Prüfung zum Thema Druck (total 36 P möglich)

Verwenden Sie beim Ortsfaktor g ≈ 10 N/kg, ausser bei den Aufgaben 1. und 2.

1. **Luftdruck und gesamte Masse der Luft der Erdatmosphäre (5 P)**
   a) Wie kommt der Luftdruck der Erde zustande? Erklären Sie kurz in maximal zwei bis drei Hauptsätzen. (1 P)
   b) Weshalb ist der Luftdruck auf der Erde nicht wirklich konstant? Geben Sie zwei (deutlich verschiedene) Beispiele an, die zeigen dass der Luftdruck örtlich verschieden sein kann resp. verschieden ist. (1 P)
   c) Der Luftdruck auf der Erdoberfläche beträgt rund p = 1000 hPa. Die Erdoberfläche misst A = 510 Millionen km^2. Berechnen Sie die Gewichtskraft F der gesamten Luft unserer Erdatmosphäre und daraus die Masse m_L der Luft. Da die Erdatmosphäre nur ca. 40 km „dünn" ist, kann angenommen werden, dass der Ortsfaktor g in der gesamten Atmosphäre g = 9.8 N/kg beträgt. (3 P)

Lösung:

a) Der Luftdruck der Erde ist der Schweredruck des Gases „Luft" um die Erde herum. Das Gewicht der oberen Luftschichten drückt auf die unteren Luftschichten und vergrössert so nach unten (Richtung Erdoberfläche) den Druck im Gas (d.h. in der Luft).

b) Aufgrund der Sonneneinstrahlung kommt es zu Bewegung der Luft in der Atmosphäre und es entstehen Hochdruck- sowie Tiefdruckgebiete.

   Zudem ist der Druck in tiefer gelegenen Gebieten höher als auf Hügeln oder Bergen (wegen des Schweredrucks). Dies liegt daran, dass tiefere Luftschichten von der darüber liegenden Luft stärker zusammen gedrückt wird und somit dichter ist, was zu einem höheren Druck führt.

   Nach oben nimmt ausserdem der Ortsfaktor g ab (wegen des Newton'schen Gravitationsgesetzes). Auch dies führt dazu, dass der Druck in tieferen Schichten nochmals etwas höher ist als in höheren Luftschichten. Allerdings ist dieser Effekt klein, weil 99.9% der Luft in einer Lufthülle von nur 50 km dicke ist. 50 km über der Erdoberfläche ist g nur wenig kleiner als auf der Erdoberfläche (9.7 statt 9.8 N/kg).

c) $p = 100'000 \text{ Pa} = F/A = F_G/A = mg/A$

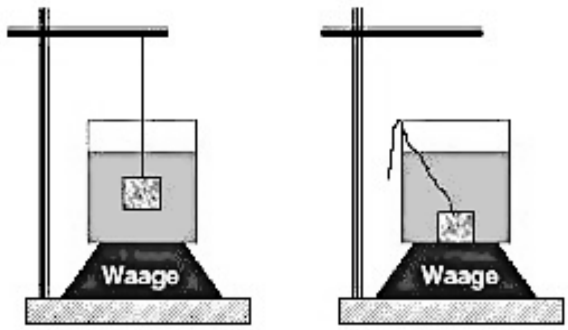
   $m = p \cdot A/g = 10^5 \cdot 510 \cdot 10^6 \cdot 10^6 / 9.8 \text{ kg} = 5.2 \cdot 10^{18} \text{ kg}$

   Bemerkung: Diese Luftmasse entspricht doch rund einem Millionstel der Erdmasse. D.h., die Lufthülle enthält gar nicht so wenig Masse, obwohl sich 99.9% der Luft innerhalb einer Schicht von nur gerade 50 km um die Erdoberfläche herum befindet. Die Lufthülle hat eine Dicke die rund 130 mal kleiner ist als der Erdradius (R_{Erde} ≈ 6400 km)! (Im Alltag sagt man oft sehr ungenau:... nichts ist im Glas... nur Luft! Luft ist aber wirklich nicht „nichts"! Die gesamte Lufthülle der Erde hat eine recht grosse Masse!

2. **Prinzip von Archimedes zur Bestimmung der Dichte eines Körpers (5 P)**

Ein Körper wiegt im Wasser hängend $F_1 = 0.66$ N. Wird er auf den Boden abgesenkt, beträgt die Gewichtskraft $F_2 = 0.96$ N. Berechnen Sie das Volumen V des Körpers und seine Dichte ρ. (2 + 3 P)

Verwenden Sie als Ortsfaktor g = 9.81 N/kg und für die Dichte von Wasser $\rho(H_2O) = 1.00 \cdot 10^3$ kg/m^3.



