2.5 Flüssigkeiten und Gase

Stempeldruck

366

a) 10 hPa; 0.01 bar; 10 mbar
b) 102'000 Pa; 1.02 bar; 1020 mbar
c) 60'000 Pa; 600 hPa; 600 mbar
d) 95'000 Pa; 950 hPa; 0.95 bar
e) $\approx$ 2.4 bar
f) $\approx$ 2.9 at; $\approx$ 2.9 bar

367

a) mmHg, Millimeter Quecksilbersäule
b) $p = \rho_{\mathrm{Hg}} g h$; 11 kPa, 16 kPa

368

Bei allen Erfahrungen gilt: Der Druck nimmt zu, je kleiner die Fläche ist, auf die eine Kraft einwirkt.

a) Auf der weichen Matratze verteilt sich das gesamte Körpergewicht auf eine viel grössere Fläche, da sich die weiche Matratze an den Körper anschmiegt. Der Druck auf die einzelnen Körperpartien (insbesondere am Kopf und an den Schulternblättern) nimmt ab.

b) Die Last des Rucksacks verteilt sich besser auf die Schultern, wenn die Tragriemen breit sind. Der Druck auf die einzelne Schulter nimmt wegen der grösseren Kontaktfläche ab.

c) Da die Hände eine viel kleinere Fläche als das Snowboard haben, erzeugen Sie einen grösseren Druck und bohren sich daher auch tiefer in den Schnee hinein.

d) Das ganze Körpergewicht verteilt sich auf wenige Steinsplitter, was zu grossem Druck führt.
$A = \frac{F}{p} = \frac{mg}{p}$; 2.9 cm^2 für eine Masse von 60 kg.

369

a) $p = \frac{F}{A}$; 59 kPa
b) $1.2 \cdot 10^5$ Pa
c) 9.8 MPa
d) 2.5 kPa
e) $2 \cdot 10^8$ Pa

370

$$F = \frac{2}{3} mg = A \cdot \Delta p \Rightarrow \Delta p = \frac{2mg}{3A} = 40 \text{ hPa}$$

371

a) $A = \dfrac{V}{h} = 2.95 \cdot 10^3\ \mathrm{m}^2$ $A = \pi r^2 \Rightarrow d = 2r = 61.3\,\mathrm{m}$

b) $p = \dfrac{mg}{A} = 4.01\,\mathrm{kPa}$

372

a) $F_1 = F_2 \dfrac{r_1^2 \pi}{r_2^2 \pi}$; 1.1 kN

b) $W = F_2 s_2$; 40 J

c) gleicher Druck in beiden Kolben: $\dfrac{F_1}{A_1} = \dfrac{F_2}{A_2}$

Flüssigkeit nicht komprimierbar: $s_1 A_1 = s_2 A_2$

daraus folgt $F_1 s_1 = F_2 s_2$

373

$\Delta V = -\chi p V$; $-5\ \mathrm{dm}^3$; 5 ‰

Schweredruck

374

a) Der Schweredruck einer Flüssigkeit hängt nur von der Dichte und Höhe der Flüssigkeitssäule ab.

b) Nein. Auf der Wasser-Seite der Mauer addiert sich zum Schweredruck des Wassers näherungsweise der gleiche Luftdruck, der auf der wasserfreien Seite allein wirksam ist.

375

$F = (p_L + \rho g h) A$; 59 N

376

$p = p_L + \rho_W g h = 988\ \mathrm{hPa}$

377

$\rho_x = \dfrac{\rho_W \cdot (h_1 - h_4) - \rho_{\mathrm{Hg}} \cdot (h_3 - h_4)}{h_2 - h_3}$; $790\ \mathrm{kg/m^3}$

378

Der mittlere Druck auf die Scheibe beträgt $p = \rho g \frac{b}{2}$, die gesamte Kraft ist also

$F = \rho g(h_0 + \frac{b}{2})lb$;   78 kN

379

a) Das Döschen wurde wahrscheinlich im Unterland abgefüllt und zugeschweisst. Die eingeschlossene Luft hat den beim Auffüllen herrschenden Luftdruck, etwa 1 bar. Nach dem Auffüllen war der Deckel flach, weil der Innendruck gleich gross wie der Aussendruck war. Weil der Luftdruck in der Skihütte aber auf einer Höhe von über 2000 m spürbar kleiner ist als im Unterland, kann der Innendruck nicht mehr ganz kompensiert werden. Deshalb versucht die Innenluft zu entweichen und wölbt den Deckel nach aussen. Beim Öffnen des Deckels müsste man das Döschen völlig horizontal halten. Dann entweicht nur Luft.

b)

$F = A \cdot \Delta p = \pi \frac{d^2}{4} \cdot \Delta p$;   18 N

Weil der Deckel sich wölben und die Luft im Döschen sich ausdehnen kann, ist der Innendruck auf Corviglia kleiner als 1000 hPa. Deshalb ist die Kraft kleiner als berechnet. Trotzdem muss der Deckel gut befestigt sein.

Gesetz von Boyle-Mariotte

380

a) $p_0 = p_L + \frac{m_0 g}{A}$;   989 hPa

b) $p_1 = p_L + \frac{m_1 g}{A}$;   1219 hPa, mit $m_1 = 2.161$ kg

$V_1 = V_0 \cdot \frac{p_0}{p_1}$;   70.0 cm^3

c) $p_2 = 2p_0 = p_L + \frac{m_2 g}{A} \Rightarrow m_2 = \frac{(2p_0 - p_L) \cdot A}{g}$; $m = m_2 - m_0$;   8.57 kg

d) Das Gesetz von Boyle-Mariotte.

381

$\rho = \frac{m}{V} = \rho_N \cdot \frac{p}{p_N} \Rightarrow p = p_N \cdot \frac{\frac{m}{V}}{\rho_N}$;   9.99 bar, mit $\rho_\mathrm{N} = 1.977$ kg/m^3 und $p_N = 1.013$ bar

382

a) $p = p_0 + \Delta p$; $8.01 \cdot 10^5$ Pa $\Rightarrow \rho = \rho_0 \dfrac{p}{p_0}$; 10.2 kg/m^3

b) 0.428 kg/m^3

383

a) Die Dichte von Sauerstoffgas beim Druck $p_1 = 120$ bar ist

$\rho_1 = \rho_N \cdot \dfrac{p_1}{p_N}$; 169 kg/m^3

Die Masse des Sauerstoffgases ist $m = \rho_1 \cdot V$; 423 g.

b) 22.4 Liter Luft bei Normalbedingungen enthalten 1 mol Luft. Davon ist rund 1/5 mol Sauerstoffgas. Das sind 6.4 g Sauerstoff auf 22.4 Liter. In 2 Liter Atemluft hat man also 0.57 g Sauerstoff. Der Sauerstoff in der Flasche reicht deshalb für rund 740 Atemzüge. Bei einer Atemfrequenz von 40 Atemzügen pro Minute reicht der Sauerstoff aus der Flasche für etwa 20 Minuten. Allerdings verwendet der Bergsteiger den Sauerstoff aus der Flasche, nur um den Sauerstoff aus der Luft zu ergänzen. Dadurch kann eine einzige Flasche den Bergsteiger bis zu mehreren Stunden mit dem kostbaren Gas versorgen. Gut trainierte Bergsteiger kommen allein mit dem Sauerstoff aus der Luft aus und brauchen keine Sauerstoffflaschen.

