

die senkrechte Richtung an? Warum ist ein Maß Quecksilber schwerer, ein Maß Federn leichter als ein Maß Wasser?

9. Schwerpunkt. a) Eine runde Papierscheibe setze ich mit ihrem Mittelpunkt auf eine Nadelspitze. Die Scheibe schwebt. In jedem anderen Punkte unterstützt, fällt sie zu Boden.

b) Jeder Körper hat einen Schwerpunkt, um den die Körpermasse gleichmäßig verteilt ist. Wenn dieser Schwerpunkt unterstützt ist, kann der Körper nicht fallen. Die senkrechte Linie vom Schwerpunkte zum Boden heißt Schwerlinie oder Falllinie. Wenn der Körper in der Richtung dieser Linie unterstützt ist, so ruht er oder ist im Gleichgewicht; er fällt aber, wenn die Schwerlinie nicht mehr auf die Unterstützungsfläche fällt. Daraus erklärt es sich, daß auch schiefe Türme noch stehen. Sowie aber die Schwerlinie außerhalb der Unterstützungsfläche fiele, würde der Turm umfallen.

c) Warum rollt eine Kugel auf geneigter Fläche? Warum neigen wir uns vorwärts beim Bergsteigen und Tragen einer Last hinten, rückwärts aber beim Abwärtssteigen und Tragen einer Last vorn? Wann neigen wir uns rechts, wann links? Warum steht man nicht sicher auf einem Beine? Warum fallen hohe, geneigte Gegenstände leichter als niedrige, gerade stehende? Warum haben hohe Lampen einen schweren Eisensfuß?

II. Gleichgewicht und Bewegung fester Körper.

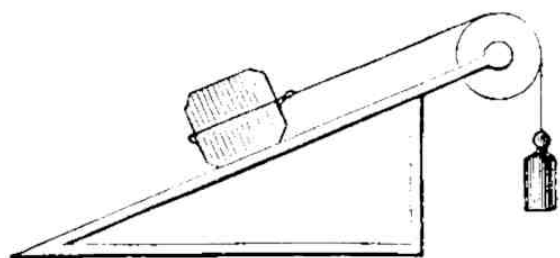
10. Der freie Fall. a) Zwei Kinder halten einen Bogen Papier wagerecht an den vier Zipfeln. Eine kleine Kugel läßt man erst aus geringer und dann immer größerer Höhe auf das Papier fallen, bis sie durchschlägt. Dasselbe wird mit einer größeren Kugel versucht und gefunden, daß dieselbe schon aus geringerer Höhe durchschlägt.

b) Alle Körper, wenn sie nicht unterstützt werden, eilen vermöge der Schwerkraft dem Mittelpunkte der Erde zu oder fallen in senkrechter Richtung. Die Wirkung beim Aufschlagen wird um so heftiger sein, je größer die Masse des Körpers und die Höhe des Falles und damit die Geschwindigkeit der Bewegung ist. **Alle Körper fallen mit beschleunigter Geschwindigkeit.** Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers nimmt fortwährend zu. In der 1. Sekunde durchfällt er einen Fallraum von 5 m, in der 2. Sekunde von 3×5 m, in der 3. Sekunde von 5×5 m. Die Fallräume der einzelnen Sekunden wachsen wie die ungeraden Zahlen. Zählt man alle Fallräume der einzelnen Sekunden zusammen, so giebt das den Gesamtfallweg. Die Gesamtwege wachsen wie die Quadratzahlen der Fallzeiten $\times 5$. Lasse ich z. B. einen Stein in einen tiefen Brunnen oder von einem hohen Turme fallen, und er klatscht auf, wenn ich 4 Sekunden gezählt habe, so beträgt die Tiefe oder Höhe $4 \times 4 = 16$ mal 5 m = 80 m. In der 1. Sekunde fällt er 5, in der 2. Sek. 3×5 , in der 3. Sek. 5×5 , in der 4. Sek. 7×5 , also zusammen $5 + 15 + 25 + 35 = 80$ m.

c) Warum schießen Wagen von Anhöhen mit wachsender Geschwindigkeit herab und müssen ein Hemmzeug haben? Wie wirkt der Luftwiderstand bei leichten und schweren Körpern?

