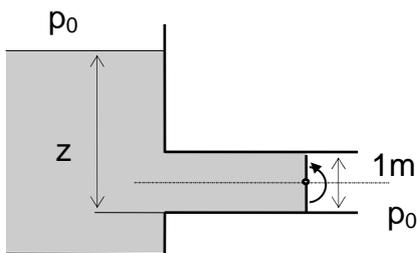


## Übungsaufgaben zur technischen Strömungs- und Wärmelehre

### St. Strömungslehre

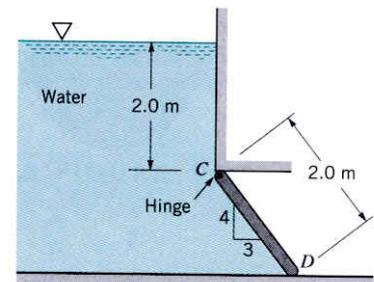
- St.1** a) Rechnen Sie einen Druck von 16 kPa in mm-Hg und Atmosphären um ( $\rho_{\text{Hg}} = 13.546 \text{ g/cm}^3$ ).
- b) Unter normalen Bedingungen erzeugt das menschliche Herz etwa einen Druck von 120 mm-Hg in der Kontraktionsphase. Wie groß ist in diesem Moment der Blutdruck in den Arterien der Füße eines aufrecht stehenden Menschen? Wie groß ist der Blutdruck im Gehirn? (Die Füße sind etwa 1.4 m unterhalb des Herzens und das Gehirn etwa 0.4 m oberhalb und  $\rho_{\text{Blut}} = 1060 \text{ kg/m}^3$ .)
- c) Angenommen ein Astronaut steht kurz vor der Landung auf einen "großen" Planeten mit einer Gravitationsbeschleunigung von  $40 \text{ m/s}^2$ . Kann das Herz noch einen positiven Druck im Gehirn aufrechterhalten? Der Astronaut hat sich diese Frage vorher nicht überlegt und ist deshalb zurecht etwas nervös, wodurch sein Blutdruck auf 190 mm-Hg steigt. Welche Auswirkung hat dieser Streß auf den Astronauten? (qualitative Antwort).

**St.2** Auf eine dicht schließende, kreisrunde Drosselklappe von 1m Durchmesser wirkt in geschlossenem Zustand auf der einen Seite der hydrostatische Druck des zur Höhe  $z$  aufgestauten Wassers ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ), auf der anderen Seite der Luftdruck  $p_0$  (siehe Skizze).



- a) Wie groß ist die resultierende Druckkraft nach rechts auf die Fläche der Drosselklappe in Abhängigkeit der Flüssigkeitshöhe  $z$ ?
- b) Wie groß ist das vom hydrostatischen Druck auf die Drosselklappe ausgeübte Drehmoment  $M_h$ , in Abhängigkeit der Flüssigkeitshöhe  $z$ ?

**St.3** Eine rechtwinklige, homogene Klappe sei 1.8 m breit und 2.0 m lang. Welches Gewicht muss die Klappe mindestens haben, damit bis zu einem Wasserstand von 2 m oberhalb des Gelenkpunkts C kein Wasser ausfließen kann (siehe Skizze)?



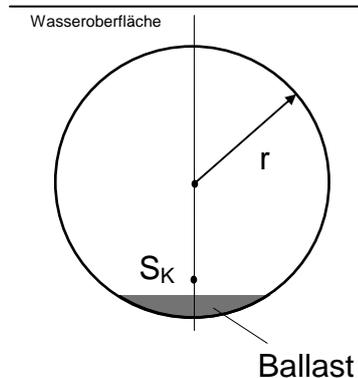
**St.4** Unter folgenden zwei Annahmen soll berechnet werden, in welcher Höhe  $h$  der Sauerstoffgehalt der Luft nur noch halb so groß ist wie auf Meereshöhe.

