

1. Mechanik

1.1 Kraft, Kraftwandler, Hebel, Drehmoment

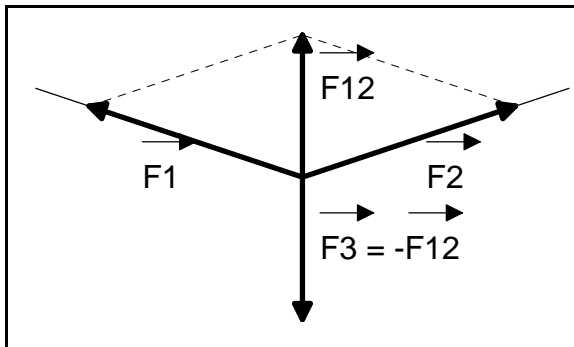
Viele mechanische Geräte haben das Ziel, den bedienenden Menschen Kraft sparen zu helfen. Sie beruhen auf einigen wenigen physikalischen Prinzipien.

Vektorcharakter der Kraft, Kräftegleichgewicht

In der Physik bezeichnet die Kraft einen nicht näher definierten Einfluss auf den Bewegungszustand oder die Form eines Körpers. Sie ist eine Vektorgröße, hat als einen Betrag, eine Richtung und einen Angriffspunkt.

Das Formelzeichen der Kraft ist F (von frz./engl. force) und ihre Einheit ist das Newton (N), zu Ehren von Sir Isaac Newton, der mit seinen Bewegungsgesetzen den modernen physikalischen Kraftbegriff einführte. Gedächtnisstütze: Eine Tafel Schokolade der Masse $m = 100 \text{ g}$ hat eine Gewichtskraft $F_G = 1 \text{ N}$.

Versuch (die schwachen Tauzieher): Zwei kräftige Assistenten ziehen mit voller Kraft ein Seil wie beim Tauziehen. Dennoch gelingt es einer schwachen dritten Assistentin leicht, das Seil in der Mitte durchzudrücken.



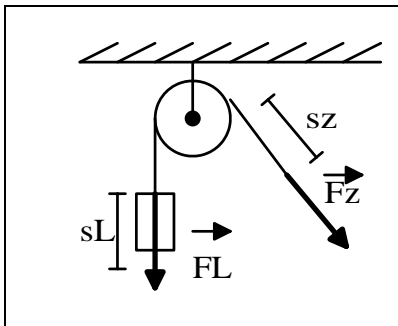
Auswertung: Aus der Skizze ist ersichtlich, dass zum einen Kräfte nicht nur Beträge, sondern auch Richtungen haben, und dass zum anderen die Summe zweier gleich großer Kräfte nur dann eine doppelte so große Kraft ergeben, wenn sie in dieselbe Richtung zeigen (Man muss zum Erzielen einer möglichst großen Kraft nicht nur an einem Strang ziehen, sondern auch in dieselbe Richtung!). Im Beispiel ist die Summe der beiden Kräfte deutlich kleiner als jeder der beiden Summanden. Es herrscht Kräftegleichgewicht, wenn die Summe der beteiligten Kräfte einen Nullvektor ergibt:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}.$$

Anmerkung: Die Kraft spielt z. B. im Rahmen der Herzdruckmassage eine erhebliche Rolle. Nur durch die von außen wirkende Kraft (Kompression) kann der Thorax verformt und das Herz dadurch zusammengepresst werden. Da Kraft eine vektorielle Größe ist, also von ihrer Richtung in der Wirkung abhängt, wird deutlich, dass eine schräge Druckrichtung bei der Thoraxkompression eine wesentlich andere, ungünstigere Kraftwirkung auf das Herz und die damit verbundene Auswurfleistung haben muss.

Lose und feste Rolle

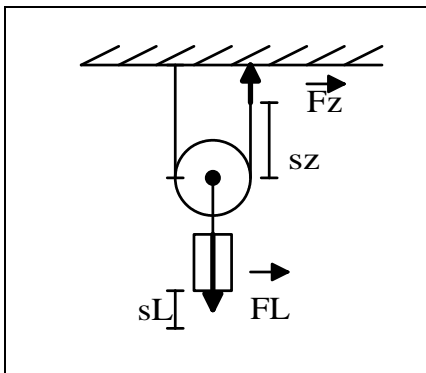
V 1: Eine Last L wird mittels fest montierter Rolle und Seil gehoben.



Ergebnisse: $F_Z = F_L$, $s_Z = s_L$.