11. Die schiefe Ebene. a) Wenn ich ein gefülltes Faß auf den Wagen heben will, so muß ich genau so viel Kraft anwenden, als seine Last oder sein Gewicht beträgt. Lege ich aber ein langes Brett oder eine Leiter als schiefe Ebene an den Wagen und wälze das Faß darauf in die Höhe, so wird zwar der Weg viel länger, aber ich brauche weniger Kraft anzuwenden.

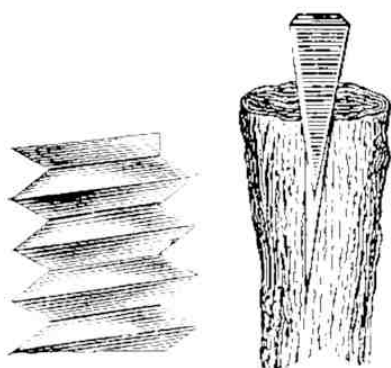
b) Zuerst übe das Faß den ganzen Druck auf seine wagerechte Unterlage aus,



123. Schiefe Ebene.

und sein ganzes Gewicht mußte von mir senkrecht aufwärts bewegt werden. Bei der Bewegung auf der schiefen Ebene ruht die Last zum Teil auf der Unterlage, zum Teil auf mir. Je steiler die schiefe Ebene ist, desto kürzer ist der Weg, und desto mehr Kraft ist zur Aufwärtsbewegung erforderlich; je mehr sie sich

der wagerechten Ebene nähert, desto länger ist der Weg, und desto leichter ist die Aufwärtsbewegung. Man spart so viel an Kraft, als man am Wege zulegt. Ist die Höhe des Wagens $\frac{1}{4}$ von der Länge der angelegten Leiter, so brauche ich auch an Kraft nur $\frac{1}{4}$ der Last; 1 Pfd. würde 4 Pfd. das Gleichgewicht halten. Auf der schiefen Ebene findet Gleichgewicht statt, wenn die Kraft sich zur Last verhält wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge.

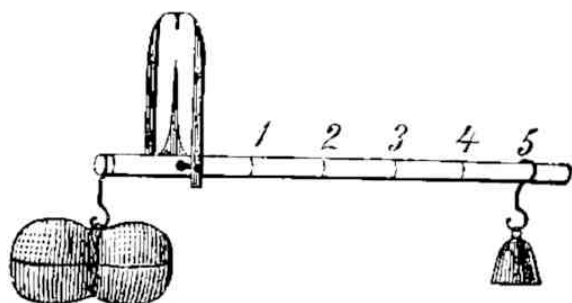


124. Schraube.

125. Keil.

c) Warum wendet der Auflader beim Auf- und Abladen der Fässer die Schrotleiter an? Warum kann der Holzhacker mit dem Keil (einer doppelten schiefen Ebene) die großen Klöße leichter als mit der Art spalten? Warum werden Wege auf hohe und steile Berge in Windungen angelegt? Warum übt die Schraube (eine um einen Cylinder gewundene schiefe Ebene) einen so großen Druck aus, hebt Wagen, ja ganze Gebäude? Warum kann man mit dem Pfropfenzieher (einem schraubenförmig gewundenen Keile) den eingezwängten Kork leicht aus der Flasche ziehen?

12. Der Hebel. a) Die Krämerwage hat einen Wagebalken, der durch einen Unterstützungspunkt in 2 gleiche Arme geteilt ist. An einem Ende hängt eine Schale mit dem Gewichte (als Kraft) und am andern eine Schale mit Waren (als Last). Wenn Kraft und Last vollkommen gleich sind, so hat der Wagebalken eine wage- oder wasserrechte Stellung und ist im Gleichgewichte. Freilich muß die Wage dazu richtig und empfindlich sein. Sie ist richtig, wenn ihre Hälften rechts und links gleich schwer sind. Sie ist empfindlich, wenn sie auch bei kleinem Übergewichte noch einen Ausschlag



