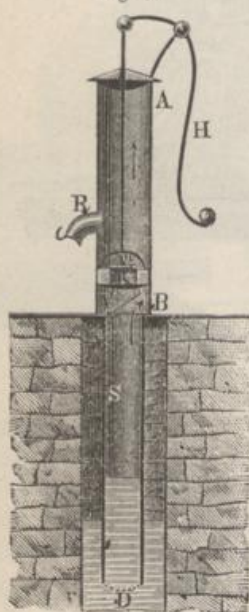
Zerstäubungsapparat. Bei den sogen. Zerstäubungsapparaten, welche zum Benetzen von Zimmerpflanzen, zum Zerstäuben wohlriechender Flüssigkeiten u. s. w. gebraucht werden, kommt der Druck der äußeren Luft dadurch zur Wirkung, daß man über die Mündung einer kurzen, aufrechten Röhre, welche in die Flüssigkeit eingetaucht wird, einen kräftigen Strom von Luft oder Wasserdämpfen hinwegtreibt (Fig. 66).

Indem letzterer aus seiner Umgebung, also auch aus der eingetauchten Röhre, Luft mit fortreißt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre durch den Überdruck der äußeren Luft und fliegt, sobald sie vom Luft- oder Dampfströme erfasst wird, in Staub auseinander. (*Versuch.)

Bei Zerstäubungsapparaten, welche dazu dienen, gewisse Arzneimittel so fein zu zerteilen, daß sie eingeatmet werden können, erzeugt man mittelst eines damit verbundenen kleinen Kochapparates einen Strom heißer Wasserdämpfe, die das Zerstäuben der betreffenden Flüssigkeit bewirken. Solche Apparate werden **Inhalationsapparate** genannt.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Stechheber und Saugheber überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander hinsichtlich ihrer Gestalt und ihres Gebrauchs? — 2. Welchen Zweck hat die bauchige Erweiterung des Stechhebers? — 3. Was wird eintreten, wenn man einen Stechheber, während die darin enthaltene Flgk. ausfließt, am oberen Ende verschließt, u. w.? — 4. In einem nur etwa halb gefüllten Stechheber sinkt das W. in der Röhre merklich, indem man den Heber aus der Flgk. zieht. (Bei Qu. schon in einer einfachen Glasröhre deutlich zu erkennen.) Wie mag sich dies erklären? — 5. Mittelst eines Saughebers soll eine Flgk. aus einem Gefäße in ein anderes gehoben werden. Welche Lage muß hierbei der Boden des leeren Gefäßes gegen den Spiegel der Flgk. haben, u. w.? — 6. Wodurch läßt sich das Ausfließen der Flgk. verstärken und wodurch ganz aufheben? Erkl.! — 7. Warum muß das untere Ende des in Fig. 63 dargestellten Hebers während des Ansaugens verschlossen werden? — 8. Welchen Zweck hat die kuglige Erweiterung an jenem Heber? — 9. Angenommen, die Höhlung in dem Felsen, Fig. 65, enthalte zunächst gar kein W.: wie hoch muß dann bei einem Zufluß von oben das W. darin steigen, damit ein Ausfließen erfolgen kann? — 10. Wie tief kann der Wasserspiegel sinken, bis das Ausfließen aufhört? — 11. Was wird eintreten, wenn der Wasserspiegel bis unter die Ausflusmündung sinkt? — 12. Eine Flasche sei durch einen zweifach durchbohrten Kork luftdicht verschlossen; in der einen Durchbohrung sei eine heberförmig gebogene Röhre luftdicht befestigt. Was wird eintreten, wenn man, während die in der Flasche enthaltene Flgk. aus der Röhre ausfließt, die offene Durchbohrung im Kork verschließt, u. w.?

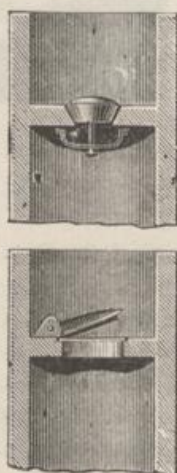
Fig. 67.



§ 20. Saugpumpe und Saugdruckpumpe.

Beide sind Vorrichtungen, welche dazu dienen, Wasser durch Auf- und Abbewegung eines Kolbens mit Hilfe des Luftdruckes aus Brunnen u. s. w. zu fördern.

