

Übung 4-1

Nach erfolgreichem Abschluss Ihres Studiums haben Sie von Ihrem ersten Gehalt als Ingenieur eine schöne Berghütte in den Alpen erworben. Relativ schnell bemerken Sie den Grund für den günstigen Kaufpreis. Es findet sich zwar fließendes Wasser in Form eines Bachlaufs vor der Hütte, jedoch kein elektrischer Strom. Leicht irritiert von den permanenten Auseinandersetzungen mit Ihrer besseren Hälfte über den Geschirrabwasch, beschließen Sie die Installation eines kleinen Wasserkraftwerks. Immerhin sind Sie ja Ingenieur und möchten einen positiven Beitrag zu Ihrer Beziehung liefern.

Welche Überlegungen sollten Sie anstellen, bevor Sie die Spülmaschine im Tragegestell auf den Berg schleppen?

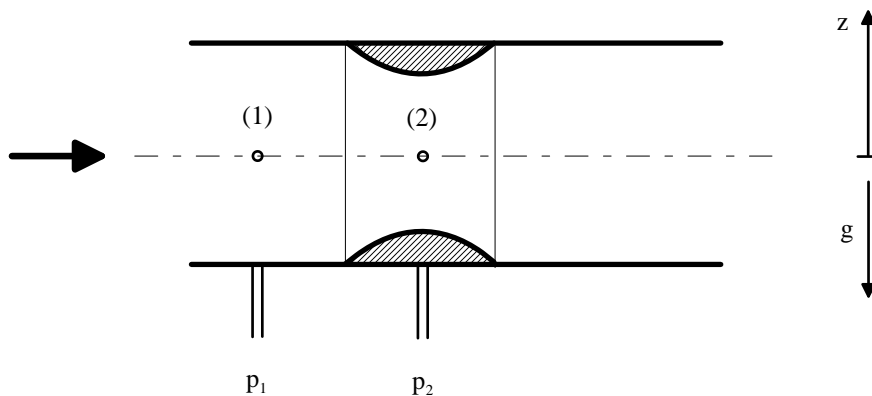
Übung 4-2

Für die skizzierte Kraftstoffleitung mit einer Messblende zur Durchflussmessung ist der Kraftstoffdurchfluss \dot{V} [l/h] zu berechnen.

Vor der Blende (1) und in der Blende (2) befinden sich je eine Druckbohrung zur Messung des statischen Drucks. Der Innendurchmesser der Leitung beträgt $d_1 = 10$ mm. Der engste Querschnitt der Blende beträgt $d_2 = 5$ mm.

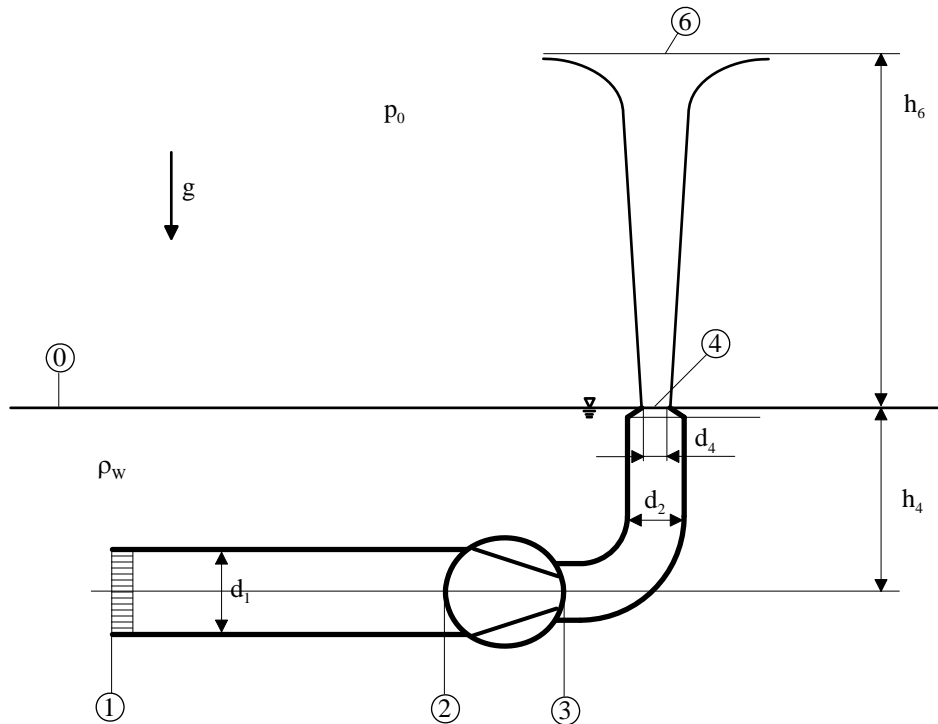
Die gemessenen statischen Drücke betragen $p_1 = 10.000$ Pa und $p_2 = 9.800$ Pa. Die Dichte des Kraftstoffs beträgt $\rho = 720$ kg/m³.

Gesucht ist der Kraftstoffdurchfluss \dot{V} [l/h].



Übung 4-3

In einem Teich liegt in der Tiefe h_4 unter dem konstanten Wasserspiegel eine Tauchpumpe zum Betrieb eines Springbrunnens. An der Stelle (1) saugt die Pumpe das Wasser an und erzeugt mit der Düse an der Stelle (4) eine Fontäne, die die Höhe h_6 über der Wasseroberfläche erreicht.