384

$$x \cdot p_0 = (x - \Delta s) \cdot (p_0 + \Delta p) \Rightarrow x = \Delta s \frac{p_0 + \Delta p}{\Delta p}; \quad 23 \text{ cm}$$

385

a) Durchmesser verdoppeln heisst Volumen verachtfachen ($2^3 = 8$).
Der Schweredruck muss zuunterst also 7fachen Luftdruck betragen. Das ist bei Wasser in ca. 70 m Tiefe der Fall, ein etwas sehr hohes Bierglas!

b) Höhe des Bierspiegels ca. 15 cm $\rightarrow$ Druckabnahme ca. 15 hPa, d.h. ca. 1.5%
Das Volumen der Bläschen wächst um ca. 1.5 % (der Durchmesser um 0.5 %).

c) Laura könnte die in b) berechnete Ausdehnung infolge der Druckabnahme von Auge sicher nicht bemerken. Die Vergrösserung muss also, wie von Laura behauptet, auf einer Mengenzunahme des Kohlendioxids beruhen.

386

a) Gesetz von Boyle und Mariotte:

$$p_0 \cdot \frac{L}{2} = p \cdot (L - l)$$

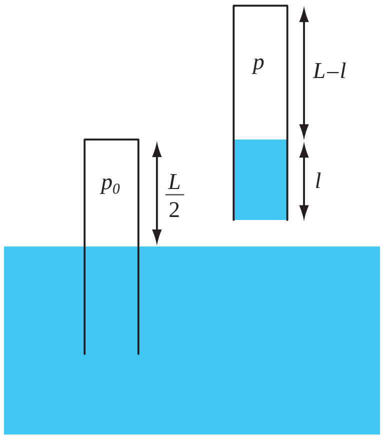
Druckgleichheit an unterer Öffnung:

$$p + \rho g l = p_0$$

Den Druck p eliminieren:

$$p_0 \cdot \frac{L}{2} = (p_0 - \rho g l) \cdot (L - l)$$

Die quadratische Gleichung für die gesuchte Grösse l lässt sich mit einem leistungsfähigen Taschenrechner leicht lösen. Für Wasser gibt der Rechner $l_1 = 9.96$ m bzw. $l_2 = 0.167$ m. Davon ist offensichtlich nur die zweite Lösung sinnvoll.



b) 0.132 m

c) Gesetz von Boyle und Mariotte:

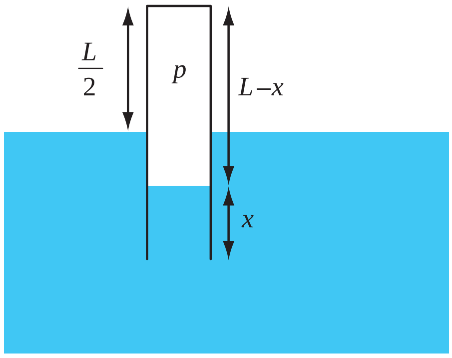
$$p_0 \cdot L = p \cdot (L - x)$$

Druckgleichheit an unterer Öffnung:

$$p + \rho g x = p_0 + \rho g \frac{L}{2}$$

Den Druck p eliminieren:

$$p_0 \cdot L = (p_0 + \rho g \frac{L}{2} - \rho g x) \cdot (L - x)$$



Die quadratische Gleichung für die gesuchte Grösse x lässt sich mit einem leistungsfähigen Taschenrechner leicht lösen. Für Wasser gibt der Rechner $x_1 = 10.3$ m bzw. $x_2 = 0.00562$ m. Davon ist offensichtlich nur die zweite Lösung sinnvoll. Wasser dringt rund 6 mm weit ein.

d) 0.0488 m. Quecksilber dringt rund 49 mm weit ein.

387

a) Man wiegt eine mit Luft gefüllte Stahlkugel vor und nach dem Abpumpen der Luft mit der Vakuumpumpe. Aus der Wägedifferenz und dem Volumen der Kugel kann man die Luftdichte bestimmen.

b) $\rho = \rho_N \cdot \frac{p}{p_N} = 1.228\,\text{kg/m}^3$, mit $\rho_N = 1.293\,\text{kg/m}^3$ und $p_N = 1013\,\text{hPa}$

Die Luftdichte hängt auch von der Temperatur ab. Die korrekte Formel lautet

$$\rho = \rho_N \cdot \frac{p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T}$$

und liefert $\rho = 1.14$ kg/m^3 bei einer Temperatur von 21 °C = 294 K.

c) $\bar{v} = 503\,\text{m/s}$

Barometrische Höhenformel

388

a) $h = \dfrac{p}{\rho g}$; 8 km

b) In der Höhe fällt das Atmen schwerer, d.h. es müssen bei gleicher Anstrengung mehr Atemzüge pro Minute gemacht werden. Der Luftwiderstand ist in der Höhe geringer als auf Meeresniveau. Die Dichte der Luft nimmt demnach mit zunehmender Höhe ab.
Flugzeuge brauchen die Luft zum Fliegen und können auch in Höhen über 8 km fliegen. Auf über 8000 m können geübte Bergsteiger und Bergsteigerinnen auch ohne Sauerstoffgerät noch genügend Luft zum Überleben atmen. Die Atmosphäre hat also keine definierte Obergrenze.

389

a) Druckunterschied innerhalb einer Schicht: $\Delta p = -\rho g \Delta h$

Boyle-Mariotte: $p_0 V_0 = pV \;\Rightarrow\; p_0 \dfrac{m}{\rho_0} = p \dfrac{m}{\rho} \;\Rightarrow\; \dfrac{\rho}{p} = \dfrac{\rho_0}{p_0}$

Druck in 1 km Höhe: $p_1 = p_0 - \rho_0 g \cdot \Delta h = p_0 \left(1 - \dfrac{\rho_0}{p_0} g \cdot \Delta h\right)$

Druck in 2 km Höhe: $p_2 = p_1 - \rho_1 g \cdot \Delta h = p_1 \left(1 - \dfrac{\rho_1}{p_1} g \cdot \Delta h\right) = p_1 \left(1 - \dfrac{\rho_0}{p_0} g \cdot \Delta h\right)$

Wegen Boyle-Mariotte ist der Klammerausdruck und damit der Faktor von einer Schicht zur nächsten konstant, so dass der Druck eine geometrische Folge bildet:

Druck in *n* km Höhe: $p_n = p_0 \left(1 - \dfrac{\rho_0}{p_0} g \cdot \Delta h\right)^n = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (0.875)^n$

$p_5 = 5.2 \cdot 10^4$ Pa
$p_{10} = 2.7 \cdot 10^4$ Pa

b) $p(5\text{ km}) = 5.4 \cdot 10^4$ Pa
$p(10\text{ km}) = 2.9 \cdot 10^4$ Pa

Die Werte von a) kommen jenen der barometrischen Höhenformel schon recht nahe. Wird die Schichthöhe Δh immer kleiner gewählt, so nähern sich die gemäss a) berechneten Werte immer stärker jenen der barometrischen Höhenformel an.