Fig. 68 u. 69.



Die wesentlichen Teile einer **Saugpumpe** (Fig. 67) sind *Saugrohr*, *Stiefel* und *Kolben*. Ersteres ist eine hölzerne oder eiserne Röhre (S), welche in das Wasser des Brunnens hinabreicht und unten durch eine siebförmige Platte, oben durch ein Ventil (*Bodenventil*, v) verschlossen ist. Dieses besteht entweder aus einer Klappe, oder aus einem hohlen Messingkegel (Fig. 68 und 69). Auf dem Saugrohre steht der sogen. *Stiefel*, d. h. eine Röhre (AB), in welcher ein luftdicht anliegender, durchbohrter Kolben

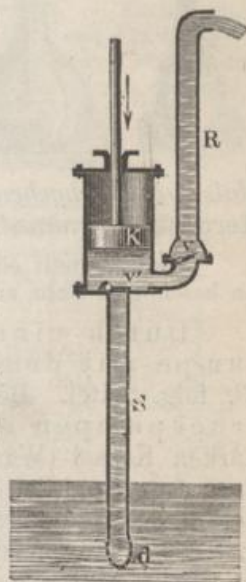
(K) auf- und abbewegt werden kann. Der Kolben enthält ebenfalls ein Ventil (Kolbenventil, v_1), das sich wie das Bodenventil nach oben öffnet. Über dem Kolben ist am Stiefel ein Ausflusrohr (R) befestigt.

Das Öffnen und Schließen der Ventile erfolgt abwechselnd. Wird der Kolben hinaufgezogen, so öffnet sich das Bodenventil, und das Kolbenventil ist geschlossen; wird er hinuntergeschoben, so schließt sich das Bodenventil, und das Kolbenventil öffnet sich. Das in den Stiefel eingedrungene Wasser tritt durch den Kolben hindurch und wird von diesem gehoben. Pumpen von dieser Einrichtung werden daher auch wohl als Saughebepumpen bezeichnet.

Zur Erklärung nehme man an, das Wasser stehe im Saugrohre anfangs so hoch wie im Brunnen. Wird dann der Kolben in die Höhe gezogen, so hebt die abgesperrte Luft vermöge ihrer Ausdehnbarkeit das Ventil ein wenig und füllt bei jeder Kolbenstellung den vergrößerten Raum aus. Dadurch nimmt die Spannung der abgesperrten Luft ab; mithin kann durch den Überdruck der äußeren Luft das Wasser im Saugrohre gehoben werden. Da das gehobene Wasser einen Gegendruck ausübt, so kann das Aufsteigen des Wassers sich nur solange fortsetzen, als überhaupt noch ein Überdruck von außen vorhanden ist.

Erfahrungsmäßig darf sich das Bodenventil höchstens 6—7,5 m über dem Wasserspiegel im Brunnen befinden. Bei tieferen Brunnen muß der Stiefel entsprechend länger gemacht werden und sein unteres Ende mit in den Brunnenraum hinabreichen, da sonst der Luftdruck nicht ausreichen würde, das Wasser im Saugrohre bis über das Bodenventil zu heben. Diese Beobachtung gab im Jahre 1643 Veranlassung zur Entdeckung des Luftdruckes durch Torricelli (spr. Torritschelli),* einen Schüler des berühmten italienischen Naturforschers Galilei. Vorher hatte man das Aufsteigen des Wassers in den Saugpumpen durch den „Abscheu der Natur vor dem leeren Raume“ (horror vacui) erklärt. — Sollen Saughebepumpen verwendet werden, Wasser sehr hoch, z. B. in die obersten Stockwerke der Häuser, zu heben, so wird der Stiefel oben dicht verschlossen und an demselben statt des kurzen Ausflusrohres seitlich ein Steigrohr angebracht (siehe R, Fig. 75), oder man wendet eine Saugdruckpumpe an.

Fig. 70.



Die Saugdruckpumpe oder Druckpumpe (Fig. 70) enthält aufser dem Saugrohre, dem Stiefel und dem Kolben stets noch ein Steigrohr (R), d. h. ein Rohr, welches dicht über dem Bodenventil in den Stiefel mündet und das in diesen eindringende Wasser durch den Druck des Kolbens aufnimmt und weiterführt. Der Kolben der Saugdruckpumpe ist daher nicht durchbohrt. (Spiel der Ventile?)