- a1) Die Temperatur in der Atmosphäre ist überall konstant.
- a2) Die Temperatur nimmt mit der Höhe ab, wobei  $T_0 = 25 \text{ °C}$  (Verwenden Sie die internationale Höhenformel).
- a3) Wie groß ist die prozentuale Abweichung vom richtigen Wert zwischen den beiden Antworten?
- b) In den Alpen ist es nicht ungewöhnlich in 3000m Höhe Ski zu fahren. Auf wieviel Prozent ist der Sauerstoffgehalt der Luft im Vergleich zur Meereshöhe (100%) gesunken ( $T = \text{konst}$ )?

**St.5** a) Eine Krone aus Gold wiegt in Luft 28.24 N und in Wasser 26.36 N. Welche Dichte  $\rho$  hat diese Goldlegierung?

b) Wieviel Prozent eines Eisbergs sind unter Wasser?  
(Meerwasser  $\rho_W = 1.024 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Eis:  $\rho_E = 0.917 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )

**St.6** Ein Unterseeboot, das vollständig im Wasser eingetaucht ist, soll die gleiche Projektionsfläche wie ein Zylinder haben. Der Ballast drückt den Schwerpunkt des Boots um  $\frac{3}{4} r$  unterhalb des Zylinderzentrums (Siehe Skizze). Gehen Sie nun davon aus, daß das Unterseeboot aufgrund einer kleinen Störung um den Winkel  $\alpha$  aus der Ruhelage gedreht wird.



a) Berechnen Sie das Rückstellmoment, als Funktion der Masse  $m$  des Unterseeboots, der Wasserdichte  $\rho_W$ , des Zylinderradius  $r$  und der Gravitationsbeschleunigung  $g$ .

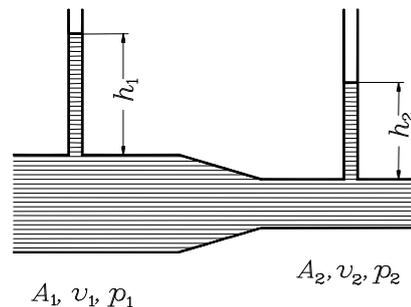
(Bemerkung: Im allgemeinen ist  $\rho_W \approx \rho_{U\text{-Boot}}$ )

b) Wie ändert sich diese Gleichung, wenn das Unterseeboot im Wasser "schwebt"?

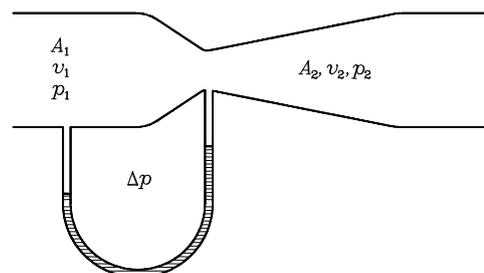
**St.7** Der Querschnitt eines Glasrohres, das von Wasser durchströmt wird, verjüngt sich von  $A_1 = 4 \text{ cm}^2$  auf  $A_2 = 1 \text{ cm}^2$ . Vor und hinter der Verjüngung sind auf dem Rohr Steigröhrchen aufgesetzt. Im ersten Steigröhrchen steht der Wasserspiegel  $h_1 = 15 \text{ cm}$  hoch.

a) Wie hoch steht das Wasser im zweiten Steigröhrchen, wenn die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit im engen Rohrteil  $v_2 = 80 \text{ cm/s}$  beträgt und die Viskosität des Wassers vernachlässigt werden kann?

b) Mit welcher Geschwindigkeit müßte das Wasser im engen Rohr fließen, wenn die Steighöhe im ersten Röhrchen unverändert, im zweiten jedoch null wäre?