Lösung:

F_1 ist die Differenz von Gewicht F_G und Auftriebskraft F_A. Falls diese beiden Kräfte gleich wären, würde der Körper schwimmen.

$F_1 = F_G - F_A = 0.96 - F_A = 0.66$ N nur die Masse des verdrängten Wasservolumens drückt auf die Waage!

$F_G = F_2 = 0.96$ N die gesamte Masse des Körpers drückt auf die Waage!

$F_A = 0.30\ \text{N} = V_K * \rho(H_2O) * g$ $V_K = 0.30/(9.81 \cdot 1000)\ \text{m}^3 = 3.06 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3 = 3.1 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3$

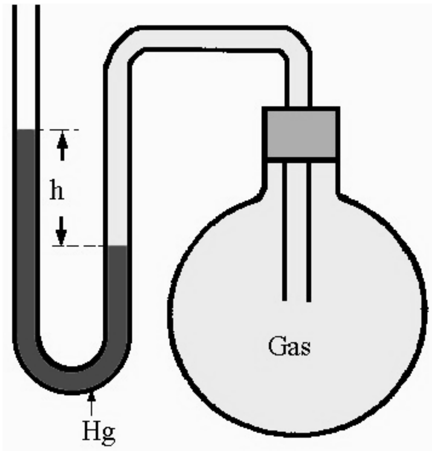
$\rho_K = 0.96/(9.81 \cdot 3.06 \cdot 10^{-5})\ \text{kg/m}^3 = 3200\ \text{kg/m}^3$

3. **Druckmessung (5 P)**

Die schematische Darstellung zeigt ein U-Rohr, das zur Messung von Druckänderungen (d.h. Druckunterschieden) dient. Als Messflüssigkeit wird Quecksilber (Hg) verwendet (Dichte aus Fundamentum übernehmen).

a) Wie gross ist der Unterschied zwischen Gasdruck und Luftdruck, wenn h = 0.047 m misst? (3 P)

b) Wie gross ist der Gasdruck p(Gas) absolut, wenn der Luftdruck p(Luft) = 925 hPa beträgt? (2 P)



Lösung:

a) $\Delta p = \rho(Hg) * g * h = 13570 * 10 * 0.047$ Pa = 6378 Pa = 6400 Pa

oder $\Delta p = \rho(Hg) * g * h = 13546 * 9.81 * 0.047$ Pa = 6246 Pa = 6200 Pa
oder $\Delta p = \rho(Hg) * g * h = 13546 * 10 * 0.047$ Pa = 6366 Pa = 6400 Pa

b) p(Gas) = 925 hPa + 6400 Pa = 925 hPa + 64 hPa = 989 hPa

4. **U-Boot der Seawolf-Klasse (7 P)**

Ein U-Boot der Seawolf-Klasse hat ungefähr die Form einer Zigarette, hat ein Volumen von 9138 m^3 und verdrängt im Schwimmmodus 8600 Tonnen Wasser.

a) Wie schwer ist das U-Boot und warum? (2 P)

b) Wie viele Prozent des Volumens sind im Schwimmmodus über dem Wasser? (2 P)

c) Was muss das U-Boot genau machen, damit es vollständig unter das Wasser Tauchen kann? Die qualitative Lösung gibt 1 P, die quantitative (rechnerische) Lösung 3 P. (3 P)

Lösung:

a) Schwimmen bedeutet: Auftriebskraft gleich Gewichtskraft: $F_A = F_G$.
Also: $F_A = m(H_2O)\, g = m(\text{Körper})\, g = F_G$
$m(H_2O) = m(\text{Körper})$!!
Somit: $m(H_2O) = 8600$ t = m(Körper) = m(U-Boot) , da das U-Boot genau so viel Wasser verdrängt.

b) 1 Tonne entspricht 1 m^3 Wasser. 1 – 8600/9138 = 0.0589, d.h., 5.89% sind über Wasser

c) Das U-Boot muss Wasser aufnehmen. Und zwar mindestens (9138 – 8600) m^3 = 538 m^3

Zweite mögliche Lösung in Meerwasser: Mit der Dichte von Meerwasser 1030 kg/m^3 arbeiten und so kommt man auf ein *grösseres* Volumen:

b) 8.2% sind dann über Wasser im Schwimmmodus. (= 749 m^3)

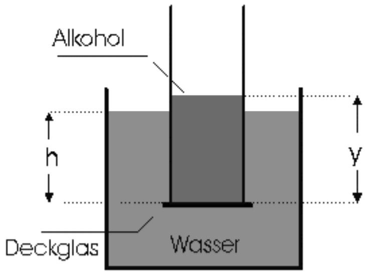
c) Dieses Volumen über Wasser muss auch noch unter Wasser, d.h., leere Tanks mit mindestens 749 m^3 Volumen müssten mit Meerwasser geflutet werden.