390

a) $p(0) = p(h) \cdot e^{\frac{\rho_n g h}{p_n}}$; 1041 hPa

b) $p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\rho_n g h}{p_n}}$; 804 hPa
Es zischt, weil beim Öffnen Luft in die Flasche eindringt.

391

a) Sie bedeuten die auf Meereshöhe umgerechneten Drücke.

b) $p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\rho_n g h}{p_n}}$; 973 hPa (mit p_n = 101325 Pa)

c) $\Delta p(h) = (p(0) - p_n) \cdot e^{-\frac{\rho_n g h}{p_n}}$; 11.4 hPa

392

a) $\rho(h) = \rho_n \cdot e^{-\frac{\rho_n g h}{p_n}}$; 0.84 kg/m^3 b) $\dfrac{\rho(h)}{\rho_n}$; 65 %

393

$h = \dfrac{p_n}{\rho_n g} \ln\left(\dfrac{p(0)}{p(h)}\right)$; 1.8 km

394

Barometrische Höhenformel $\rho = \rho_n \cdot e^{-\frac{\rho_n \cdot g}{p_n} \cdot h}$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{m}{\rho_n} \cdot e^{\frac{\rho_n \cdot g}{p_n} \cdot h} \quad ; \quad 26 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

395

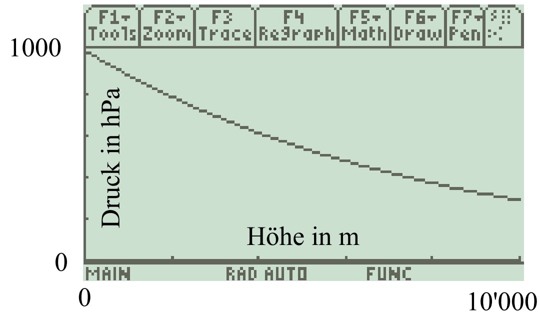
Die angezeigten Werte müssen auf Meeresniveau umgerechnet (Fachsprache: «reduziert») werden. Das geschieht im Prinzip durch Multiplikation mit dem Faktor $e^{\frac{p_n g h}{\rho_n}}$.

Das Drehen der Skala würde dagegen der Addition eines bestimmten Wertes entsprechen. Damit z. B. der mittlere Luftdruck korrekt angezeigt wird, müsste die Skala um rund 35 mbar (innere Skala) im Gegenuhrzeigersinn gedreht werden. Am Ende der Skala würden dann Abweichungen von rund 1 mbar gegenüber den korrekt reduzierten Werten entstehen.

(Bemerkung: Bei den meisten Geräten lässt sich der Zeiger mechanisch vor- bzw. zurückstellen.)

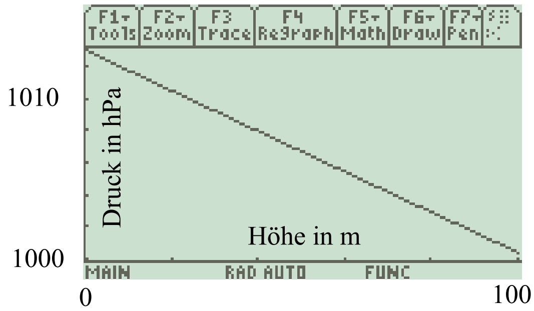
396

a) Am Beispiel des TI-89



b) Diagramm: 840 hPa, 741 hPa bzw. 654 hPa.
Höhenmesser: 845 hPa, 745 hPa bzw. 660 hPa.

c) Der Graph ist von einer Geraden nicht zu unterscheiden:



d) Mit p_0 = Luftdruck am Boden; ρ_0 = Luftdichte am Boden gilt:
$p(h) \approx p_0 - \rho_0 gh$; $p(100\text{ m}) = 100\text{ kPa}$

Auftrieb

397

a) Kein Schweredruck
b) Da es keinen Schweredruck gibt, gibt es auch keinen Auftrieb. Die Fische schweben im Wasser.

398

$mg = \rho_{\text{Wasser}} g V_{\text{verdrängt}}$ $\quad \rho_{\text{Eis}} g V_{\text{Gesamt}}$ $\quad \rho_{\text{Wasser}} g V_{\text{verdrängt}}$

$$\Rightarrow \frac{V_{\text{verdrängt}}}{V_{\text{gesamt}}} = \frac{\rho_{\text{Eis}}}{\rho_{\text{Wasser}}}; \quad 0.89$$

Somit ragen 11 % des Eisberges über die Wasseroberfläche.

399

Maximaler zusätzlicher Auftrieb: $F_{A,\text{zusätzlich}} = \rho_{\text{Wasser}} glbh$; 200 N. Es geht also nicht.

400

Gleichgewichtsbedingung: $F_A = F_G$ oder $\rho_W gAd = mg + \rho_{\text{Eis}} gAd$

$$A \quad \frac{m}{d \cdot \left(\rho - \rho_{\text{Eis}}\right)}; \quad 13 \text{ m}^2$$

401

Der Auftrieb ist gleich der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit und auch gleich der Gewichtskraft des schwimmenden Körpers. Somit ist die Gewichtskraft der Eiswürfel gleich gross wie die Gewichtskraft des verdrängten Wassers. Wenn die Eiswürfel also geschmolzen sind, ändert sich der Füllstand des Cocktails nicht.

402

Das verdrängte Volumen lässt sich mit der Eintauchtiefe und der Grundfläche berechnen: $V_V = Ah_E$.

Nach dem Archimedischen Gesetz folgt: $F_A = \rho_{\text{Fl}} g V_V = \rho_{\text{Fl}} gAh_E$

Die Gewichtskraft kann mit Hilfe der Dichte des Quaders berechnet werden:

$F_G = mg = \rho_{\text{Quader}} Ahg$, wobei h die Höhe des Quaders ist.