126. Schnellwage.

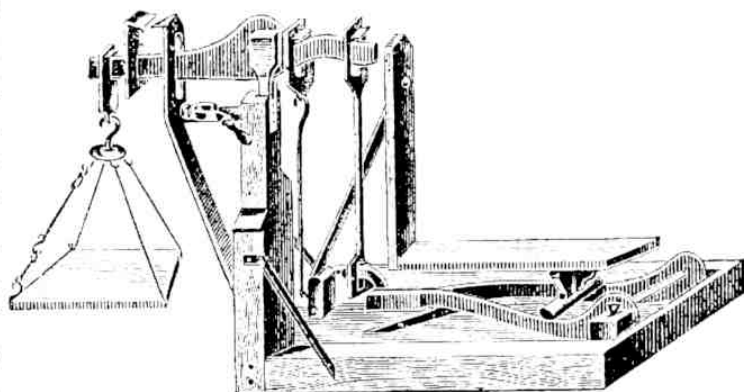
gibt. Die Schnellwage (Fig. 126) hat einen kurzen und einen langen Arm und braucht zum Wägen der verschiedenen Lasten nur ein Gewicht, das an dem langen Kraftarme hin und her geschoben wird, um Kraft und Last ins Gleichgewicht zu bringen. Je leichter die Last, desto näher rückt das Gewicht dem Unterstützungspunkte, je schwerer, desto weiter davon ab.

Die Länge des Lastarmes mal die Last bildet das Moment der Last; die Länge des Kraftarmes mal die Kraft (das Gewicht) bildet das Moment der Kraft. — Der Hebebaum ist eine Stange, die ich unter eine Last (z. B. einen Stein) schiebe, mit dem einen Ende auf die Erde stütze, an dem andern aufwärts bewege. Der Unterstützungspunkt liegt am untern Ende. Die zu hebende Last und die hebende Kraft sind daher auf einer und derselben Seite des Unterstützungspunktes. Mit Hilfe des Hebebaumes bewege ich Lasten in die Höhe, die ich mit meinen Händen nicht von der Stelle brächte.

b) Krämerwage, Schnellwage und Hebebaum sind Hebel, d. h. unbiegsame Stangen, die in einem Punkte unterstützt und um diesen drehbar sind. Die beiden Wagen sind zweiarmige, der Hebebaum ist ein einarmiger Hebel. Zweiarmige Hebel mit gleichen Armen haben den Unterstützungspunkt in der Mitte, einarmige am Ende. Die Krämerwage ist ein gleicharmiger, die Schnellwage ein ungleicharmiger Hebel. Der eine Arm heißt Last-, der andere Kraftarm. Der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn das Moment der Last gleich ist dem Moment der Kraft, d. h. wenn die Länge des Lastarmes, multipliziert mit der Last, dasselbe Produkt giebt wie die Länge des Kraftarmes, multipliziert mit der Kraft. Hänge ich z. B. 30 cm vom Unterstützungspunkte 4 kg auf, so giebt das ein Lastmoment von $30 \times 4 = 120$. Hänge ich 40 cm vom Unterstützungspunkte 3 kg auf, so giebt das ein Kraftmoment von $40 \times 3 = 120$. Da Kraft- und Lastmoment gleich sind, so muß der Hebel im Gleichgewichte sein. Für den einarmigen Hebel gilt dasselbe Gesetz. Zwar liegen Last und Kraft auf einer Seite des Unterstützungspunktes und bilden scheinbar nur einen Arm; in Wahrheit ist aber das Stück vom Unterstützungspunkte bis zum Angriffspunkte der Kraft der Kraftarm, bis zum Angriffspunkte der Last der Lastarm; also auch hier ist ein Moment der Last und Kraft festzustellen. Je länger der Kraftarm ist, desto weniger Kraft ist nötig, um das Moment der Last zu übertreffen, desto länger ist aber auch der Weg, den der Hebelarm beschreibt.

