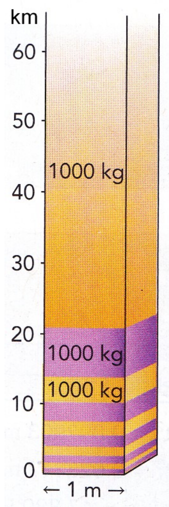
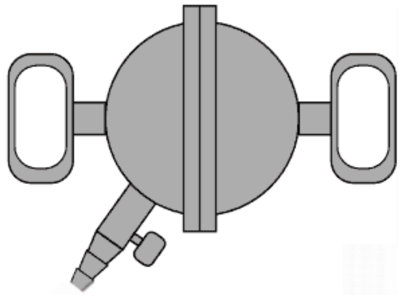


Druck in der Atmosphäre

Gase sind komprimierbar, deswegen tritt ein nach unten hin stark steigender Druck auf. Der Druck auf Meereshöhe beträgt (normgemäß) 1013,25 hPa (=mbar) ≈ 1bar [1], entsprechend dem Gewichtsdruck von ca. 10.000 kg/m²! [2]



Versuche[3]: Luftballon im Vakuum[4], Magdeburger Halbkugeln[5] →

Originalversion[6]: r ≈ 0,25m ⇒ $A = r^2\pi = 0{,}20\text{m}^2$ [7]

$p=\frac{F}{A}$ ⇒ F = p·A ≈ 100.000·0,20 = <u>20.000 N</u> (8 Pferden zu schwer!)

Der Luftdruck nimmt mit der Höhe „exponentiell“ ab (barometrische Höhenformel)[8]: Bei 5.500 m Höhe ist er nur noch die Hälfte, auf (2·5500=)11.000 m ein Viertel, auf (3·5500=)16.500 m ein Achtel usw.[9]

---

1 1013,25 hPa = 101325 Pa, also ca. 100.000 Pa und damit 1 bar.

2 100.000 N sind die Gewichtskraft von ca. 10.000 kg.
Schau genau: Es sind im Bild 10 „Luftpakete“ zu 1000 kg. Wir erkennen, dass Luftpakete unten stark zusammengedrückt sind.
Bildquelle der Luftsäule: L. A. Bloomfield: How Things Work. 5th ed. , p. 150

3 Ein weiterer spektakulärer Versuch über die Größe des Luftdrucks, den ich im Physiksaal gerne vorführe: youtube.com/watch?v=5lpOLPVzsCY. Vorher muss man ein wenig Wasser in der Dose kochen, sodass der Wasserdampf die Luft verdrängt. Wenn man diese dann zuschraubt und abkühlt, sodass der Wasserdampf wieder zu Wasser kondensiert, ist in der Dose fast nichts mehr, also ein Unterdruck (Vakuum), und sie implodiert. Beachte: <u>Der äußere Luftdruck zerdrückt die Dose.</u> Jede andere Erklärung ist falsch.
In kleinerer Ausführung kann man das auch daheim machen: youtube.com/watch?v=PEKO1D_GUXo
Es geht auch in ganz Groß: youtube.com/watch?v=VS6IckF1CM0

4 Vom Video youtube.com/watch?v=wY61h4mHsBI 0:00-1:30 (nicht weiter schauen, die Erklärung ist falsch.)
oder evtl. auch – ganz lustig: youtube.com/watch?v=ruNLmLJp3tE (Wenn jemand eine Schwedenbombe mitnimmt, können wir diesen Versuch auch machen.)

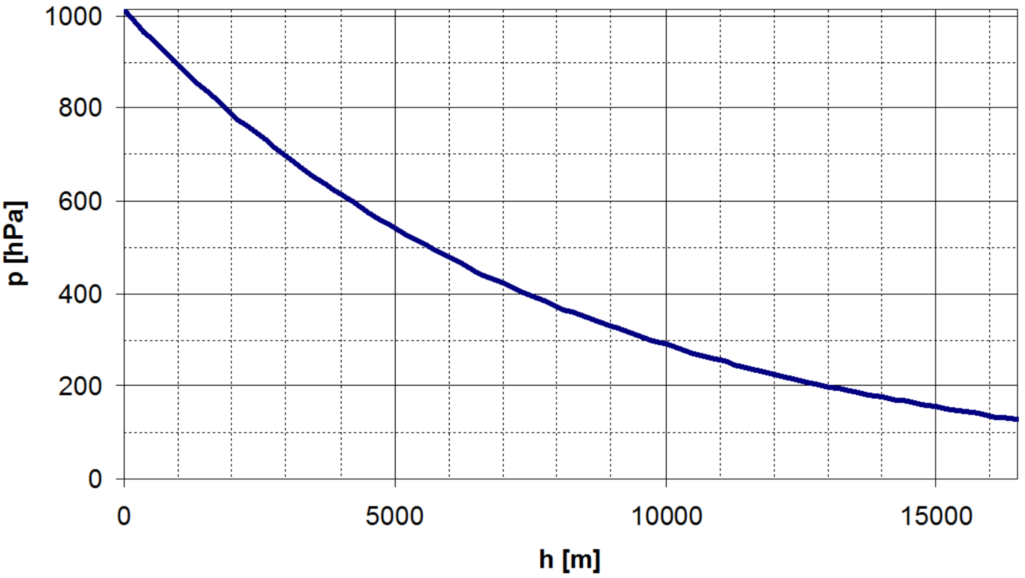
5 Das bitte unbedingt im Voraus ansehen: youtube.com/watch?v=aQXjQL7GQco, evtl. auch in einer längeren Version: youtube.com/watch?v=vnkSDGtUt4E

6 der Magdeburger Halbkugeln. Wir haben in der Physiksammlung eine verkleinerte Version.