Die gemessene Kraft ist die Differenz zwischen F_G und F_A:

$$F = \left(\rho_{\text{Quader}} h - \rho_{\text{Fl}} h_E\right) g\, A$$

403

Alle Druckkräfte sind senkrecht zum Zylinder und zur Drehachse gerichtet, somit sind alle Einzeldrehmomente null. Der Zylinder kann sich also nicht drehen, da kein Gesamtdrehmoment auf ihn wirkt.

404

a) Resultierende Kraft nach oben: $F = F_A = \rho g \quad 2 + \frac{1}{n} \quad \cdot V$

b) Die Auftriebskraft wirkt auf die zwei Quader, die vollständig im Wasser sind. Der Wasserdruck wirkt auf den untersten teilweise eingetauchten Quader nach unten. Die resultierende Kraft wirkt nach unten:

$$F = F_A^{'} - F_{\text{Druck}} = 2\rho gV - \quad 4 + \frac{1}{n} \quad \rho gV = -\rho g \quad 2 + \frac{1}{n} \quad \cdot V$$

Der zeitliche Mittelwert der resultierenden Kraft ist also gleich null.

405

a) Andernfalls würden die Gewichtskraft und die Auftriebskraft den Fisch auf den Rücken drehen.

b) Die Schwimmblase würde zusammengedrückt, der Fisch würde absinken.

c) Beim Sinken steigt der Druck auf die Schwimmblase, sie wird kleiner, und der Auftrieb nimmt ab, was das Absinken zusätzlich verstärkt. Umgekehrt wächst beim Steigen der Auftrieb wegen des kleineren Drucks und der grösser werdenden Schwimmblase.

d) Im Gleichgewicht ist Auftriebskraft = Gewichtskraft:
$V_{\text{Fisch}} \cdot \rho_{\text{Wasser}} = (V_{\text{Fisch}} - V_{\text{Schwimmblase}}) \cdot \rho_{\text{Fisch}}$

$$\rho_{\text{Fisch}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot \frac{V_{\text{Fisch}}}{(V_{\text{Fisch}} - V_{\text{Schwimmblase}})} \quad ; \quad 1.1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

406

a) Der schwebende Käse hat keine Löcher, somit ist $\rho_{\text{Käse}} = \rho_{\text{Wasser}}$.
Mit $\rho_{\text{Luft}} \ll \rho_{\text{Wasser}}$ folgt: $V_{\text{Löcher}} = \frac{V}{2}$ $(V_{\text{Käse}} = V_{\text{verdr. Wasser}})$

b) V_1' = Löchervolumen des schwimmenden Käses
V_2' = Löchervolumen des schwebenden Käses

$$\begin{aligned} m_1 &= \rho_K \left(V - V_1'\right) \\ m_2 &= \rho_K \left(V - V_2'\right) \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \frac{\rho_W V}{2} &= \rho_K \left(V - V_1'\right) \\ \rho_W V &= \rho_K \left(V - V_2'\right) \end{aligned}$$

Auflösen des Gleichungssystems nach V_1' gibt: $V_1' = \frac{V + V_2'}{2}$

407

a) Die Kugeln mit der höchsten Temperatur sind ganz oben und schwimmen.

b) Die Dichte der Flüssigkeit hängt von der Temperatur ab. Ist die Flüssigkeit wärmer, wird sie weniger dicht, und die Kugeln erfahren einen kleineren Auftrieb. Somit sinken immer mehr Kugeln bei steigender Temperatur der Flüssigkeit.

c) Auftriebskraft = Gewichtskraft der Glaskugel mit Bleigewicht.

d) Schweben: Mittlere Dichte des Körpers gleich derjenigen der Flüssigkeit.
Schwimmen: Mittlere Dichte des Körpers ist kleiner als Dichte der Flüssigkeit.
Sinken: Mittlere Dichte des Körpers ist grösser als Dichte der Flüssigkeit.

408

Nach dem Archimedischen Gesetz folgt:

$$\left(m_{\text{Kugel}} + m_{\text{Blei}}\right) g = \rho_{\text{Lösungsmittel}} g \left(V_{\text{Kugel}} + V_{\text{Blei}}\right) \text{ und mit}$$

$$m_{\text{Kugel}} = \rho_{\text{Kugel}} V_{\text{Kugel}} \quad \text{und} \quad V_{\text{Blei}} = \frac{m_{\text{Blei}}}{\rho_{\text{Blei}}}$$

$$m_{\text{Blei}} \qquad \frac{\rho_{\text{Blei}}}{\rho_{\text{Blei}} - \rho_{\text{Lösungsmittel}}} \left(\rho_{\text{Lösungsmittel}} \quad \rho_{\text{Kugel}}\right) \frac{4}{3}\pi \; \frac{d}{2}^{\;3}; \quad 3.6 \text{ g}$$

409

a) Da die Krone eine kleinere Dichte besitzt als der gleich schwere Goldbarren, ist ihr Volumen grösser. Sie wird also mehr Wasser verdrängen und erfährt eine grössere Auftriebskraft als der Goldbarren.

b) Wägungen in Luft ($F_{\text{Krone}} = mg$) und in Wasser ($F = mg - \rho g V$), woraus sich Masse und Volumen der Krone ergeben.

Die Krone besteht aus Silber und Gold: $m = m_{\text{Gold}} + m_{\text{Silber}}$

Volumen der Krone:

$$V = V_{\text{Gold}} + V_{\text{Silber}} = \frac{m_{\text{Gold}}}{\rho_{\text{Gold}}} + \frac{m_{\text{Silber}}}{\rho_{\text{Silber}}} \qquad \frac{m_{\text{Gold}}}{m_{\text{Silber}}} \quad \frac{\left(m - V \cdot \rho_{\text{Silber}}\right) \cdot \rho_{\text{Gold}}}{\left(V \cdot \rho_{\text{Gold}} - m\right) \cdot \rho_{\text{Silber}}}$$

410

a) $\rho = \dfrac{F_{\text{Luft}} \cdot \rho_{\text{Wasser}}}{(F_{\text{Luft}} - F_{\text{Wasser}})}$; $1.06 \cdot 10^4$ kg/m^3

Der Vergleich mit ρ_{Gold} und ρ_{Silber} zeigt, dass sie fast nur aus Silber bestehen.

b) $\dfrac{m_G}{m} = \dfrac{\rho_G}{\rho} \cdot \dfrac{\rho - \rho_S}{\rho_G - \rho_S}$; 2.07 %

411

Mit Berücksichtigung des Auftriebs der Bleistücke ergibt sich:

$$m_{\text{Blei}} = m_{\text{Taucher}} \cdot \frac{\rho_{\text{Blei}}}{\rho_{\text{Taucher}}} \cdot \frac{\rho_{\text{Salzwasser}} - \rho_{\text{Taucher}}}{\rho_{\text{Blei}} - \rho_{\text{Salzwasser}}}; \quad 13 \text{ kg}$$

412

Da nur 5.0 % des Kerzenvolumens aus der Wasseroberfläche hinausragt, ist die Dichte von Wachs $\rho_{\text{Wachs}} = 950$ kg/m^3.

