

1. Die Angabe des Drucks kann auch in der Einheit *Torr* (= mm Hg) erfolgen. Die Einheit hat sich im Bereich der Blutdruckmessung gehalten. 1 Torr entspricht dem hydrostatischen Druck von 1 mm Quecksilbersäule. Für die Umrechnung gilt: 1 Torr (=1 mm Hg) entspricht 133,322 Pa.

- a) Berechnen Sie anhand der Angaben, die bei der Umrechnung angenommene Dichte von Quecksilber (Hg)!
- b) Welche Höhe hat eine Wassersäule, die denselben Druck ausübt, wie 420 mm Quecksilbersäule?
- c) Als „Blutdruck“ wird der Blut-Überdruck bezeichnet, also der Druck des Blutes, der den Umgebungsdruck der Atmosphäre überschreitet. Der mit einem Blutdruckmessgerät gemessene Blutdruck einer Versuchsperson beträgt bei Normbedingungen $p = 80$ mmHg. Geben Sie den Blutdruck und den Blutgesamtdruck in kPa an.

2. Mit welcher Kraft drückt das Wasser in 20 Meter Tauchtiefe auf die kreisförmige Ausstiegsluke eines U-Bootes (Durchmesser: 65 cm)?

3. Die Druckkörper moderner militärischer U-Boote halten normalerweise einem Wasserdruck von 600 Meter stand.

- a) Wie hoch ist der dort herrschende hydrostatische Wasserdruck (in Pa und in bar)?
- b) Welche Kraft (in N) und welche Masse (in kg) lasten bei dieser Tiefe aufgrund der Wassersäule auf ein Quadratmillimeter Fläche des Druckkörpers. Hinweis: $g = 9,81$ N/kg.

4. **Pound-force** (übersetzt *Pfund-Kraft*) ist eine angloamerikanische Maßeinheit für Kräfte und wird mit lbf abgekürzt. Ein pound-force entspricht dabei der Kraft, die auf eine Masse von einem britischen oder amerikanischen Pfund (0,45359237 kg) durch die Schwerebeschleunigung auf der Erdoberfläche ausgeübt wird. Dabei wird die Normfallbeschleunigung $g_n = 9,80665$ m/s² verwendet. Entsprechend ist **Pound-force per square inch (= psi)**, übersetzt: Pfund-Kraft pro Quadratzoll) die in den USA gebräuchliche Maßeinheit des Drucks. Die Länge von 1 Zoll (1 inch) entspricht dabei 2,54 cm.

- a) Berechnen Sie anhand der Angaben den Umrechnungsfaktor von psi in Pa und von Pa in psi.
- b) In der Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) können Drucke von bis zu 15000 psi auftreten. Welchem Druck entspricht dies in MPa?

Lösungen ohne Gewähr

a) Wir stellen die Formen für den hydrostatischen Druck nach der Dichte um und setzen ein.

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow \rho = \frac{p_h}{g \cdot h} = \frac{133,322 \text{ Pa}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,001 \text{ m}} = 13590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{also ca. } 13,59 \text{ g/cm}^3)$$

Literaturwert: $13,55 \text{ g/cm}^3$ (293 K)

Wenn Sie alle Angaben in SI-Basiseinheiten einsetzen (hier: Länge in Metern, Zeit in Sekunden, Druck in Pa), so resultiert immer die Einheit, die sich aus SI-Basiseinheiten (hier: Masse: kg, Volumen: m^3) zusammensetzt.

b) **Schritt 1:** Zuerst rechnen wir in die Einheit Pa um. **Schritt 2:** Dann setzen wir in die Formel für den hydrostatischen Druck ein, dabei nehmen wir als Dichte von Wasser 1000 kg/m^3 an.

$$1 \text{ mm Hg} \quad \triangleq 133,322 \text{ Pa}$$

Dreisatz:

$$420 \text{ mm Hg} \quad \triangleq x$$

$$x = 55995,24 \text{ Pa}$$

$$\text{Schritt 2: } h = \frac{p_h}{g \cdot \rho} = \frac{55995,24 \text{ Pa}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 5,71 \text{ m}$$

Die Wassersäule hat eine Höhe von 5,71 m.

c) Umrechnung in Pa und in kPa: 80 mm Hg sind 10665,76 Pa. Das sind wiederum ca. 10,67 kPa.

„Blutdruck“ (d.h. Überdruck des Blutes gegenüber Normdruck): 10,67 kPa.

Blutgesamtdruck: $p_{\text{abs}} = p_e + p_{\text{amb}} = 10,67 \text{ kPa} + 101,3 \text{ kPa} \approx 111,97 \text{ kPa}$.

Nr. 2

$$\text{Fläche der Ausstiegsluke: } A = \pi r^2 = \pi \cdot (0,325 \text{ m})^2 = 0,3318 \text{ m}^2$$

Volumen des Wassersäulezylinders über der Ausstiegsluke: $V = \text{Grundfläche} \cdot \text{Wassersäule} = 0,3318 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ m} = 6,637 \text{ m}^3$. Die Wassersäule wiegt also 6,637 Tonnen (da die Dichte des Wassers 1 Tonne pro Kubikmeter beträgt)

$$\text{Gewichtskraft des Wassers: } F = m \cdot g = 6637 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \approx 65105 \text{ N} \approx 65,1 \text{ kN}$$

Nr. 3

$$\text{a) } p_h = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 600 \text{ m} = 5,886 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 5,886 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Umrechnung: $1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mbar} \Rightarrow 5,886 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 5,886 \cdot 10^4 \text{ hPa} = 5,886 \cdot 10^4 \text{ mbar} = 58,86 \text{ bar}$

$$\text{b) } p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A = 5,886 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot (0,001 \text{ m})^2 = 5,886 \text{ N}$$

$$F = m \cdot g \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{5,886N}{9,81 \frac{N}{kg}} = 0,6kg$$

Auf jeden Quadratmillimeter lasten also 600 Gramm. Auf einen Quadratzentimeter sind das schon 60 Kilogramm. Auf ein Quadratmeter lasten damit 600000 kg, also 600 Tonnen.

Nr. 4

a) Gewichtskraft von 1 Pfund (Pfundkraft): $F = m \cdot g = 0,45359237kg \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} = 4,448221615N$

Fläche von 1 Quadratzoll in Quadratmetern: $A = (1 \text{ Zoll})^2 = (0,0254m)^2 = 0,00064516 m^2$

$$1 \text{ psi} = 1 \frac{\text{Pfundkraft}}{\text{Quadratzoll}} = \frac{4,448221615N}{0,00064516m^2} = 6894,76 \frac{N}{m^2} = 6894,76Pa$$

Also: 1 psi = 6894,76 Pa => Dreisatz: Wenn 1 psi 6894,76 Pa entsprechen, dann entsprechen 1 Pa dem Wert 0,0001450 psi => 1 Pa = 0,0001450 psi

b) 15000 psi = 103,4 MPa