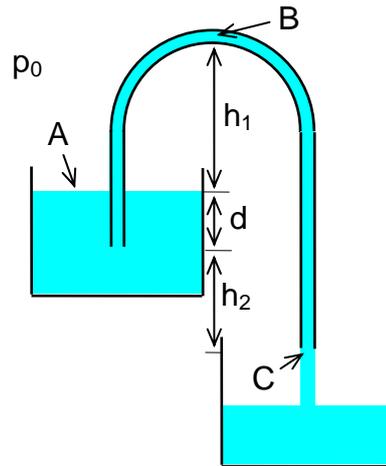


**St.8** In eine Wasserleitung soll ein Strömungsmesser (Venturidüse) eingebaut werden, dessen Differenzdruckmanometer beim größten Volumenstrom  $\dot{V} = 2 \text{ L/s}$  gerade Vollausschlag  $\Delta p = 3000 \text{ Pa}$  anzeigen soll. Wie groß muß der Durchmesser  $d_2$  der engsten Stelle gewählt werden, wenn der Leitungsdurchmesser  $d_1 = 50 \text{ mm}$  beträgt?

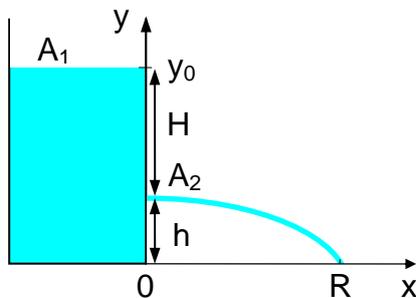


**St.9** Ein Saugheber ist im Prinzip ein umgedrehtes U-Rohr, das benutzt werden kann um eine Flüssigkeit von einem zu einem anderen Behälter zu transportieren (Siehe Skizze). Ist das Rohr anfänglich gefüllt, so senkt sich der Flüssigkeitsspiegel bis die Öffnung des U-Rohrs bei A erreicht ist. Die Flüssigkeit hat die Dichte  $\rho$  und soll eine vernachlässigbare Viskosität haben.

- Mit welcher Geschwindigkeit verläßt die Flüssigkeit das Rohr im Punkt C? Ist diese Geschwindigkeit von  $d$  abhängig?
- Wie groß ist der Druck in der Flüssigkeit im höchsten Punkt B?
- Bis zu welcher maximalen Höhe  $h_{\max} = h_1 + d + h_2$  funktioniert dieser Saugheber?

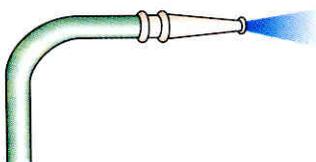


**St.10** In einen zylindrischen Tank mit Querschnitt  $A_1$  befindet sich ein kleines Loch mit Querschnitt  $A_2$  ( $A_1 \gg A_2$ ). Der Tank sei mit Wasser gefüllt. (Siehe Skizze)



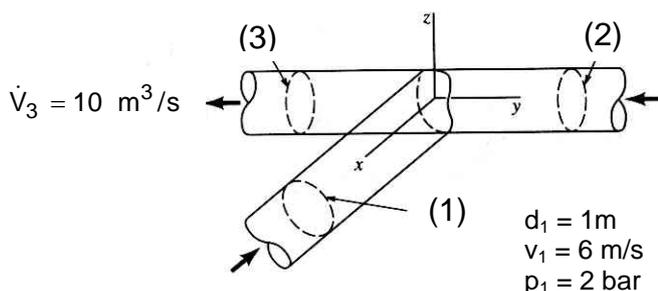
- In welcher Höhe  $h$  müßte das Loch sein, damit die Reichweite  $R$  des Wasserstrahls am größten ist? Nehmen Sie an, daß es sich bei Wasser um eine ideale (nicht viskose) Flüssigkeit handelt.
- Gehen Sie nun davon aus, daß das Loch ganz unten am Boden gebohrt wurde ( $h=0$ ). Wie lange dauert es, bis die Hälfte des Wassers aus dem Zylinder geflossen ist?