Seil und feste Rolle zusammen ändern Angriffspunkt und Richtung der Kraft, nicht aber den Betrag. Kraftweg s_Z und Lastweg s_L sind gleich lang.

V 2:



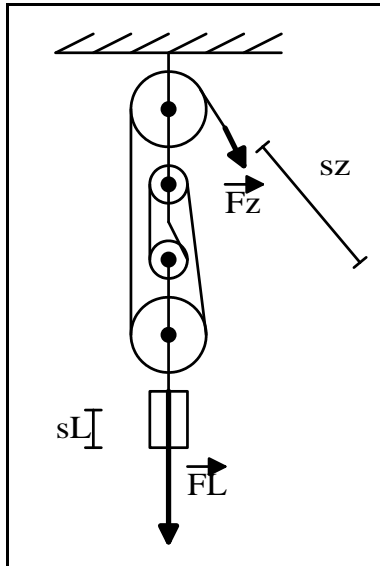
Ergebnisse: $F_Z = \frac{1}{2} \cdot F_L$, $s_Z = 2 \cdot s_L$.

Die lose Rolle verteilt eine Last F_L gleichmäßig auf zwei Seilstränge. Zum Ziehen an einem Seilstück ist die Kraft $F_Z = \frac{1}{2} \cdot F_L$ nötig. Der Lastweg s_L ist halb so lang wie der Zugweg s_Z .

Der Flaschenzug

Eine Kombination aus losen und festen Rollen heißt Flaschenzug. Der klassische Flaschenzug besteht aus gleich vielen losen und festen Rollen.

V.:

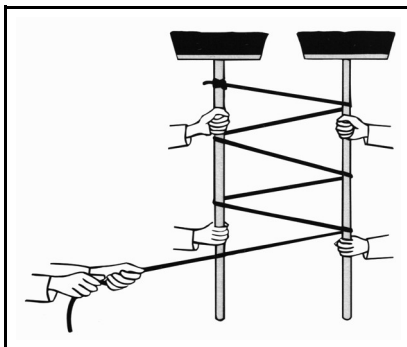


Ergebnis: $n = 4 \Rightarrow F_Z = 1/4 \cdot F_L, s_Z = 4 \cdot s_L$.

Am Flaschenzug mit n tragenden Seilstücken herrscht Gleichgewicht, wenn zwischen Zugkraft F_Z und Lastgewicht F_L der Zusammenhang $F_Z = \frac{1}{n} \cdot F_L$ herrscht. Dann ist der Zugweg s_Z n -mal so lang wie der Lastweg s_L .

An einem einfachen "Besenstiel-Flaschenzug" lässt sich das Flaschenzug-Prinzip leicht nachvollziehen:

Versuch:



Zwei Assistenten versuchen, die Besenstiele auseinander zu halten, während ein dritter Assistent an dem einen Seilende zieht und die beiden Besenstiele leicht zusammenziehen kann.

Anmerkungen:

1. Die Gleichungen weiter oben gelten nur unter idealen Bedingungen: Das Gewicht der losen Rollen muss vernachlässigbar sein.
2. Beim "Besenstiel-Flaschenzug" ist die Reibung so groß, dass die obigen Gleichungen versagen. Das Flaschenzug-Prinzip kann damit nur qualitativ demonstriert werden.

Goldene Regel der Mechanik

Bei loser und fester Rolle gilt $F_Z \cdot s_Z = F_L \cdot s_L$.

Beim Flaschenzug mit n tragenden Seilstücken gilt:

$$F_Z \cdot s_Z = \frac{1}{n} \cdot F_L \cdot n \cdot s_L = F_L \cdot s_L.$$

Die Ergebnisse der bisherigen Versuche können daher so zusammengefasst werden:

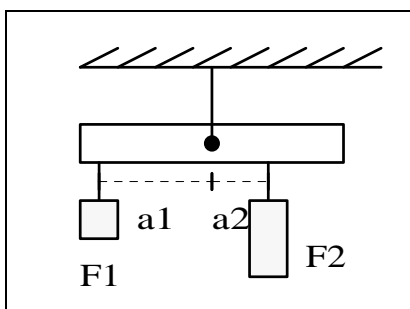
Mit Kraftwandlern kann Kraft gespart werden. Was an Kraft gespart wird, muss an Weg zugegeben werden (Goldene Regel der Mechanik).

Hebel, Drehmoment

Mit einer Stange, die um einen festen Körper drehbar ist, gelingt es, schwere Körper zu heben. Weitere Geräte, bei denen an einem drehbaren starren Körper verschiedene Kräfte in verschiedenen Abständen vom Drehpunkt wirken, sind Nussknacker, Balkenwaage, Schubkarren usw. Alle diese Geräte sind Hebel.

