

Versuche:

1. Waagen-Masse auf Federwaage in Wasser untergetaucht.¹

Gewicht vorher: N

scheinbares Gewicht nachher: N

Differenz: F_A = N

1 ml Wasser wiegt ca. 0,01 N

2. Experiment unter Vakuumglocke: Styroporkugel erfährt in Luft Auftrieb.²

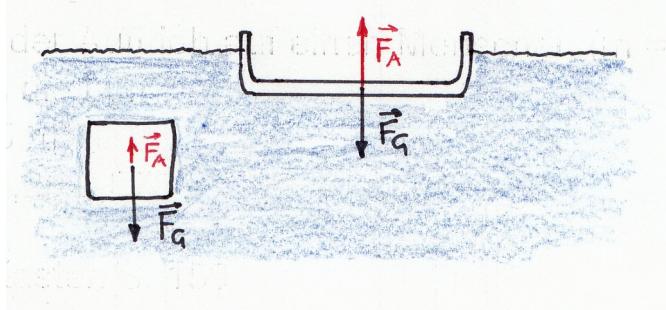
Beachte: F_A hängt nicht vom Gewicht und der Form des untergetauchten Körpers ab! Auch nicht von der Tauchtiefe!

Wohl ist die Auswirkung des Gewichts bzw. der Dichte ρ_K des Körpers folgende:³

1. Gewicht größer als Auftrieb ($\rho_K > \rho_{Flüss.}$) \Rightarrow Körper sinkt.
2. Gewicht kleiner als Auftrieb ($\rho_K < \rho_{Flüss.}$) \Rightarrow Körper steigt.
3. Gewicht gleich Auftrieb ($\rho_K = \rho_{Flüss.}$) \Rightarrow Körper schwebt.

Schwimmen

Bsp.: Ein Eisenblock ($m = 1$ t) geht i. A. in Wasser unter. Wenn man aus dem Eisen eine Schale formt, ergibt sich bei einer gewissen Eintauchtiefe ein Gleichgewicht aus Auftriebskraft und dem Gewicht des Eisens. Dabei muss also genau 1t Wasser verdrängt werden.⁴



1 Alternativ kann man auch den etwas anderen Versuch vom folgenden Video ansehen: [youtube.com/watch?v=df3Dydy2CRA](https://www.youtube.com/watch?v=df3Dydy2CRA)

2 [youtube.com/watch?v=Yw_5r5tmEkl](https://www.youtube.com/watch?v=Yw_5r5tmEkl) Kurz: Luft ist auch wie „leichtes Wasser“ und bewirkt auf große Körper einen nicht unbedeutenden Auftrieb. Wenn man die Luft wegnimmt, fällt dieser weg und die Styroporkugel wird scheinbar schwerer. In Wirklichkeit ist der Auftrieb nur geringer geworden. Sie war immer schon schwerer.

3 Jetzt also schauen wir uns an, wie das Gewicht des Körpers ins Spiel kommt. Es ist klar: Wenn der Körper leichter („weniger dicht“) als die Flüssigkeit ist, so ist seine Gewichtskraft geringer als die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit, also geringer als die Auftriebskraft. Der Körper steigt auf, wenn er losgelassen wird. Erkläre die Fälle 1 und 3 mit ähnlichen Worten selbst.

4 Etwas anders formuliert: Wir formen aus Eisen eine Schale und verdrängen damit Wasser. Wenn ich es zu tief eintauche, so verdränge ich damit viel Wasser und die Auftriebskraft ist größer als die Gewichtskraft. Wenn es es zu wenig tief eintauche, so habe ich wenig Wasser verdrängt, sodass die Auftriebskraft zu klein ist. Dazwischen liegt irgendwo der Punkt, wo beide gleich sind. Dort schwimmt die Schale aus Eisen. Wenn man also fragt, warum ein Schiff aus Eisen schwimmt, obwohl Eisen doch schwerer als Wasser ist, ist die Antwort: Das Schiff besteht (unter anderem) aus Eisen und Luft. Beides zusammen ist leichter als Wasser.

Etwas kindisch, aber physikalisch richtig, ist es im folgenden Video für Knetmasse erklärt: [youtube.com/watch?v=KW2aV7HOsfQ](https://www.youtube.com/watch?v=KW2aV7HOsfQ)

Ein schwimmendes Objekt verdrängt genau das Gewicht an Flüssigkeit, das dem eigenen Gewicht entspricht.