7 Das ist die Querschnittsfläche. Diese ist für uns relevant.

8 Da ihr die Exponentialfunktion in der Mathematik noch nicht gelernt habt, schreibe ich die Formel nicht an, sondern erkläre sie so und mit einem Diagramm.
Der Luftdruck variiert freilich auch mit dem Wetter, allerdings nur um wenige hPa.
Man kann also vom Luftdruck in etwa auf die Höhe schließen. So funktionieren barometrische Höhenmesser, wie sie auf Sportuhren zu finden sind.
Beachte: Die barometrische Höhenformel ist nur ein „Modell“ für die Wirklichkeit, noch dazu ein recht grobes. Es gibt bessere Näherungen z.B. „Normatmosphäre“, siehe Wikipedia-Artikel . Diese sind aber nicht mehr so einfach zu berechnen.

9 Bei den „Stratosphärensprüngen“ von Kittinger und Baumgartner war die Ausgangshöhe rund 7·5500 = 38500m: Das ergibt $1/2^7 = 1/128 \approx 0{,}8\%$ des Lufdrucks, also praktisch gar nichts mehr. Sie brauchten einen Raumanzug, um dort zu überleben.



Lies den Luftdruck in Innsbruck (ca. 570 m), auf dem Großglockner (ca. 3800 m) und dem Mount Everest (ca. 8850 m) ab![10]

<u>Anwendung des Luftdrucks:</u> Saugnäpfe, Staubsauger[11]; Saugpumpen (vgl. Strohhalm). Das Ansaugen entfernt die Luft über dem Wasser, der Luftdruck über dem restlichen Wasser drückt dieses in die Leitung. Das Saugen allein bewirkt keine Kraft!
→ Wie hoch kann eine Saugpumpe maximal pumpen?
Antwort: bei Wasser ca. 10 m entsprechend dem Gewichtsdruck von 1 bar[12]

<u>Beachte:</u> Der Luftdruck weißt darauf hin, dass Luft eine wesentliche Masse von über 1 kg/m³ hat. Er stammt von „Bombardement“ der sehr schnellen Luftteilchen auf eine Oberfläche.[13]

Versuch: Saugheber mit zwei Gefäßen in verschiedenen Höhen aufgestellt und Schlauch.[14]
Saugen mit dem Mund[15]: Funktioniert bei Höhe >2m, wenn man immer wieder mit Zunge abdichtet und wieder Luft holt. Drücken funktioniert bei weitem nicht so weit.

---

10 Lösung: ca. 950 hPa, 630 hPa, 335 hPa

11 Ein einfacher Saugnapf, den man z.B. im Bad auf die Fließen drückt, hält nur, weil der Luftdruck ihn ständig hin drückt. Ein Staubsauger heißt auf Englisch „vacuum cleaner“. Tatsächlich drückt der äußere Luftdruck den Staub hinein. Der Staubsauger bewirkt nur einen gewissen Unterdruck (ein leichtes Vakuum) im Schlauch. Siehe unten. Eigentlich ist Saugen also das falsche Wort.
Wie fühlt sich Vakuum an? Wie ein Staubsaugerrohr auf der Haut, nur viel stärker. Schon dieser kann zum Platzen von Blutgefäßen führen. („Knutschfleck“)

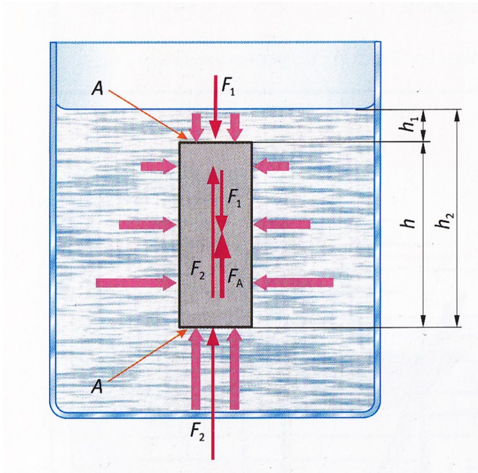
12 … wenn man sich ca. auf Meereshöhe befindet und der Luftdruck auch 1 bar beträgt.

13 wieder: Die Luftteilchen erzeugen den Druck <u>nicht</u>, weil sie „Platz“ brauchen, sondern aus dem genannten Grund. Die mittlere Geschwindigkeit von Sauerstoff-Molekülen bei 27°C beträgt 1600 km/h!