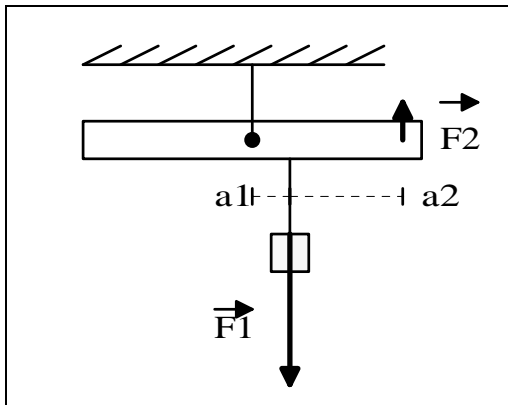
Definition: Ein um eine feste Achse drehbarer starrer Körper heißt Hebel.

V 1:



Ergebnis: Am zweiarmigen horizontalen Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn $F_1 \cdot a_1 = F_2 \cdot a_2$ gilt.

V 2:

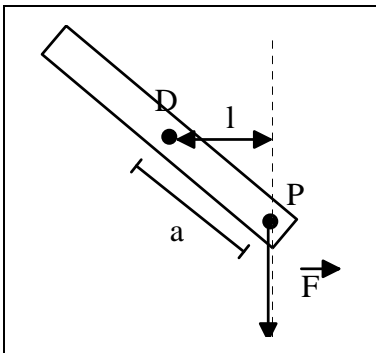


Ergebnis: Am einarmigen horizontalen Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn $F_1 \cdot a_1 = F_2 \cdot a_2$ gilt.

Auswertung: $F_1 \cdot a_1 = F_2 \cdot a_2 \Leftrightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{a_2}{a_1}$.

Am Flaschenzug mit n tragenden Seilstücken herrscht Gleichgewicht, wenn zwischen Zugkraft F_Z und Lastgewicht F_L der Zusammenhang $F_Z = 1/n \cdot F_L$ herrscht. Dann ist der Zugweg s_Z n -mal so lang wie der Lastweg s_L .

Das Produkt aus Kraft und Hebelarm heißt Drehmoment, wenn Krafrichtung und Hebelarm aufeinander senkrecht stehen; sonst nimmt man den Abstand der Wirkungslinie der Kraft vom Drehpunkt (= Kraftarm).



Die Wirkungslinie einer Kraft ist die Gerade, die durch den Angriffspunkt P geht und längs der Krafrichtung verläuft. Den Abstand des Drehpunkts D von der Wirkungslinie nennt man Kraftarm. Das Drehmoment M ist das Produkt aus dem Betrag F der Kraft und dem Kraftarm l : $M = F \cdot l$

Die Gleichgewichtsbedingung am Hebel lässt sich durch Einführung der Begriffe "rechtsdrehendes" bzw. "linksdrehendes" Moment und Zulassung mehrerer angreifender Kräfte verallgemeinern:

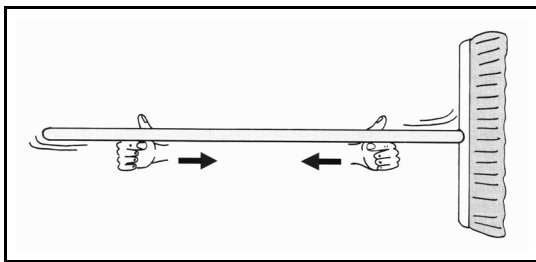
Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn die Summe aller rechtsdrehenden gleich der Summe aller linksdrehenden Drehmomente ist.

Anmerkungen:

1. Zur Kraftersparnis soll man selbst immer "am längeren Hebel sitzen".
2. Um große Drehmomente bei fester Kraft (z. B. Gewicht eines Patienten) zu vermeiden, sollte der Kraftarm möglichst kurz sein (angewinkelter Arm!).

Ein Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn er in seinem Schwerpunkt (= Massenmittelpunkt) unterstützt wird. Dieser lässt sich experimentell ermitteln:

V.:



Der Besen wird an zwei (fast) beliebigen Stellen unterstützt. Wenn man eine Hand auf die andere zu bewegt, dann rutscht man der eine, mal der andere Zeigefinger unter dem Stiel durch, bis sich beide Zeigefinger treffen, ohne dass der Besen nach einer Seite kippt.