Versuch:⁵ Messbecher mit Loch, Holz-/Paraffinstück wird hineingelegt.

m des übergelaufenen Wassers = m des Holz-/Paraffinstücks

Eisberge, Nordpolkappe: Wenn sie schmelzen, steigt der Wasserspiegel nicht.⁶

Beispiele Schwimmen/Auftrieb:

- Messtechnik: Aräometer (Dichtemesser über Eintauchtiefe eines Röhrchens, Versuch⁷)
- Kamineffekt, thermische Aufwinde, Kaltluftseen⁸, CO₂-Seen⁹
- Tiefgang von Schiffen¹⁰
- U-Boot: : Abtauchen durch Fluten von Wasserkammern, Auftauchen durch Pressluft¹¹
- Fast alle Metalle schwimmen auf Quecksilber ($\rho = 13,5 \text{ kg/l}$)¹²
- Im salzreichen Toten Meer ($\rho = 1,24 \text{ kg/l}$) treibt man ohne Mühe.¹³

5 Den Versuch kannst du im Video [youtube.com/watch?v=4tnPfnuY42I](https://www.youtube.com/watch?v=4tnPfnuY42I) im Bereich 1:01-3:16 nachsehen: Das Plastilin-Boot hat eine Masse von 50 g und es fließen 50 g Wasser über. Wir verwenden ein Stück Holz oder Paraffin (Kerzenwachs).

6 Schwimmendes Eis verdrängt ja genau das Volumen an Wasser, die seinem Gewicht entspricht. Wenn es schmilzt, nimmt das Schmelzwasser genau dieses Volumen ein. Das mutet etwas komisch an, doch ist der Grund dafür ganz einfach: Eis zieht sich beim Schmelzen zusammen. Wenn das Eis der Antarktis, das auf Land aufliegt, schmilzt, steigt der Meeresspiegel.

7 mit Spiritus (oder alkoholisches Getränk), Salzwasser, Süßwasser, fettarmer/-reicher Milch: Je leichter die Flüssigkeit, desto tiefer taucht das Aräometer ein. Videos: [youtube.com/watch?v=y79QBfKEwnY](https://www.youtube.com/watch?v=y79QBfKEwnY) und in der Bastel-Version [youtube.com/watch?v=fQI89P9ucy8](https://www.youtube.com/watch?v=fQI89P9ucy8)

8 Heiße Luft in einem Ofen ist wesentlich weniger dicht als kalte, deswegen steigt sie in einem Kamin auf. So etwas kann auch an von der Sonne beschienenen Felswänden passieren, wo sich z.B. Segelflugzeuge an den „thermischen Aufwinden“ hochschrauben können. In einem Tal kann sich außerdem kalte Luft länger sammeln.

9 Kohlendioxid (CO₂) ist deutlich schwerer als Luft. Deswegen sammelt es sich z.B. in Gruben oder Kellern, in denen es durch Abfälle, Abwässer, Fäkalien, Dung, alkoholische Gärung usw. gebildet wird. Das ist sehr gefährlich, weil man daran sehr schnell erstickt kann. Wenn man also in einen Weinkeller geht, kann man eine Laterne mitnehmen: Die Kerze geht aus Luftmangel aus, bevor es für einen selbst gefährlich wird, weil sie ja ca. 1 m unterhalb des Mundes liegt.

Versuch: CO₂ aus ausgedientem Feuerlöscher oder selbst hergestellt mit Essig und Speisesoda: Seifenblasen schwimmen darauf ([youtube.com/watch?v=Cc_cgiCDhh0](https://www.youtube.com/watch?v=Cc_cgiCDhh0)) Noch besser: Ein „Schiff“ aus Alufolie kann auch auf CO₂ schwimmen: [youtube.com/watch?v=N9vvJQniYsc](https://www.youtube.com/watch?v=N9vvJQniYsc)

10 Beladen/Entladen: Es ist klar, wenn ein Transportschiff beladen wird, taucht es tiefer ins Wasser ein. Bild: marineinsight.com/wp-content/uploads/2020/01/draft1-1024x433.png

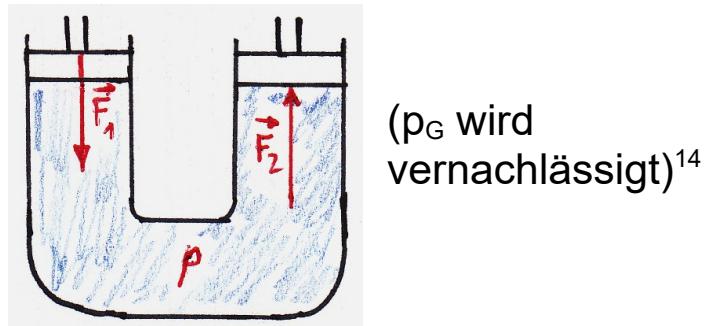
11 Schau dir dazu die Animation auf leifiphysik.de/mechanik/druck-und-auftrieb/ausblick/u-boot an.