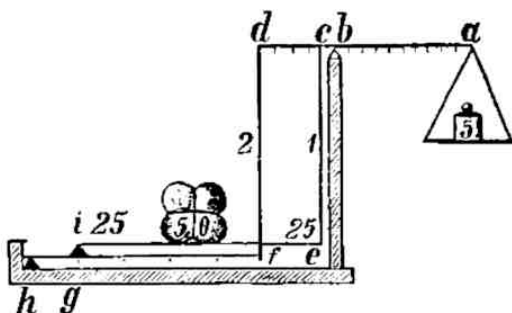
Zum Heben schwerer Lasten dient die **Dezimalwage**. (Fig. 127.) Decem heißt im Lateinischen 10. Die Dezimalwage ist eine solche, bei der schon $\frac{1}{10}$ des Lastgewichtes genügt, um die Last zu heben. Die Dezimalwage besteht aus 3 Hebeln. 2 sind einarmig und liegen unten in dem Gestell, und einer ist ein zweiarmig = ungleicharmiger, den wir oben sehen, an dem die Waagschale hängt.

Dieser Hebel hat einen Kraftarm a b, der doppelt so lang ist, als der Lastarm b d. Der Kraftarm a b enthält deshalb auch 10 Teile, wie der Lastarm b d deren 5 hat. 2 Zugstangen führen zu den einarmigen Hebeln e i und f h. Zugstange 1 greift in c, Zugstange 2 in d an. f h ist in 5 Teile geteilt.



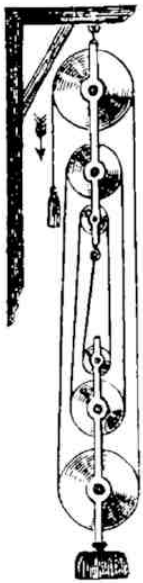
127. Dezimalwage.

Nun zur Belastung der Wage! Auf dem Hebel e i steht eine Last von 50 kg. Dieser Hebel heißt auch Brücke und davon die Wage Brückenwage. Denken wir uns die 50 kg als Getreideschicht gleichmäßig ausgebreitet, dann lasten 25 kg auf der Hälfte nach e und 25 kg auf der Hälfte nach i; 25 kg greifen in e und 25 kg in i an. Wir verfolgen den Druck von e aus zuerst. Zugstange 1 bringt ihn nach c. Der obere Hebel nimmt den Druck von 25 kg als Last auf. Sein Lastarm b c ist aber nur $\frac{1}{10}$ von dem Kraftarm a b. Es wird in a nur $\frac{1}{10}$ von 25 kg notwendig sein, um dem Druck in c und e das Gleichgewicht zu halten, das



128. Schema der Dezimalwage.

sind 2,5 kg. Nun verfolgen wir den Druck der 25 kg in i. Sie greifen in g den unteren Hebel f h an. Dessen Lastarm heißt g h, sein Kraftarm f h. Der Kraftarm ist $5 \times$ so lang als der Lastarm g h. Folglich wird in f nur $\frac{1}{5}$ der Last als Kraft thätig zu sein brauchen, $\frac{1}{5}$ von 25 kg = 5 kg. Die greifen in f und durch Zugstange 2 in d an dem Hebel d a an. Der Lastarm dieses Hebels b d ist jedoch nur $\frac{1}{2}$ von dem Kraftarm a b. Folglich wird in a auch nur $\frac{1}{2}$ der



129.

Flaschenzug.

Last als Kraft notwendig sein, um sie zu heben. In d stehen von f aus 5 kg, in a sind 2,5 kg dafür nötig, um der unten von i auf g drückenden Last das Gleichgewicht zu halten. 2,5 kg stehen schon auf der Wage, 2,5 kg kommen hinzu, in Summa brauchen wir also 5 kg auf der Wageschale, um 50 kg auf der Brücke das Gleichgewicht zu halten. 5 ist $\frac{1}{10}$ von 50; die Brückenwage trägt also ihren Namen Dezimalwage mit Recht. Natürlich geht durch die Reibung an den verschiedenen Stellen von dem Zuggewicht der Kraft immer etwas verloren. Das ist aber so wenig, daß es beim Wägen großer Lasten keine Bedeutung hat, und so dient die Brückenwage als Getreidewage auf dem Speicher, als Viehwage im Stall großer Güter.