Erklärung: Je mehr sich ein Finger dem Schwerpunkt nähert, desto mehr nimmt die vom Besenstiel auf ihn ausgeübte Auflagekraft (und damit die Gleitreibung!) zu. Bei dem in Bezug auf den Schwerpunkt ruhenden Finger nimmt dagegen die Auflagekraft und damit die Haftreibung ab. Als Folge bewegt sich jeweils der weiter vom Schwerpunkt entfernte Finger so lange in Richtung Schwerpunkt, bis die beiden Finger ihre Rollen vertauschen und der andere Finger gleitet.

1.2 Arbeit, Energie, Leistung

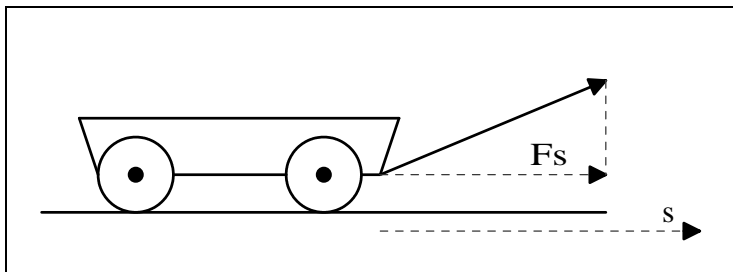
Arbeit

Die Goldene Regel der Mechanik lässt eine weitere Interpretation zu: Ein Kraftwandler hilft Kraft sparen, das Produkt aus Kraft und Weg aber bleibt gleich. Es heißt Arbeit:

Definition: Die Arbeit W wird berechnet durch das Produkt aus dem Weg s und der Kraft F_s in Wegrichtung:

$$W = F_s \cdot s.$$

Die Kraft wird in J (Joule) gemessen.



Anmerkungen:

1. 1 J ist gleich der Arbeit, die verrichtet wird, wenn der Angriffspunkt der Kraft 1 N in Richtung der Kraft um 1 m verschoben wird.
2. 1 J = 1 Nm (Newtonmeter).
3. Eselsbrücke: Man verrichtet die Arbeit 1 J, wenn man eine Tafel Schokolade (100 g Masse => 1 N) um 1 m angehoben wird.
4. Arbeitsformen: Hubarbeit $W_{\text{Hub}} = m \cdot g \cdot h$ (g : Ortsfaktor; $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$),
Beschleunigungsarbeit $W_{\text{Beschl}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2$ (v : Geschwindigkeit).

Energie

Wenn man einen Blumentopf in das Fenster im 1. Stock stellt, kann er herunterfallen, muss aber nicht. Dann würde er Beschleunigungsarbeit und beim Aufprall Verformungsarbeit verrichten. Diese Arbeitsfähigkeit heißt Energie.

Definition: Die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu verrichten, heißt Energie.

Ein fallender Blumentopf hat zunächst nur Lageenergie (potentielle Energie). Mit abnehmender Lageenergie wird er immer schneller, erhält also zuneh-

mend Bewegungsenergie (kinetische Energie). Beim Aufprall wird seine ganze Energie zum Aufbringen der Verformungsarbeit verbraucht.

Anmerkungen:

1. Je mehr Arbeit ein Körper verrichtet, desto weniger Energie hat er.
2. Die Energie eines Körpers wird durch die Arbeit angegeben, die er höchstens verrichten kann.
3. Ein Körper kann höchstens so viel Arbeit verrichten, wie zuvor an ihm verrichtet wurde.
4. Die Gesamtenergie eines realen mechanischen Systems nimmt wegen der Reibung ab.

Erfahrungssatz: Die gesamte mechanische Energie eines reibungsfreien System bleibt erhalten (Energieerhaltungssatz).

Leistung

Beispiel: Von zwei Holzhackern erbringt derjenige die größere Leistung, der in der gleichen Zeit mehr Holz hackt bzw. der dieselbe Menge Holz in kürzerer Zeit hackt als sein Kontrahent.

In der Physik wird die Leistung so definiert:

Definition: Unter der Leistung P versteht man den Quotienten aus der verrichteten Arbeit W und der dazu benötigten Zeit t : $P = \frac{W}{t}$.
Die Einheit der Leistung ist $1 \frac{J}{s} = 1 W = 1 \text{ Watt}$.