Druckpumpen werden nicht nur benutzt, um Wasser nach hoch gelegenen Stellen zu fördern, sondern überhaupt in allen denjenigen Fällen, in denen der Fortbewegung des Wassers im Steigrohre ein nicht unbedeutender Druck entgegenwirkt, also z. B. auch zum Speisen der Windkessel von Feuerspritzen und der Dampfkessel von Dampfmaschinen. Bei ersteren muß der Gegendruck der eingeschlossenen Luft, bei letzteren der Druck der Dämpfe überwunden werden. Druck-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84a.

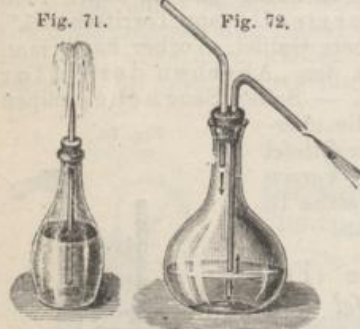
pumpen lassen sich daher auch anwenden, um Dampfkessel und Wasserleitungsrohren auf ihre Wandstärke zu prüfen.

Bei der einfachsten Einrichtung einer Druckpumpe steht der Stiefel mit seinem unteren Ende unmittelbar im Wasser (Spritzbüchse der Kinder).

Übungstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung einer Saugpumpe mit der einer Druckpumpe überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander? — 2. Welchen Zweck hat die siebförmige Platte unter dem Saugrohre? — 3. Warum müssen die Kolben einer Pumpe möglichst dicht schliessen? — 4. Kegelventile (Fig. 68) werden hohl gemacht; w.? — 5. Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat die Anwendung eines Pumpenschwengels? — 6. In trockenen Sommern werden Pumpen bisweilen „lahm“. Erkl.! — 7. Welches Mittel pflegt man anzuwenden, um solche Pumpen wieder brauchbar zu machen? — 8. Welche von den beiden Pumpen fördert das W. nur beim Aufgange, welche auch beim Niedergange des Kolbens? — 9. Welche Pumpe erfordert daher zu ihrem Gebrauche unter sonst gleichen Verhältnissen mehr Kraft? — 10. Warum wendet man trotzdem bei geringen Höhen Saugpumpen an? — 11. Warum ist es vorteilhaft, die Stiefel der Pumpen ziemlich weit zu machen? — 12. Warum braucht das Saugrohr nicht auch so weit zu sein? — 13. Inwiefern hängt die Schnelligkeit, mit welcher das W. im Saugrohre aufsteigt, von der Weite dieses Rohres ab? — 14. Warum müssen Druckpumpen im allgemeinen dichter und stärker gearbeitet sein als Saugpumpen? — 15. Warum muß bei einem sehr tiefen Brunnen oder Schachte der Stiefel einer Pumpe in den Brunnen- oder Schachtraum hinabreichen? — 16. Auf welche dreifache Weise läßt sich nach § 19 und 20 bewirken, daß eine Flgk. in einer Röhre durch den Druck der äußeren Luft aufsteigt?

§ 21. Heronsball und Feuerspritze. Gebläse.

Das einfachste Verfahren, eine Flüssigkeit durch den Druck eingeschlossener Luft zu heben (Fig. 71), besteht darin, daß man die über der Flüssigkeit im Gefäße befindliche Luft durch Hineinblasen mit dem Munde verdichtet. Zu diesem Zwecke muß die Röhre im Gefäße luftdicht befestigt sein, bis in die Flüssigkeit hinabreichen und oben aus dem Gefäße hervorragen. (*Versuch.)



Ein teilweise mit Wasser gefülltes Gefäß, in welchem eine luftdicht durch den Hals hindurchgehende Glasröhre bis in das Wasser hinabreicht, wird Heronsball genannt.