Mit dem Archimedischen Gesetz folgt: $\left(m_{\text{Kork}} + m_{\text{Wachs}}\right) g = \rho_{\text{Öl}} g \left(V_{\text{Kork}} + V_{\text{Wachs}}\right)$

Wenn wir die Volumen $V_{\text{Kork}} = \dfrac{m_{\text{Kork}}}{\rho_{\text{Kork}}}$ und $V_{\text{Wachs}} = \dfrac{m_{\text{Wachs}}}{\rho_{\text{Wachs}}}$ mit den Dichten ausdrücken, folgt:

$$m_{\text{Kork}} + m_{\text{Wachs}} = \rho_{\text{Öl}} \quad \frac{m_{\text{Kork}}}{\rho_{\text{Kork}}} + \frac{m_{\text{Wachs}}}{\rho_{\text{Wachs}}}$$

Gleichung durch m_{Kork} dividieren und vereinfachen:

$$\frac{m_{\text{Wachs}}}{m_{\text{Kork}}} \quad \frac{\rho_{\text{Wachs}} \cdot \left(\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Kork}}\right)}{\rho_{\text{Kork}} \cdot \left(\rho_{\text{Wachs}} - \rho_{\text{Öl}}\right)}; \text{ 65:1 und } \frac{V_{\text{Wachs}}}{V_{\text{Kork}}} = \frac{\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Kork}}}{\rho_{\text{Wachs}} - \rho_{\text{Öl}}}; \quad 21:1$$

413

a) $m_2 = \rho_{\text{Fl}} A\left(h - x\right) - m_1$; 33 g

b) $x = h - \dfrac{m_1 + m_2}{A \cdot \rho_{\text{Fl}}}$; 2.0 cm; 3.7 cm; 5.0 cm (nicht linear)

414

$mg = \rho_{1.000} gV$ und $\rho_{1.000} gV = \rho_{\text{Fl}} g\left(V + Ax\right)$

$$x \quad \frac{4m}{\pi d^2 \rho_{1.000}} \quad \frac{\rho_{1.000}}{\rho_{\text{Fl}}} \quad 1 \;; \quad 40.2 \text{ mm}; \quad 90.5 \text{ mm}; \quad 155 \text{ mm}$$

415

a) $\rho_{\text{Öl}} < \rho_{\text{Plastik}} < \rho_{\text{Wasser}}$

b) Gleichgewichtsbedingung: $F_G = F_{A,\text{Öl}} + F_{A,\text{Wasser}}$

$$\rho_{\text{Plastik}} gV \quad \rho_{\text{Öl}} g\left(V \quad V_{\text{eingetaucht}}\right) \quad \rho_{\text{Wasser}} gV_{\text{eingetaucht}}$$

$$\frac{V_{\text{eingetaucht}}}{V} \quad \frac{\rho_{\text{Plastik}} - \rho_{\text{Öl}}}{\rho_{\text{Wasser}} - \rho_{\text{Öl}}} \quad 0.10$$

$\rho_{\text{Plastik}} = 0.10 \cdot \rho_{\text{Wasser}} + 0.90 \cdot \rho_{\text{Öl}}$; $0.91 \cdot 10^3$ kg/m^3

416

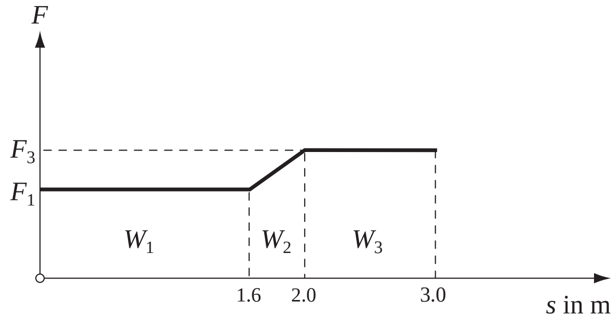
Sei $h = 3.00$ m, $d = 2.00$ m, $s = 40.0$ cm und $V = s^3$.

Teilarbeit wenn vollständig unter Wasser: $W_1 = \left(\rho - \rho_{\text{Wasser}}\right) gV\left(d - s\right)$; 2.11 kJ

Teilarbeit wenn vollständig ausserhalb des Wassers: $W_3 = \rho gV\left(h - d\right)$; 1.95 kJ

Teilarbeit bei der Übergangsphase: $W_2 = \dfrac{F_3 + F_1}{2} s = \dfrac{2\rho - \rho_{\text{W}}}{2} gVs$; 0.653 kJ

Somit ist die Gesamtarbeit: $W = 4.71$ kJ



417

a) Der Auftrieb ist proportional zum Volumen des Körpers, das Gewicht ist proportional zur Masse. Das Verhältnis von Auftrieb zu Gewichtskraft ist somit proportional zum Quotienten Volumen über Masse, also dem Kehrwert der Dichte. Daher ist es für dichtere Körper kleiner.

$$\frac{F_A}{F_G} = \frac{\rho_L V_K g}{mg} = \frac{\rho_L}{\rho_K}$$

b) Die Waage misst zwar die Kraft $F = mg - V\rho_L g$, gibt diese aber als Masse $m^* = \frac{F}{g}$ an. Der Massenfehler ist daher $m - m^* = m^* \frac{\rho_L}{\rho_{Al} - \rho_L}$; 1 g

418

a) Boyle-Mariotte: $p'V' = pV \;\Rightarrow\; p'\frac{m}{\rho_L'} = p\frac{m}{\rho_L} \;\Rightarrow\; \frac{\rho_L'}{\rho_L} = \frac{p'}{p}$

Auftrieb $F_A' = V'\rho_L' g$ mit Ballonvolumen $V' = V\frac{p}{p'}$ und Luftdichte $\rho_L' = \rho_L \frac{p'}{p}$ ändert sich nicht:

$$F_A' = V\frac{p}{p'}\rho_L \frac{p'}{p} g = V\rho_L g = F_A$$

b) $\frac{F_A}{F_G} = \frac{\rho_L}{\rho_{\mathrm{He}}}$; 7.24

Die Auftriebskraft ist immer 7.24-mal grösser als die Gewichtskraft des Heliums.