Leistungswerte:

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1. Glühlampe: | 20 W - 100 W |
| 2. Fön: | 1000 W |
| 3. Elektroofen: | 1 - 10 kW |
| 4. Elektroloks: | 5000 kW |

Anmerkung:

Als gedankliche Krücke: Jemand erbringt die Leistung $P = 1 W$, wenn er in $t = 1 s$ die Arbeit $W = 1 J$ erbringt, also z. B. eine Tafel Schokolade in 1 s um 1 m anhebt.

1.3 Druck in Flüssigkeiten und Gasen

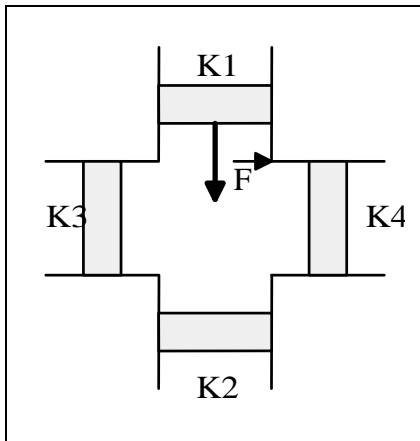
Der Druck

Insbesondere bei Gasen und Flüssigkeiten spielt der Druck eine große Rolle (Wasserdruck, Luftdruck usw.).

V.: Aufpumpen eines Luftballons

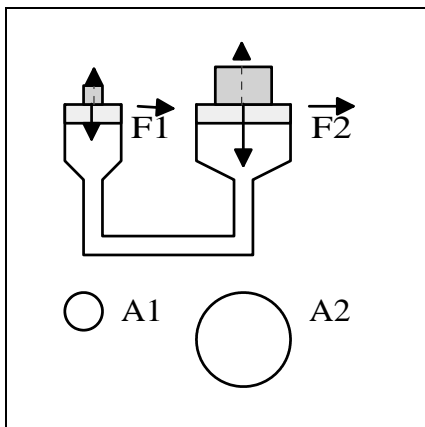
E.: Durch das Einblasen der Luft entsteht eine Kraft (Druckkraft), die die Ballonhaut radial nach außen schiebt. Der Druck in einem Gas äußert sich also in einer Kraft auf die Gefäßwand.

Die allseitige Ausdehnung des Ballons lässt sich mit dem Teilchenmodell leicht erklären:



Die Flüssigkeitsteilchen zwischen den Kolben übertragen die von oben wirkende Kraft auch auf die seitlichen Kolben.

V.: In einem Gefäß wird Spiritus durch zwei leicht verschiebbare Kolben mit verschiedenen Querschnittsflächen A_1 und A_2 eingeschlossen. Die Kolben mit aufgelegten Gewichtsstücken haben die Gewichte F_1 und F_2 .



Ergebnis: Es herrscht Gleichgewicht, wenn gilt:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \text{ also } \frac{F}{A} = \text{const bzw. } F \sim A.$$

Dieser Quotient heißt Druck:

Unter dem Druck p versteht man den Quotienten aus dem Betrag der senkrecht auf eine Fläche der Größe A wirkenden Kraft F und der Größe der Fläche A :

$$p = \frac{F}{A}.$$

Die Einheit des Drucks ist 1 Pa (Pascal) = 1 N/m².

Anmerkungen:

1. Das Gewicht der Luft bewirkt den Luftdruck, der etwa 1000 hPa (= 1000 mbar).
2. Eine Person mit einer Masse $m = 50$ kg ($\Rightarrow F = 500$ N) erzeugt, auf einem Pfennigabsatz ($A = 1$ cm² = 10^{-4} m²) stehend, einen Druck von $p = 5 \cdot 10^6$ Pa = 5 MPa.

Anwendungen des Drucks

a) Die hydraulische Presse

Die Vorrichtung des letzten Versuchs lässt sich zur Weiterleitung und Verstärkung von Kräften benutzen. Mit einer kleinen Kraft F_1 am linken Kolben lässt sich einer größeren Kraft F_2 am rechten Kolben das Gleichgewicht halten.

b) Blutdruckmessgeräte zeigen durch die Höhe einer Quecksilbersäule den Blutdruck im Körperinnern an.

c) Beim raschen Überwinden eines Höhenunterschieds verspürt man einen Druck auf das Ohr, bis durch mehrmaliges Schlucken ein Druckausgleich erfolgt.