14 0:00-2.00 youtube.com/watch?v=D9kSqTjb1lk mit der Erklärung von 5:00-5:35.

15 Wenn man sich also auf den Tisch stellt, und versucht, ein Glas, das am Boden steht, mit einem Schlauch (oder sehr langem Strohhalm) auszusaugen. Oder umgekehrt: Man versucht, Wasser mit dem Mund in einen Schlauch nach oben zu drücken.

Auftrieb



[16]

Die Auftriebskraft ergibt sich als Differenz der Kräfte F_2 und F_1:

$F_1 = p_1 \cdot A \qquad F_2 = p_2 \cdot A$ [17]

$F_1 = \varrho \cdot g \cdot h_1 \cdot A \qquad F_2 = \varrho \cdot g \cdot h_2 \cdot A$ [18]

$F_2 - F_1 = \varrho \cdot g \cdot h_2 \cdot A - \varrho \cdot g \cdot h_1 \cdot A = \underline{g \cdot \varrho \cdot (h_2 - h_1) \cdot A}$ [19]

$V = (h_2 - h_1) \cdot A$ … Volumen der verdrängten Flüssigkeit[20]

$m = \varrho \cdot (h_2 - h_1) \cdot A$ … Masse " " " [21]

$F_G = g \cdot \varrho \cdot (h_2 - h_1) \cdot A$ … Gewicht " " " [22]

Archimedisches Prinzip: Die Auftriebskraft entspricht der Gewichtskraft der/des verdrängten Flüssigkeit/Gases: $F_A = g \cdot \varrho \cdot V$ [23]

---

16 Wir tauchen also eine zylinderförmig Dose ins Wasser und schauen uns die Druckverhältnisse an. Jeder weiß aus Erfahrung, dass eine solche Dose, wenn man sie ins Wasser taucht, leichter wird. (Ob sie, wenn man sie loslässt, untergeht, aufsteigt oder vielleicht sogar schwebt, schauen wir uns später an.) Wir fragen uns nun, woher diese sogenannte „Auftriebskraft" kommt.
Zeichne es vereinfacht ab. Es reichen die dunkelroten Pfeile. Die helleren Pfeile zeigen den Druck an. Man sieht, dass die Drücke, die von rechts und links kommen, sich gegenseitig aufheben, wohingegen die Drücke von oben und unten sich nicht aufheben: Von oben wirkt ein Druck, der die Kraft F_1 ergibt, von unten einer, der die größere Kraft F_2 ergibt. Der Druck in größerer Wassertiefe ist ja höher. Dadurch ergibt sich als resultierende Kraft die Auftriebskraft F_A, die wir nun berechnen werden.

17 Die Herleitung ist lang, aber nicht schwierig. Schauen wir sie uns Schritt für Schritt durch.
Als erstes findet man hier die umgeformte Formel für den Druck ($p = F/A$). Die Fläche A ist sowohl die Deckel- als auch die Grundfläche der Dose – siehe Zeichnung.

18 Als nächstes setzen wir für den Druck jeweils die Formel für den Schweredruck in einer Flüssigkeit ein, also $p = \varrho \cdot g \cdot h$, wie wir es gelernt haben.

19 Nun subtrahieren wir die Kräfte und heben $\varrho \cdot g \cdot A$ heraus. Das Unterstrichene ist schon die Auftriebskraft. Da die Formel aber sehr kompliziert aussieht, analysieren wir sie noch ein wenig.

20 In der Mathematik lernt man, dass ein Körper wie z.B. ein Zylinder oder ein Quader als Volumen Grundfläche mal Höhe hat, also $V = A \cdot h$. Die Höhe h ist hier $h_2 - h_1$ (siehe Zeichnung).

21 Wir wissen auch: Dichte $\varrho = m/V$, also ist $m = \varrho \cdot V$.

22 Und schließlich ist die Gewicht(skraft) $F_G = m \cdot g$.
Ich weiß, das war jetzt sehr viel. Da wärst du nicht selbst drauf gekommen. Aber nachvollziehen soll man die einzelnen Schritte schon können. Wenn du es nochmals erklärt haben willst: Das Video youtube.com/watch?v=NyV8tPmwA6I macht es ganz ähnlich.
Das Gute daran ist: Wir haben uns viel Arbeit angetan und kommen auf ein ganz einfaches Prinzip, wie es im Kasten dann aufgeschrieben ist.

23 1) Achtung:Für ϱ muss man die Dichte der verdrängten Flüssigkeit einsetzen und nicht die Dichte des Materials, das untergetaucht wird – ein häufiger Fehler. Die Auftriebskraft hängt nicht davon ab, ob der untergetauchte Körper leicht oder schwer ist! (Wir werden gleich noch lernen, das das Gewicht des Körpers freilich wesentlich ist dafür, ob der Körper, wenn er losgelassen wird, sinkt, schwebt oder steigt.)
2) Das archimedische Prinzip gilt für beliebig geformte Körper. Das beweisen wir jetzt nicht.