419

a) Der Druck in der Tiefe $h_0 = 30$ m ist $p = p_0 + \rho g h_0$. Wenn die Erdgasblase auftaucht, ist der umgebende Druck gleich dem äusseren Luftdruck.
Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte folgt: $(p_0 + \rho g h_0)V_0 = p_0 V$. Somit ist

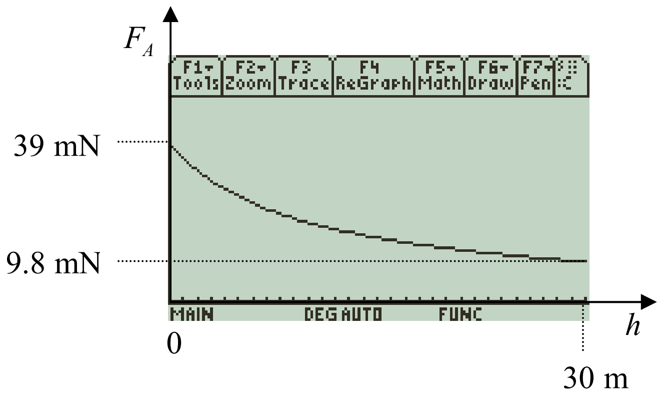
$$V = \frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0} V_0; \quad 3.9\ \mathrm{cm}^3$$

b) Die Auftriebskraft wird immer grösser, weil das Volumen der Erdgasblase immer grösser wird. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte gilt:

$$(p_0 + \rho g h_0)V_0 = (p_0 + \rho g h)V$$

Auflösen nach V und einsetzen in die Formel der Auftriebskraft

$$\Rightarrow F_A = \rho g \frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0 + \rho g h} V_0$$



420

a) Die Luft im Taucher wird bei steigendem Druck komprimiert. Bei gleicher Masse verringert sich das Volumen des Tauchers und damit seine Auftriebskraft. Wenn die Auftriebskraft kleiner als die Gewichtskraft des Tauchers wird, beginnt er zu sinken.

b) Wenn der Schweredruck des Wassers in der Tiefe h und der normale Luftdruck p_L zusammen grösser als p = 1050 hPa sind, taucht der Taucher nicht wieder von selbst auf, sondern sinkt unaufhaltsam.

$$\rho_W g h + p_L > p$$

$$h > \frac{p - p_L}{\rho_W g}; \quad 38 \text{ cm}$$

421

a) Während des Eintauchens wird die benötigte Kraft immer grösser und erreicht ein Maximum, wenn sich der Ballon gerade unter der Wasseroberfläche befindet. Sie nimmt aber nicht linear mit der Tiefe zu. Wenn der Ballon vollständig eingetaucht wird, ist sein Schwerpunkt bei der Tiefe 15 cm. Der Druck auf dem Ballon hat sich also um $\rho g \frac{d}{2}$; 14.7 mbar erhöht. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ist

$p_0 + \rho g \frac{d}{2} \; V = p_0 V_0$. Somit ist die benötigte Kraft

$$F = F_A = \rho g V = \rho g \frac{p_0}{p_0 + \rho g \frac{d}{2}} V_0 = \rho g \frac{p_0}{p_0 + \rho g \frac{d}{2}} \frac{\pi}{6} d^3; \quad 0.14 \text{ kN}$$

Bei dieser Tiefe lässt sich die Volumenveränderung vernachlässigen. Man erhält dann:

$$F = F_A = \rho g V_0; \quad 0.14 \text{ kN}$$

b) $F = \rho g \frac{p_0}{p_0 + \rho g h} V_0; \quad 0.10 \text{ kN}$

422

m = Masse der Statue
ρ_M, ρ_W = Dichte von Marmor bzw. Wasser
V_B = Volumen des Ballons unter Wasser
V_P = Volumen der Pressluftflaschen
p_L = normaler Luftdruck
p_P = Druck in den Pressluftflaschen
h = Tiefe

Der Auftrieb der Statue und des Ballons müssen zusammen grösser als die Gewichtskraft der Statue sein:

$$\rho_W \cancel{g}\left(\frac{m}{\rho_M}+V_B\right) > m\cancel{g} \qquad (1)$$

Das Volumen des Ballons berechnet sich nach dem Gesetz von Boyle und Mariotte, wobei berücksichtigt werden muss, dass nicht das gesamte Gas aus der Flasche in den Ballon strömt:

$$\left(V_B+V_P\right)\left(\rho_W gh+p_L\right)=V_P p_P$$

Auflösen nach V_B und Einsetzen in (1) ergibt:

$$\rho_W\left(\frac{m}{\rho_M}+\frac{V_P p_P}{\rho_W gh+p_L}-V_P\right) > m$$

Auflösen nach h:

$$h < \frac{p_P V_P \rho_M}{mg(\rho_M-\rho_W)+V_P\rho_W\rho_M g}-\frac{p_L}{g\rho_W}; \quad 120\text{ m}$$

423

a) Bei Bewegung nach oben: Die Luft in der Weste dehnt sich aus, weil der Druck abnimmt. Dadurch verdrängt die Taucherin mehr Wasser, womit ihr Auftrieb zunimmt. Da der Auftrieb nun grösser als die Gewichtskraft ist, steigt die Taucherin von selbst weiter nach oben.
Bei Bewegung nach unten: Die Luft in der Weste wird komprimiert, weil der Druck zunimmt. Dadurch verdrängt die Taucherin weniger Wasser, womit ihr Auftrieb abnimmt. Da der Auftrieb nun kleiner als die Gewichtskraft ist, sinkt die Taucherin von selbst weiter nach unten.

b) $V_{L,1}$, $V_{L,2}$ = Volumen der Luft unter Wasser bzw. an der Wasseroberfläche
ρ_W = Dichte von Wasser
p_L = normaler Luftdruck
h = Tiefe
m = Gesamtmasse der Taucherin

Das Volumen der Luft an der Wasseroberfläche berechnet sich nach dem Gesetz von Boyle und Mariotte:

$$V_{L,1}\left(\rho_W gh + p_L\right) = V_{L,2}\, p_L$$

Unter Wasser ist das Gesamtvolumen der Taucherin $V_{T,1} = \dfrac{m}{\rho_W}$.

An der Oberfläche ist es $V_{T,2} = \dfrac{m}{\rho_W} - V_{L,1} + V_{L,2} = \dfrac{m}{\rho_W} + V_{L,1}\dfrac{\rho_W gh}{p_L}$ = 104 Liter.

Davon tauchen im Gleichgewicht 98 Liter ins Wasser.
Es schauen 6 Liter heraus (z.B. der Kopf und der Hals).

424

a) Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ist $\left(p_0 + \rho gh\right)V_R = p_0 V_0$.