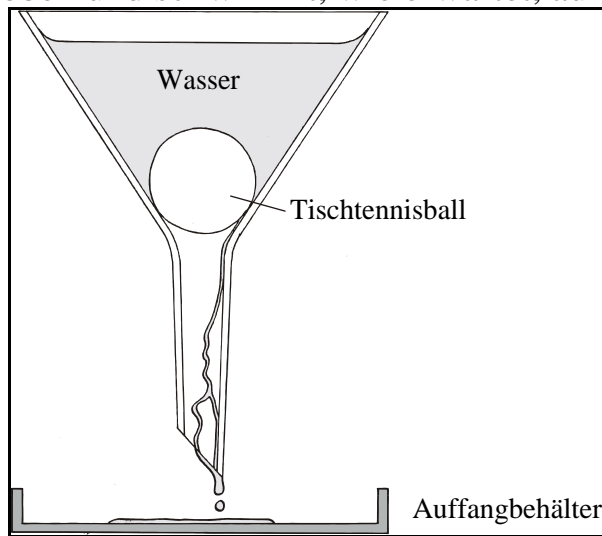
d) Der Schweredruck von Flüssigkeiten ist nur von der Höhe der Flüssigkeitssäule abhängig. Verbundene Gefäße haben deshalb überall dieselbe Flüssigkeitshöhe (Schlauchwasserwaage, Geruchsverschluss).

e) Eine Folge des hydrostatischen Drucks ist der Auftrieb, die scheinbare Gewichtsverminderung von Körpern in Flüssigkeiten. Die Auftriebskraft und das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit sind dabei gleich. Schwere Körper (z. B. Patienten) erscheinen daher in Flüssigkeiten nicht so schwer wie "an Land".

f) Der Tischtennisball im Trichter

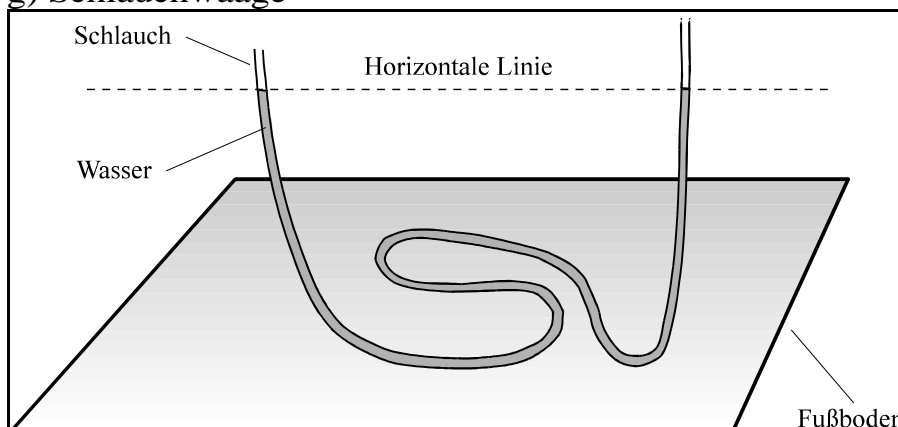
Ein Tischtennisball wird in einen Trichter gelegt. Diesen hält man über einen Auffangbehälter und schüttet Wasser hinein. Der Tischtennisball schwimmt nicht etwa auf der Wasseroberfläche, sondern bleibt im Trichter liegen (Schnittzeichnung siehe Abb. 1) und dichtet die Ausflussöffnung mehr oder minder gut ab. Der Tischtennisball bleibt so lange an der Ausflussöffnung des Trichters, bis man den Trichter unten zuhält und so ein

Ausfließen des Wassers verhindert. Dann steigt der Tischtennisball nach oben und schwimmt, wie erwartet, auf dem Wasser.



Erklärung: Für den Auftrieb eines Gegenstands in einer Flüssigkeit ist der hydrostatische Druck der ihn umgebenden Flüssigkeit verantwortlich. Dieser Druck ist an der Oberseite eines Körpers kleiner als an der Unterseite, da der hydrostatische Druck mit der Tiefe zunimmt. Dieser Druckunterschied bewirkt die Auftriebskraft, die bekanntlich betragsgleich der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit ist. Bei diesem Experiment fehlt dem Tischtennisball zunächst der hydrostatische Druck von unten, da das Wasser ungehindert aus dem Trichter fließen kann und sich so keine Wasserschicht unter dem Tischtennisball ausbilden kann. Der Tischtennisball bleibt unter Wasser. Erst wenn man das Wasser am Ausfließen hindert, bildet sich unter dem Tischtennisball eine Wasserschicht und damit baut sich ein hydrostatischer Druck von unten auf. Der Tischtennisball erfährt jetzt eine hinreichend große Auftriebskraft, steigt zur Wasseroberfläche und schwimmt.

g) Schlauchwaage



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.