Die Rolle ist eine Scheibe, die um eine Achse in der Mitte drehbar ist und auf dem Rande eine Rinne für eine Schnur hat. Der Flaschenzug (Fig. 129) ist eine Verbindung von festen und beweglichen Rollen. Die festen Rollen sind gleicharmige Hebel mit dem Unterstützungspunkte in der unbeweglichen Achse. Sie ersparen keine Kraft, sondern ändern bloß die Richtung der Bewegung. Die beweglichen Rollen, die auf und ab steigen, sind einarmige Hebel, welche die Last in der Mitte, den Stützpunkt an einem, und die ziehende Kraft an dem anderen Ende haben. Da der Kraftarm (Durchmesser der Rolle) doppelt so lang als der Lastarm (Halbmesser der Rolle) ist, so halbiert jede bewegliche Rolle die Kraft. Ein Flaschenzug mit 3 festen und 3 beweglichen Rollen, in einer Schiene oder einem Kloben befestigt, vermindert die Kraft auf $\frac{1}{6}$. Allerdings haben hier die Seile einen 6fachen Weg über die 3 festen und die 3 beweglichen Rollen zurückzulegen, auch geht ein Teil der Kraft durch die Reibung an den Rollen verloren.

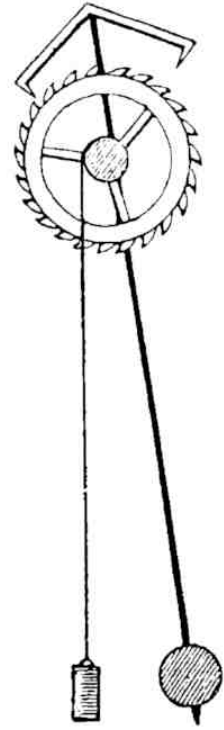
c) Zeige, wie die Brettschaukel auf einem Baumstamme, die Kurbel an der Kaffeemühle, die Winde am Brunnen, Zangen und Scheren zweiarmige, Schiebekarren, manche Thürklinen und Rinnbacken einarmige Hebel sind! Warum wird der Hebebaum in einen zweiarmigen Hebel verwandelt, wenn ich einen Stein unterschiebe und nach unten statt nach oben drücke? Warum fährt sich eine Last auf dem Schiebekarren um so leichter, je näher ich sie den Rädern bringe? Ein Mann und ein Knabe tragen eine Last an einer Stange; warum wird die Last mehr nach dem Manne zu geschoben?

13. Das Pendel. a) Ich hänge eine Bleikugel an einen Faden, stoße sie seitwärts, sehe sie zurückkehren und nach der anderen Seite ebenso hoch fliegen und diese Schwingungen lange fortsetzen. Nach und nach werden sie kürzer, sind aber immer von gleicher Zeitdauer, wie ich mich überzeuge, wenn ich zu den Schwingungen laut zähle und fortgesetzt dazu auf den Tisch klopfte. Das Gerät heißt Pendel. Die Schwingungen eines und desselben Pendels haben gleiche Schwingungsdauer. Je länger jedoch der Faden ist, desto weiter greifen die Schwingungen aus und desto langsamer sind sie. Bei 4 facher Länge des Fadens schwingt die Kugel 2 mal, bei 9 facher 3 mal, bei 16 facher 4 mal langsamer. Kurze Pendel schwingen schneller als lange.

b) Die Dauer der Schwingungen hängt allein von der Länge des Pendels ab. Die Schwerkraft zieht den Pendelkörper nach unten, der Stoß treibt ihn

seitwärts. Die kreisförmige Pendelbewegung ist die Mittelbewegung zwischen der Anziehungskraft der Erde nach unten und der Flieh- oder Schwungkraft nach der Seite. Lasse ich den Pendelkörper in der Ruhe los, so fällt er senkrecht nach unten; lasse ich ihn im Schwunge los, so fliegt er in der Richtung weiter, die er beim Loslassen hatte. Die kreisförmigen Bewegungen der Himmelskörper sind ebenfalls eine Folge der Schwerkraft und Fliehkraft. Die Kraft, welche der schwere Körper des Pendels bei jeder Herabbewegung erhält, wird durch die Anziehungskraft der Erde, durch die Reibung am Aufhängepunkte und den Widerstand der Luft in jedem Augenblicke verkleinert und zuletzt ganz aufgehoben. Deshalb kommt das Pendel nach und nach zur Ruhe, und man muß daher die Stangenpendel der Uhren (Fig. 130) durch eine elastische Feder oder durch Gewichte, welche man von Zeit zu Zeit spannt oder aufzieht, in fortgehender Bewegung erhalten.