Somit ist die Tiefengrenze $h = \dfrac{p_0}{\rho g}\,\dfrac{V_0 - V_R}{V_R}$; 41 m

b) Da die Taucherin mit einem Volumen von 3.0 Liter in der Lunge schwebt, ist für dieses Lungenvolumen ihre mittere Dichte gleich der Dichte des Wassers. Somit ist $\dfrac{m}{V_T + V_L} = \rho_{\text{Wasser}}$, wobei V_T das Volumen der Taucherin ohne Lungenvolumen und $V_L = 3$ Liter ist. Die Dichte der Taucherin ohne Lungenvolumen ist also

$$\rho_T = \frac{m}{V_T} = \frac{m}{\dfrac{m}{\rho} - V_L} = \frac{m\rho}{m - \rho V_L};\quad 1.1\cdot 10^3\ \text{kg/m}$$

c) In 90 m Tiefe gilt nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz für das Lungenvolumen:

$$\left(p_0 + \rho gh\right)V = p_0 V_0$$

Auflösen nach V ergibt: $V = \dfrac{p_0}{p_0 + \rho gh}V_0$; 0.763 Liter

Das gesamte Volumen der Taucherin ist nach b) $V_T = \dfrac{m}{\rho} - V_L$.

Somit ist die Auftriebskraft auf die Taucherin

$$F_A = \rho g\left(V_T + V\right) = \rho g\left(\frac{m - \rho V_L}{\rho} + \frac{p_0}{p_0 + \rho gh}V_0\right) = mg - \rho g V_L + \rho g V_0 \frac{p_0}{p_0 + \rho gh};$$

0.52 kN

$$F = F_G - F_A = mg - F_A = \rho g\left(V_L - V\right);\quad 22\ \text{N}$$

Die Taucherin würde also ohne weitere Hilfsmittel immer tiefer absinken.

425

a) Das Druckgleichgewicht für die Luft in der Glocke lautet: $p_i = p_a$

Somit ist $p_i = p_a = p_0 + \rho g\left(h - x\right)$, wobei x die Höhe der Wassersäule in der Glocke ist.

Mit dem Gesetz von Boyle-Mariotte folgt: $p_i\left(L - x\right)A = p_0 LA$

Das Kombinieren der beiden Gleichungen ergibt eine Gleichung für x:

$$\left(p_0 + \rho g\left(h - x\right)\right)\cdot\left(L - x\right) = p_0 L \quad \text{oder} \quad x^2 - \quad L + h + \frac{p_0}{\rho g} \quad \cdot x + h \cdot L = 0$$

$x = 1.8$ m

b) Wenn h gleich null ist, lautet die Gleichung für x:

$x^2 - \quad L + \frac{p_0}{\rho g} \quad x = 0 \qquad x \quad 0$: kein Wasser kommt in die Glocke.

(Die zweite Lösung der quadratischen Gleichung ist physikalisch sinnlos, weil x nicht grösser als L sein kann.)

Da $\left(p_0 + \rho g\left(h - x\right)\right)\left(L - x\right) = p_0 L$ oder $L - x = \dfrac{p_0 L}{p_0 + \rho g\left(h - x\right)}$, ist für $h = \infty$ der rechte Term der Gleichung null: $L - x = 0$: Die Glocke ist also vollständig mit Wasser gefüllt.

c) Auflösen der letzten Gleichung bei a) nach h:

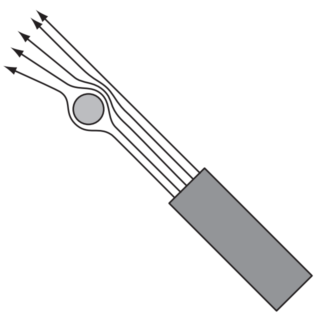
$h = \dfrac{p_0 x}{\left(L - x\right)\rho g} + x$; 49 m

d) Da das Volumen der eingeschlossenen Luft mit der Tiefe immer kleiner wird, wird das Volumen des verdrängten Wassers immer kleiner, und die Auftriebskraft auf die Glocke wird immer kleiner. Der Unterschied zwischen Gewichtskraft und Auftriebskraft wird also immer grösser und das scheinbare Gewicht auch.

Hydrodynamisches Paradoxon

426

Stromlinienbild:



Durch die Gewichtskraft fällt der Ball in den unteren Bereich des Luftstroms. Dies führt aber dazu, dass der Ball oben vom Luftstrom schneller umflossen wird. Es entsteht ein dynamischer Auftrieb, der den Ball in Schwebe hält. Die den Ball umströmende Luft erfährt im Gegenzug eine Kraft nach unten und wird daher entsprechend der Skizze abgelenkt.

427

Befindet sich der Besucher am Rande des Luftstroms, wird sein Körper unterschiedlich rasch umströmt. Die dem Rand zugewandte Körperseite wird, da der Luftstrom schmaler ist, weniger schnell umströmt als die zur Mitte hingewandte Seite. Folglich entsteht bei der zur Mitte des Luftstroms hingewandten Seite ein leichter Unterdruck, der den Besucher gegen die Mitte treibt.

428

a) Das Prinzip des Flettner Rotorschiffs beruht auf dem so genannten Magnus-Effekt. Die Relativgeschwindigkeit der Luftteilchen zum rotierenden Zylinder ist nicht überall gleich. Nach der Bernoulli'schen Gleichung entsteht ein Druckunterschied zwischen zwei gegenüberliegenden Seiten des rotierenden Zylinders. Der höhere Druck herrscht auf der Seite der kleineren Relativgeschwindigkeit der Luftteilchen zum Rotor, also dort, wo die Luftteilchen gegen die Drehrichtung des Zylinders strömen. So entsteht eine Antriebskraft auf den Rotor.
b) Die Antriebskraft wirkt senkrecht zur Windrichtung. Die Rotoren sollten sich von oben gesehen im Uhrzeigersinn drehen.

429

Die Luft wird auf dem Wellenberg zusammengedrückt und so auch schneller. Die Bernoulli'sche Gleichung erklärt, dass oberhalb eines Wellenberges ein Unterdruck entsteht. Umgekehrt entsteht ein Überdruck in den Wellentälern. Somit werden die Wellentäler immer mehr nach unten gedrückt, und die Wellenberge können sich nach oben ausbreiten.

Gesetz von Bernoulli

430

Wenn man die gesamte Querschnittfläche aller Kapillaren betrachtet, ist sie grösser als diejenige der Aorta. Somit ist die Geschwindigkeit in den Kapillaren kleiner als in der Aorta: $A \cdot v = \text{konst}$.

431

Wenn der Durchmesser halb so gross ist, wird die Querschnittsfläche 4-mal kleiner. Somit ist die Geschwindigkeit des Blutes bei der Verengung 4-mal grösser.
Mit der Bernoulli'schen Gleichung lässt sich der Druckunterschied berechnen:

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho\left(v_2^2 - v_1^2\right) = \frac{1}{2}\rho\left(16-1\right)v_1^2 ; \quad 178 \text{ Pa} = 1.3 \text{ mmHg}$$

(In Wirklichkeit kann diese 4fache Geschwindigkeit wegen der Reibung nicht erreicht werden.)