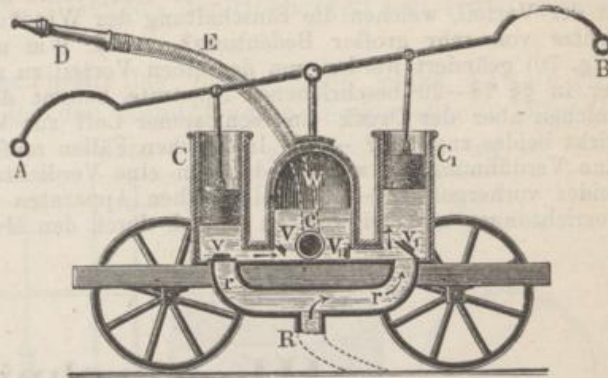
Fig. 72 stellt einen als Spritzflasche dienenden Heronsball dar, welcher ein besonderes Rohr zum Hineinblasen von Luft enthält.

Durch eine zweckmäßige Verbindung der Druckpumpe mit dem Heronsballe entsteht die **Feuerspritze** (Fig. 73, folg. Seite). Bei derselben wird mittelst einer oder zweier Saugdruckpumpen (C und C₁) wiederholt Wasser in einen umgekehrten starken Kessel (Windkessel oder Heronsball, W) getrieben, welcher unten seitlich zum Anschrauben eines Schlauches (E) mit einem Rohransatze (c) versehen ist. Da die im Kessel enthaltene Luft nicht entweichen kann, so wird sie durch das eindringende Wasser verdichtet. Sie wirkt dann vermöge ihrer Spannkraft auf das Wasser zurück und preßt dieses in den Schlauch. Aus dem Mundstücke (D) desselben

strömt das Wasser während des Pumpens in ununterbrochenem Strahle aus. — Eine Feuerspritze ist somit ein mit Windkessel und biegsamem Steigrohre versehenes Druckpumpenwerk.

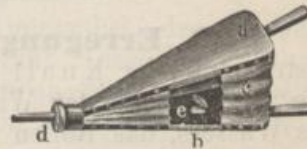
Fig. 73.

Bei der in Fig. 73 dargestellten Einrichtung stehen die Stiefel der beiden Pumpen unterhalb der Bodenventile mit einem kurzen Rohre in Verbindung, an welchem ein als Saugrohr (R) dienender Schlauch befestigt werden kann, den man beim Gebrauche der Spritze in ein nahes Gewässer leitet. Spritzen ohne Saugrohr sind mit einem oben offenen Kasten versehen, welcher Pumpen und Windkessel umgibt und mit Wasser gefüllt wird.



Im täglichen Leben werden sehr häufig Luftverdichtungs-Apparate angewandt, durch welche nicht ein Wasserstrahl, sondern ein Luftstrom erzeugt werden soll. Der bekannteste derselben ist der zum Anfachen des Feuers dienende einfache Blasebalg (Fig. 74). Er besteht aus zwei Brettern, deren Ränder durch einen in Falten gelegten ledernen Balg (c) miteinander verbunden sind, und von denen das eine (a) an einem Ende auf- und abbewegt werden kann, das andere (auf der Innenseite) mit einem Klappenventile (e) versehen ist. Der Innenraum mündet vorn in eine eiserne Röhre. Zweck des Ventils?

Fig. 74.

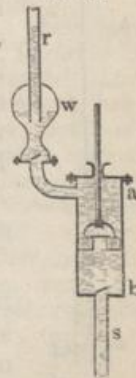


In Schmieden, zur Anfachung des Feuers in Hochöfen u. s. w. werden zusammengesetzte Gebläse von sehr verschiedener Einrichtung angewandt. — Auch beim Atmen wird durch Erweiterung und Verengung der Brust ein Ein- und Ausströmen der Luft bewirkt. Beim Einatmen wird die Luft, welche in den Lungen enthalten ist, verdünnt, weil diese sich mit der Brusthöhle erweitern, beim Ausatmen dagegen verdichtet, weil Brust und Lungen sich zusammenziehen. Im ersteren Falle ist daher aufsen, im letzteren innen ein Überdruck vorhanden.