12 [youtube.com/watch?v=Frnf8LSIDks](https://www.youtube.com/watch?v=Frnf8LSIDks)

13 Z.B.: [youtube.com/watch?v=APRQjeZlrls](https://www.youtube.com/watch?v=APRQjeZlrls)

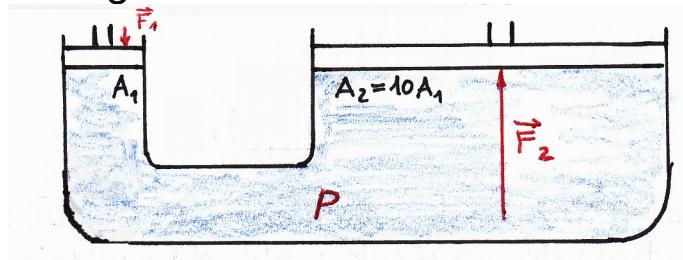
Hydraulisches Prinzip

Das Druckfortpflanzungsgesetz bewirkt, dass der Druck und damit die Kraft auf beide Kolben gleich sind:



z.B. $p=100 \text{ N/dm}^2$ ($=10.000 \text{ Pa}$ ¹⁵), Kolben mit 1 dm^2
 $\Rightarrow F_1 = F_2 = 100 \text{ N}$

Ungleiche Kolben bei gleichem Druck: ¹⁶



Kolben 1: $1 \text{ dm}^2 \Rightarrow F_1 = 100 \text{ N}$
Kolben 2: $10 \text{ dm}^2 \Rightarrow F_2 = 1000 \text{ N}$

Allgemein kann man berechnen:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 \\ \frac{F_1}{A_1} &= \frac{F_2}{A_2} \quad | \cdot A_1, :F_2 \\ \frac{F_1}{F_2} &= \frac{A_1}{A_2} \end{aligned}$$

hydraulisches Prinzip

Das hydraulische Prinzip besagt, dass die eine Vervielfachung der Kolbenfläche eine Vervielfachung der Kraft bewirken kann. (Nach der goldenen Regel der Mechanik allerdings auf Kosten eines kleineren Weges – wie beim Hebel und Flaschenzug)

14 Da dieser Apparat klein ist, vernachlässigen wir den Schweredruck p_G , der unten einen etwas höheren Druck als oben bewirkt. Er macht im Vergleich zu den in solchen Systemen üblichen Drücken von vielen bar ohnehin sehr wenig aus.

15 $100 \text{ N/dm}^2 = 100 \text{ N/0,01m}^2 = 10000 \text{ N/m}^2 = 10000 \text{ Pa}$

16 Wieder ist auf beiden Seiten der gleiche Druck, aber dieser wirkt auf der rechten Seite auf eine 10mal so große Fläche. Da Druck gleich Kraft pro Flächeneinheit ist, und wir auf der rechten Seite 10mal so viele Flächeneinheiten haben, ist das Kraft auch 10mal so groß.

Ein ganz gutes Erklärvideo ist 1:20 - 3:00 von: [youtube.com/watch?v=4RBa8IXMZdo](https://www.youtube.com/watch?v=4RBa8IXMZdo) (Allerdings ist die Flüssigkeit in einem solchen System Öl und nicht Wasser.)

Etwas anders erklärt wird es im Bereich 2:40 - 5:07 vom Video: [youtube.com/watch?v=jm10jQRsMSg](https://www.youtube.com/watch?v=jm10jQRsMSg)

In den ersten 3 Sekunden des Videos [youtube.com/watch?v=ZS-JkEqVONQ](https://www.youtube.com/watch?v=ZS-JkEqVONQ) siehst du, wie sich das ganz einfach experimentell realisieren lässt. Man braucht nur 2 Spritzen mit verschiedenen Durchmessern. Ich werde das als Versuch vorzeigen: Der mit der kleineren Spritze ist immer „stärker“.

Anwendungen: Hydr. Presse (Modell¹⁷), hydr. Hebebühne, hydr. Bagger¹⁸, hydr. Bremsen

17 Prof. J.S. Miller bedient ein Modell in 5:32 - 7:16 im Video youtube.com/watch?v=FyCONdQLwBg Die Kraft in Tonnen statt in N zu messen ist freilich amerikanisch.

18 Bei allen hydraulischen Anlagen wird die hohe Kraft – wie z.B. beim Bagger – durch Öldruck erzeugt, der auf einen Kolben passenden Durchmessers drückt. Beim Fahrrad gibt es ja zwei Typen von Bremsen: Solche mit Seilzügen und solche mit Öldruck. Die Seilzüge haben den Nachteil, dass sie besonders bei Biegungen Reibung ausgesetzt sind und damit Kraft vergeuden. (Dafür sind sie im Falle eines Defekts einfacher zu warten.)