432

a) Nach der Bernoulli'schen Gleichung folgt:

$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$ oder $p_2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho\left(v_1^2 - v_2^2\right)$

Mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung ist $d^2 v = const$.

Da das engere Rohr 2.5-mal kleiner als das weitere ist, wird die Geschwindigkeit 6.25-mal grösser.

$p_2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho\left(1 - 6.25^2\right)v_1^2$; 5.9 bar

b) $A_2 v_2 = A_1 v_1 = \pi \frac{d_1^2}{4} v_1$; $2.0 \cdot 10^{-3}$ m^3/s = 2.0 Liter/s

433

Nach der Bernoulli'schen Gleichung folgt: $p_A + \frac{1}{2}\rho_L v^2 = p_B$

Der Druckunterschied lässt sich mit dem Gewichtsdruck der Wasserhöhe berechnen:
$p_B - p_A = \rho_W gh$

Somit ist $\frac{1}{2}\rho_L v^2 = \rho_W gh \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\rho_W gh}{\rho_L}}$.

Ausflussgeschwindigkeit und Reaktionskraft

434

$\Phi = r^2\pi \cdot \sqrt{2gh}$; 55 ml/s

435

Die pro Sekunde durchfliessende Wassermenge ist an beiden Stellen gleich:
$v_1 r_1^2 \pi = v_2 r_2^2 \pi$

Bernoulli-Gleichung: $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh = \frac{1}{2}\rho v_2^2$

Elimination von v_1 ergibt

$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{r_2^4}{r_1^4}}}$; $\Phi = v_2 \cdot r_2^2 \pi$; 9.3 ml/s

436

A=Querschnittsfläche des Wasserstrahls

Kraft in Richtung der Winkelhalbierenden des Rohres: $F = \frac{m}{t} v_{\text{Ausfluss}} \cdot \sqrt{2} = \frac{m^2}{\rho A t^2} \cdot \sqrt{2}$

Bedingung für die Drehmomente der Kräfte F und die im Schwerpunkt des schwebenden Teils angreifende Gewichtskraft $(m_{\text{Rohr}} + Al\rho)g$:

$F \frac{l}{\sqrt{2}} = (m_{\text{Rohr}} + Al\rho)g \frac{l}{2}$, daraus folgt

$m = t \cdot \sqrt{\frac{Ag\rho(m_{\text{Rohr}} + Al\rho)}{2}}$; 8.5 kg

437

Der Effekt tritt auf, wenn die Düse des Schlauches geöffnet ist und der Schlauch nicht gerade ausgestreckt am Boden liegt. Von den Schlauchwänden ausgeübte seitliche Kräfte sorgen dafür, dass das Wasser den Krümmungen des Schlauches folgt. Das Wasser seinerseits übt auf die Schlauchwände Reaktionskräfte aus, die den Schlauch herumwirbeln können.

438

$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v_{\text{Ausfluss}}$; $v_{\text{Ausfluss}} = \sqrt{2gh}$; pro Sekunde austretende Wassermasse:

$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{d^2\pi}{4} v\rho$

eingesetzt ergibt sich $F = \frac{\pi d^2 \rho g h}{2}$; 0.02 N

439

Pro Sekunde umgelenkte Wassermasse: $\frac{m}{\Delta t} = \rho A v$; 560 kg/s

$F = m\frac{2v}{\Delta t}$; $1.2 \cdot 10^5$ N

Luftwiderstand

440

$\frac{1}{2} c_w \pi \frac{d^2}{4} \rho_L v^2 = mg \Rightarrow v = \frac{2}{d} \cdot \sqrt{\frac{2mg}{\pi c_w \rho_L}}$; 5.9 m/s; $t = \frac{s}{v}$; 2 min 50 s

441

a) Der Betrag der Auftriebskraft muss gleich der Gewichtskraft des Flugzeugs sein. Mit zunehmender Höhe nimmt die Dichte der Luft ab. Sie ist in 10'000 m Höhe rund 3-mal kleiner als in 2000 m Höhe. Bei gegebener Gewichtskraft des Flugzeugs muss deshalb die Reisegeschwindigkeit in grösserer Höhe grösser sein. Trotz kleinerer Luftdichte bleibt der Luftwiderstand wegen der grösseren Fluggeschwindigkeit gleich. Damit ist die notwendige Leistung unabhängig von der Flughöhe. Da die Reisegeschwindigkeit in grösseren Höhen aber grösser ist, wird die gesamte Reisezeit kürzer und damit der Treibstoffverbrauch kleiner. Für das Fliegen in grossen Höhen braucht das Flugzeug allerdings eine Druckkabine.

b) Das Verkehrsflugzeug wird durch den Treibstoffverbrauch leichter. Die notwendige Auftriebskraft sinkt, und das Flugzeug kann höher (bei kleinerer Luftdichte) fliegen. Dabei sinkt auch die notwendige Leistung und damit der Treibstoffverbrauch. Ausserdem herrschen in grösseren Höhen weniger Turbulenzen, der Flug wird ruhiger.

442

a) $\frac{1}{2}c_w \pi r^2 \rho_L v^2 = \rho_W \frac{4\pi}{3} r^3 g \Rightarrow v = 2 \cdot \sqrt{\frac{gd\rho_W}{3c_w \rho_L}}$; 2.5 m/s; 11 m/s

b) Die Dichte der Luft ist viel kleiner als die Dichte von Wasser.

c) Aufwinde können die Wassertröpfchen hochreissen.

443

a) $F_L = \frac{1}{2}c_w A \rho v^2$; 0.48 kN; $F_R = \mu mg$; 0.26 kN

b) $P = \frac{(F_L + F_R) \cdot v}{\eta}$; 0.11 MW

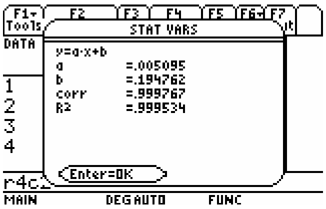
c) 0.25 kN; 0.11 kN; 40 kW

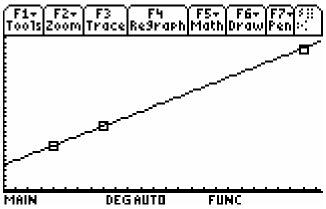
444

a) $F_L = \frac{1}{2}c_w \rho_L A v^2$; 3.0 kN

b) $P_{\text{Motor}} = F_R \cdot v = \frac{1}{2}c_w \rho_L A v^3$; 0.58 MW

445





a) $c_w = 0.0051 \cdot 90 + 0.19 = 0.65$

b) Der Abstand der beiden letzten Positionen des Trichters beträgt $s = 37$ cm.

$v = \frac{s}{t} = sf$; 4.3 m/s, $c_w = \frac{2mg}{\rho_{\text{Luft}} v^2 A}$; 0.74