c) Wie läßt sich der Gang einer Pendeluhr durch das Pendel verlangsamen und beschleunigen? Warum spritzen die Räder eines schnellfahrenden Wagens? Warum fährt der Dampfwagen an Krümmungen der Bahn langsamer? Warum beschreibt ein geworfener Körper eine Bogenlinie? Warum zielt man etwas höher, als man treffen will?



130.
Stangenpendel.

14. Vom Maschinenbau. a) Zur Herbst- und Winterszeit arbeitet so oft auf dem Wirtschaftshofe die Dreschmaschine. Der Wirt steht daneben, zieht seine Uhr aus der Tasche und läßt die Maschine halten, denn es ist Mittag. Nach der Ruhepause werden die Pferde an den Wagen gespannt, um das ausgedroschene Getreide in die Mühle zu bringen.

b) 4 Maschinen sind in diesen wenigen Sätzen genannt — Dreschmaschine, Uhr, Wagen, Mühle. Alle 4 bestehen aus einer ganzen Reihe von Teilen; wir nennen sie deshalb zusammengesetzte Maschinen. Was ist eine Maschine? Die Dreschmaschine ist so gebaut, daß die Kraft der Pferde leicht an derselben angreifen kann. Durch die Dreschmaschine ist es möglich, die Pferdekraft auszunutzen. In der Uhr erzeugt die gespannte Feder die Bewegung, die das Räderwerk bis zum Zeiger fortpflanzt, und auch Wagen und Mühle sind so eingerichtet, daß an dem ersten die Pferdekraft, an dem zweiten die Wasserkraft leicht angreifen kann, um Bewegung zu erzeugen und eine Arbeit zu leisten. **Maschinen sind Vorrichtungen zum leichten Angreifen einer Kraft, die eine Arbeit leisten soll.** Um die Teile einer zusammengesetzten Maschine kennen zu lernen, wählen wir die Wassermühle. An dem großen Wasserrade greift das auf einer schiefen Ebene dahinrollende Wasser als Kraft an; das Wasserrad ist die **Kraftmaschine**. Die Bewegung des großen Wasserrades wird durch Riemen und Räder weiter geleitet; überall schnurrt und faust es in der Mühle. Das ganze Räderwerk heißt die **Zwischenmaschinen**. Endlich kommen wir zu den beiden Steinen, die die Arbeit leisten, nämlich das Getreide zermahlen, sie heißen die **Arbeitsmaschine**. Die Teile einer zusammengesetzten Maschine sind also: **Kraft-, Zwischen-, Arbeitsmaschine**. Namentlich die Zwischenmaschinen sind sehr verschiedener Art. Zunächst sind es **Riemen ohne Ende** (Treibriemen), die von einem Rad zum andern laufen und die Bewegung übertragen. Dasselbe thun die **gezahnten Räder**, indem sie mit ihren Zähnen in einander greifen. An einem Rade sitzt ein **krummer Zapfen**; eine auf- und abwärts sich bewegende Stange faßt mit einer Öse daran an und treibt ein großes, an dem Krümmzapfen sitzendes

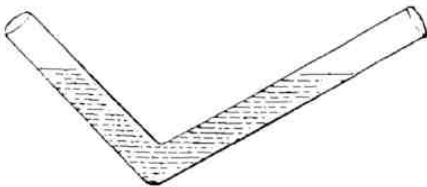
Polack, Naturbeschreibung und Naturlehre.