Übungsstoff. 1. In welchem Teile der Feuerspritze kommt

der Druck der äußeren Luft, in welchem dagegen der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung, und wodurch? (Überdruck!) — 2. Wie bewegen sich die Ventile (Fig. 73), wenn die Spritze in Thätigkeit ist? — 3. Vgl. die Einrichtung der Pumpen einer Feuerspritze mit der in Fig. 70 dargestellten Pumpe. (Wesentlicher Unterschied zwischen den Saug-, wie zwischen den Steigrohren!) — 4. Eine kleine Saugdruckpumpe soll durch einen Gummischlauch mit einer Spritzflasche so verbunden werden, daß ein Apparat entsteht, welcher wie eine Feuerspritze wirkt. Wie ist dies auszuführen? — 5. Welcher Teil der Feuerspritze (Fig. 73) bildet einen Hebel? (Mech. V. und N.!) — 6. Wovon ist die Höhe, bis zu welcher der Strahl einer Feuerspritze aufzusteigen vermag, hauptsächlich abhängig, und inwiefern? — 7. Warum ist es nicht gleichgültig, welche Stärke die Kesselwand hat? — 8. Um zu bewirken, daß das W. bei einer mit Steigrohr versehenen Pumpe möglichst gleichmäßig abfließt, versieht man das Steigrohr mit einem Windkessel (w, Fig. 75). Warum kann bei solcher Einrichtung in der Saughebepumpe das W.

Fig. 75.



auch während des Kolbenniederganges im Steigrohre aufsteigen? — 9. Warum kann aber dennoch nicht eine gröfsere Menge W. gefördert werden, als ohne diese Einrichtung? — 10. Es könnte scheinen, als ob eine solche Pumpe leichter gehen müfste, da das W. nur zum Teil durch den Druck der eingeschlossenen Luft im Steigrohre gehoben wird. Warum ist eine solche Meinung falsch? — 11. Warum ist der Vorteil, welchen die Einschaltung des Windkessels gewährt, für eine Feuerspritze von sehr grofser Bedeutung? — 12. Wie müfste die Saugdruckpumpe (Fig. 70) geändert werden, um denselben Vorteil zu gewähren? — 13. Bei welchen der in §§ 18—20 beschriebenen Apparate kommt der Druck der freien Luft, bei welchen aber der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung? — 14. Bei welchem wirkt beides zugleich? — 15. In welchen Fällen mufs, damit die Wirkung erfolgt, eine Verdünnung, in welchen dagegen eine Verdichtung der Luft, und wann mufs beides vorhergehen? — 16. Bei welchen Apparaten wird dies durch mechanische Vorrichtungen und bei welchen einfach durch den Mund bewerkstelligt?

III. Abschnitt.

Vom Schalle.

§ 22. Erregung des Schalles. Die Töne der musikalischen Instrumente, der Knall der Geschütze, die mannigfaltigen Geräusche, wie das Rasseln der Wagen, das Heulen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen des Donners u. s. w., — alle derartigen Sinnesindrücke werden als Schall bezeichnet.

Schall wird alles genannt, was wir mit unserem Gehöre wahrnehmen. Einen Schall von bestimmter Höhe oder Tiefe nennt man Ton. Ist ein Schall kurz und kräftig, so wird er Knall genannt. Eine unregelmäßige, rasche Folge von Schallempfindungen verschiedener Art und Stärke heifst Geräusch.

Das Verfahren, welches wir anwenden, um zu bewirken, dafs eine Saite, ein Stab, eine Glocke oder dergl. tönt, läfst schliessen, dafs der den Schall erregende Körper, während er den Schall erzeugt, sich im Zustande der Bewegung befindet. Diese Bewegung ist in vielen Fällen durch das Gefühl deutlich wahrzunehmen, wobei ein Festhalten der schwingenden Teile den Schall dämpft oder ihn ganz aufhebt (Stimmgabel, tönende Glocke). Da nicht bei jeder Bewegung eines Körpers ein Schall wahrgenommen wird, so gelangen wir zu dem weiteren Schlusse, dafs die Bewegung des Schallerregers von besonderer Art sein mufs. Die Richtigkeit dieser Folgerungen läfst sich durch Versuche bestätigen.

***Versuch a.** Wird ein dünner Stahlstab (Fig. 76) wiederholt in Schwingungen (Hin- und Herbewegung) versetzt, so läfst sich der schwingende Teil bei langsamer Bewegung mit den Augen verfolgen. Die Bewegung selbst erfolgt lautlos. Nimmt darauf die Schnelligkeit der Schwingungen mehr und mehr