**St.11** Wasser wird in einen Feuerwehrschauch mit dem Durchmesser  $d_1 = 2$  cm umgelenkt. Nehmen Sie an, dass es sich hier um eine ideale Flüssigkeit handelt und vernachlässigen Sie alle Gravitationseffekte.



- Mit welcher der Kraft (Betrag und Richtung!) muß man das Ende des Schlauches festhalten, wenn aus ihm 1,6 Liter pro Sekunde ausströmen? (Der „Beschleunigungseffekt“ der Düse soll zunächst vernachlässigt werden).
- Wie ändert sich die Kraft, wenn die Düse mit Austrittsdurchmesser  $d_2 = 1$  cm berücksichtigt wird? (Gleicher Volumenstrom wie in Teil a).

**St.12** Ein Wasserstrahl wird durch ein T-Stück geleitet (siehe Skizze). Berechnen Sie die x- und y-Komponente der Kraft, die das T-Stück auf das Wasser ausübt, wenn  $d_1 = d_2 = d_3$ . Gehen Sie bei Ihren Überlegungen von einer inkompressiblen, idealen Flüssigkeit aus.



Sie die x- und y-Komponente der Kraft, die das T-Stück auf das Wasser ausübt, wenn  $d_1 = d_2 = d_3$ . Gehen Sie bei Ihren Überlegungen von einer inkompressiblen, idealen Flüssigkeit aus.

**St.13** Mit einem Fallschirm (Halbkugelschale,  $c_w = 1,35$ ) soll eine Last von  $m = 900$  kg am Boden abgesetzt werden. Die sich einstellende Konstante Sinkgeschwindigkeit  $v_s$  soll der Auftreffgeschwindigkeit bei einem freien Fall dieser Last aus 50 cm Höhe entsprechen. Wie groß muß der Durchmesser  $d_f$  des Fallschirms gewählt werden? Die mittlere Luftdichte  $\rho_2 = 1.2$  kg/m<sup>3</sup>.

**St.14** Eine kugelförmige Messgerätekapsel mit einem Durchmesser  $d = 40$  cm steigt mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  aus großer Tiefe zur Meeresoberfläche auf. Die Steiggeschwindigkeit wird mit  $v = 1$  m/s gemessen. Die Zähigkeit des Wassers ist  $\eta = 10^{-3}$  N s/m<sup>2</sup> und die Dichte  $\rho_w = 1.024 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>.

- Welche Strömungsverhältnisse liegen vor?
- Wie groß ist die Masse der Kapsel?

**St.15** Ein Lastwagen (Masse  $m = 3600$  kg, Schattenfläche  $A = 4.2$  m<sup>2</sup>) fährt mit einer Motorleistung von  $P = 44$  kW, die mit einem Wirkungsgrad von 60% auf die Räder übertragen wird. Er erzielt dabei auf horizontaler Straße die Geschwindigkeit  $v = 60$  km/h. Der Rollreibungskoeffizient der Räder beträgt  $\mu_r = 0.03$ , die Dichte der Luft ist  $\rho = 1.23$  kg/m<sup>3</sup>. Welchen Widerstandsbeiwert  $c_w$  hat das Fahrzeug?

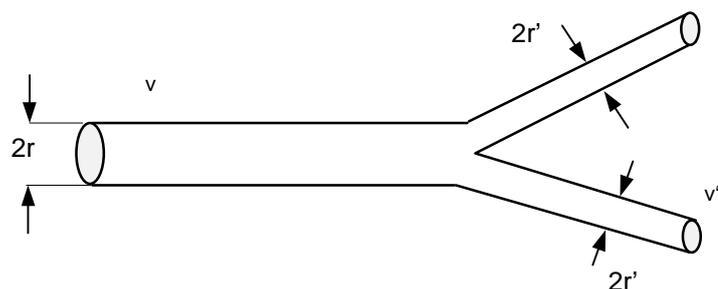
**St.16** Durch eine  $l = 100$  m lange Pipeline soll Öl ( $T = 5$  °C) gerade so schnell fließen, daß gerade noch laminare Strömung zu erwarten ist.