Rad in drehende Bewegung. Stange und Krummzapfen sind **verwandelnde Zwischenmaschinen**. Das große Rad aber, einmal in Schwung geraten, läßt sich nicht so leicht hemmen; es beharrt in dieser Bewegung auch dann noch, wenn auf einen Augenblick das Wasser an der Kraftmaschine abgesperrt wird, um eine Speiche darin schnell in Ordnung zu bringen. Greift das Wasser von neuem an, so ist von dem Stoße nichts zu merken; das Schwungrad hält die Bewegung in geregelterm Gange. Es ist eine **regulierende Zwischenmaschine**. Die ist das Pendel durch seine gleichmäßigen Schwingungen an der Uhr auch. Wir unterscheiden im Maschinenbau also übertragende, verwandelnde und regulierende Zwischenmaschinen. Sie richtig zusammenzusetzen und anzuwenden, ist Sache des Maschinenmeisters, für die Uhr des Uhrmachers. Die Kunst der Zusammensetzung ist oft eine recht schwere und muß durch viel Übung erlernt werden. Sie ist aber auch eine sehr wichtige, denn erst durch den Maschinenbau ist es möglich geworden, so vieles zu leisten, was unsere Väter sich nicht haben träumen lassen.

c) Warum ist die Dreschmaschine für den Landwirt ein Segen? Welchen Vorteil hat die Hausfrau von der Nähmaschine? Welche kleinen Handwerker arbeiten mit Handmaschinen? In welchen Großgewerben findet die Maschine Anwendung? Welches sind die wichtigsten Bewegungskräfte der Maschinen? In welchen Gegenden unseres Vaterlandes blüht der Maschinenbau? Warum dürfen wir sagen, daß die Maschine zum Wohlstande unseres Landes und Volkes beiträgt? Welches ist die Kraft-, Zwischen- und Arbeitmaschine bei der Uhr?

III. Gleichgewicht und Bewegung flüssiger Körper.

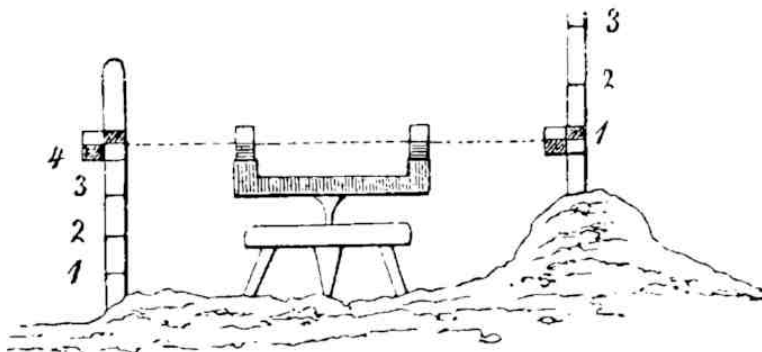
15. **Kommunizierende oder verbundene Röhren.** a) In eine Glasröhre, die einen Winkel bildet (Figur 131), gieße ich Wasser und bemerke, daß es in den beiden Röhrenarmen stets gleich hoch steht, wie ich die Röhre auch drehe und wende; dabei ist es gleichgiltig, ob der eine Arm enger ist als der andere. Fülle ich eine Gießkanne mit Wasser, so stellt sich das Wasser in der engen Ausflußröhre genau so hoch wie im eigentlichen Gefäße. Habe ich 2 senkrechte, unten durch eine wagerechte verbundene Röhren, eine lang und die andere kurz, und fülle ich die lange Röhre,



131. Verbundene Röhren.

während ich die kurze zuhalte, so springt beim Öffnen aus der letzteren so lange ein Wasserstrahl, bis die Wasseroberfläche in beiden Röhren wieder gleich ist.

b) Die Wasserteilchen haben nur geringen Zusammenhang, verschieben sich leicht, nehmen stets die Form des Gefäßes an, drücken nach allen Seiten und suchen mit ihrer Oberfläche stets eine wagerechte Ebene zu bilden. Deshalb



132. Kanalwage.

steht in allen kommunizierenden (d. h. mit einander in Verbindung stehenden) Röhren die Flüssigkeit gleich hoch. Auf dies Gesetz gründen sich Kanalwagen, Wasserleitungen und Springbrunnen. Die Kanalwage (Fig. 132) besteht aus einer