5. **Glasrohr mit Flüssigkeit (6 P)**

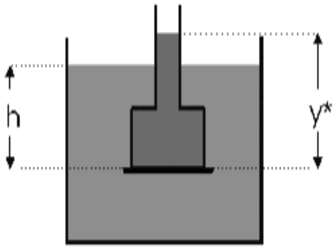
Ein zylindrisches Glasrohr (innere Querschnittsfläche $A_1 = 15\ cm^2$) wird am unteren Ende mit einer kreisförmigen Glasplatte ($m_{Glas} = 10$ g; Querschnittsfläche $A_2 = 16\ cm^2$) abgedeckt und h = 40 cm unter Wasser getaucht. Der Luftdruck beträgt p(Luft) = 1000 hPa.

a) Warum fällt dabei die Glasplatte nicht ab? (2 P)

b) Wie hoch kann man nun in das Rohr (von der Glasplatte aus gerechnet) Alkohol ($\rho_A = 0.80\ g/cm^3$) giessen, so dass die Glasplatte gerade abfällt? (2 P)



Figur zu Teilaufgabe a) und b)



Figur zu Teilaufgabe c)

c) Was ändert sich am Ergebnis der Teilaufgabe b), wenn das Glasrohr nicht mehr zylindrisch ist, sondern im oberen Teil nur noch die halbe Querschnittsfläche besitzt? Welches Prinzip steckt dahinter? (2 P)

Lösung:

a) Der Druck von Aussen auf die Glasplatte ist der Luftdruck:

$$p(oben) = p(Luft)$$

da das Gefäss ja noch leer ist. Zudem wirkt aber noch das Gewicht der Platte als Kraft nach unten und bewirkt so einen weiteren Druck: $p(oben = p(Luft) + m \cdot g/A_2$

Der Druck unter Wasser auf die Glasplatte ist: $p(Wasser) = \rho(H_2O) \cdot h \cdot g + p(Luft)$

Wenn die Kraft unter Wasser grösser ist als die Kraft von oben, dann hält die Glasplatte!

Die Kraft auf die Glasplatte von unten ist:

$$F_{Wasser} = A_2 \cdot p(Wasser) = A_2 \cdot [g \cdot \rho(H_2O) \cdot h + p(Luft)]$$

Die Kraft von oben auf die Glasplatte ist:

$$F_{oben} = m_{Glas} \cdot g + A_1 \cdot p(Luft)$$

Resultierende F_{Res} Kraft auf die Glasplatte (wikrt von unten nach oben):

$$F_{Wasser} = 0.0016\ m^2 \cdot (10\ N/kg \cdot 1000\ kg/m^3 \cdot 0.40\ m + 100000\ Pa) =$$
$$= 6.4\ N + 160\ N = 166.4\ N$$
$$F_{oben} = 0.010\ kg \cdot 10\ N/kg + 0.0015\ m^2 \cdot 100000\ Pa = 0.1\ N + 150\ N = 150.1\ N$$
$$F_{Res} = F_{Wasser} - F_{oben} = 16.3\ N$$ (F_{Res} ist grösser Null, also hält die Glasplatte!)

b) Der Alkohol darf maximal nach unten eine Kraft von $F_{Alkohol} = 16.3$ N bewirken.

Kraft $F_{Alkohol} = A_1 \cdot p(Alkohol) = A_1 \cdot \rho_A \cdot y \cdot g \leq 16.3\ N$

$$y \leq 16.3\ N / [0.0015\ m^2 \cdot 800\ kg/m^3 \cdot 10\ N/kg]$$

maximale Füllhöhe des Alkohols: $y \leq 16.3\ N / (12\ N/m) = 1.36\ m$

c) Die maximale Füllhöhe bleibt gleich, denn der Schweredruck im Alkohol (allg. in einer Flüssigkeit) ist nur von der Füllhöhe und der Dichte abhängig (der Ortsfaktor g ist konstant auf dem Experimentiertisch) und NICHT von der Querschnittsfläche. Man nennt dies auch das hydrostatische Paradoxon. Also y* = y = 1.36 m. Es ändert sich nichts!