- Welche Leistung  $P$  muß die Pumpe haben?
- Welche Leistung  $P$  muß die Pumpe bei gleichem Volumenstrom wie in Aufgabenteil a) erbringen, wenn sich das Öl aufgrund der Sonneneinstrahlung auf  $T = 25$  °C erwärmt hat?

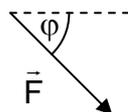
Rohrdurchmesser  $d = 0.4$  m, Rohrrauigkeit  $k = 0.01$  mm, Viskosität:  $\eta (5$  °C) =  $0.776$  Pa s,  $\eta (25$  °C) =  $0.192$  Pa s, Dichte:  $\rho = 0.89$  kg/dm<sup>3</sup>.

**St.17** Eine viskose Flüssigkeit wird durch ein Rohr mit Radius  $r$  gepumpt. An einer bestimmten Stelle teilt sich das Rohr in zwei kleinere Rohre mit Radius  $r'$  (siehe Skizze).

- Welches Verhältnis  $r/r'$  müssen die Rohrradien haben, so daß bei laminarer Strömung in allen drei Verzweigungen der gleiche Druckabfall pro Länge bewerkstelligt wird.
- Welches Verhältnis ergibt sich für ein hydraulisch rauhes Rohr bei turbulenter Strömung (gleiche relative Rohrrauigkeit  $d/k$ )?



**Lösungen:**

- St.1** a) 120 mm-Hg, 0.158 atm  
 b)  $p_{\text{Fuß}} = 229 \text{ mm-Hg}$ ,  $p_{\text{Gehirn}} = 88.8 \text{ mm-Hg}$ .  
 c) Der „positive“ Streß rettet ihm das Leben.
- St.2** a)  $F = 7704 (z - 0.5) \text{ N}$  mit  $z = \text{Stauhöhe in m}$   
 b)  $M \neq f(z)$ ,  $M = \rho g I_s = 481.6 \text{ Nm}$
- St.3**  $F_G = 18.0 \cdot 10^4 \text{ N}$
- St.4** a1) 5.54 km a2) 5.48 km a3) 1% b) 69%
- St.5** a)  $\rho_{\text{Krone}} = 15.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  b) 90 %
- St.6** a)  $M = \frac{3}{4} r \rho_W / \rho_{\text{U-Boot}} m g \sin(\alpha)$  b)  $M = \frac{3}{4} r m g \sin(\alpha)$
- St.7** a)  $h_2 = 12.5 \text{ cm}$  b)  $v_2 = 1.80 \text{ m/s}$
- St.8**  $d_2 = 31 \text{ mm}$
- St.9** a)  $v_c = \sqrt{2 g (h_2 + d)}$  b)  $p_B = p_0 - \rho g (h_2 + d + h_1)$  c) 10.3 m
- St.10** a)  $h = y_0/2$  b)  $T_{1/2} \approx (\sqrt{2} - 1) \sqrt{\frac{y_0}{g} \frac{A_1}{A_2}}$
- St.11** a)  $F = 11.5 \text{ N}$  und  $\varphi = 45^\circ$   b)  $F = 76.4 \text{ N}$  und  $\varphi = 64.7^\circ$
- St.12**  $F_x = 185 \text{ kN}$ ,  $F_y = - 45.8 \text{ kN}$
- St.13**  $d = 37,6 \text{ m}$
- St.14** a) turbulente Strömung b)  $m = 31.7 \text{ kg}$
- St.15**  $c_w = 0.73$
- St.16** a)  $P = 49.0 \text{ kW}$  b)  $P = 56.8 \text{ kW}$
- St.17** a)  $r'/r = 0.84$  b)  $r'/r = 0.758$