Bei allen folgenden Betrachtungen können Sie von einer reibungsfreien Strömung ausgehen.

1. Geben Sie die Geschwindigkeiten im Ansaugrohr vor der Pumpe c_1 , im Austrittsrohr hinter der Pumpe c_2 und an der Düse c_4 als Funktion der in der Zeichnung gegebenen Größen an.

2. Geben Sie die Leistung P der Pumpe als Funktion der gegebenen Größen an

3. Berechnen Sie die Leistung P der Pumpe für folgende Werte

$$d_1 = 0,08 \text{ m}, d_2 = 0,058 \text{ m}, d_4 = 0,04 \text{ m}, h_4 = 3,0 \text{ m}, h_6 = 20,387 \text{ m}, \rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3, p_0 = 1 \text{ bar}$$

Übung 4-4

Während Sie noch voller Besitzerstolz Ihr neues Fahrzeug betrachten, überlegen Sie sich angesichts Ihrer durch den Neuerwerb entstandenen knappen Kassenlage, ob sich der Kraftstoffverbrauch durch eine polierte Lackoberfläche senken lässt. Sie erinnern sich daran, dass ein Körper mit einer laminaren Grenzschicht einen deutlich geringeren Reibungswiderstand aufweist als mit einer turbulenten Grenzschicht und untersuchen die Verhältnisse auf der Kühlerhaube.

Dabei treffen Sie folgende Annahmen:

Über den gesamten Fahrzyklus sind Sie mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von $c_\infty = 60$ km/h unterwegs. Dabei bewegen Sie sich durch eine vollständig ruhende Luftmasse, in der die Standardbedingungen auf Meeresniveau herrschen. Also $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1,225$ kg/m³ und $\nu = 1,462 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Die kritische Reynolds-Zahl für den Umschlag von laminar zu turbulent schätzen Sie mit $Re_{\text{krit}} = 3,2 \cdot 10^5$ ^{ab}. Die Oberfläche kann über die gesamte Lauflänge als hydraulisch glatt betrachtet werden.

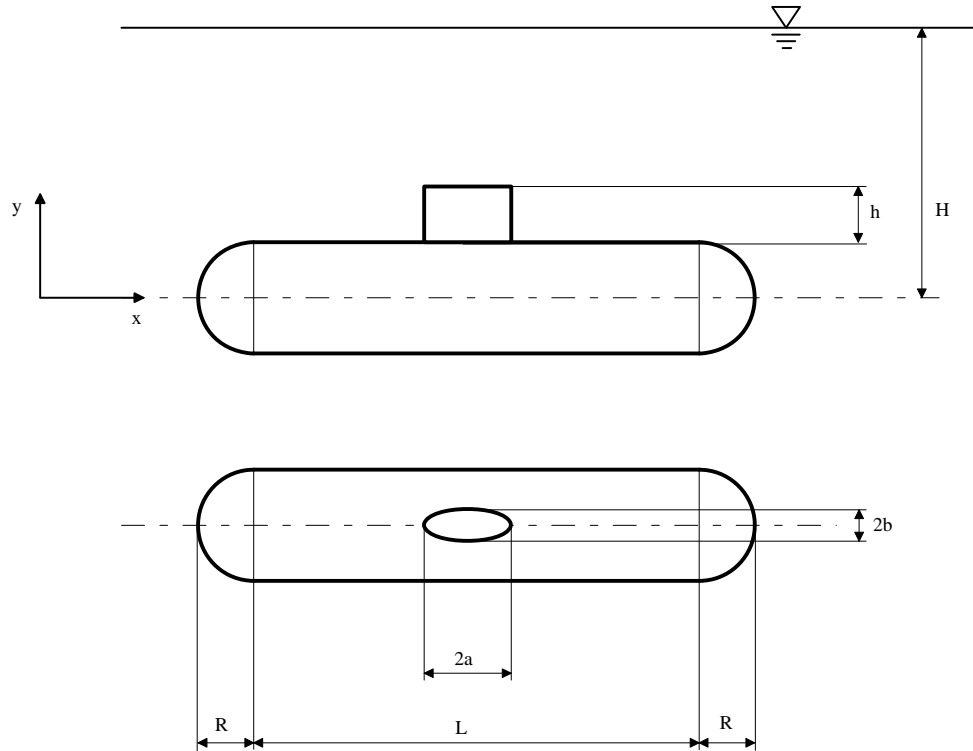
1. Berechnen Sie die laminare Anlaufstrecke der Strömung auf der Kühlerhaube.
2. Berechnen Sie die Dicke δ_x der laminaren Grenzschicht und den lokalen Reibungsbeiwert c_R am Transitionsunkt, also bei x_{krit} .
3. Berechnen Sie die Dicke δ_x der turbulenten Grenzschicht und den lokalen Reibungsbeiwert c_R an einer Stelle, die einen Meter stromabwärts von der Vorderkante der Motorhaube, also kurz vor der Windschutzscheibe liegt.
4. Berechnen Sie den gesamten Reibungsbeiwert der Motorhaube, wenn deren Gesamtlänge $l = 1$ m beträgt.

Übung 4-5

Sie kommandieren das skizzierte U-Boot. Das Boot besteht aus einem zylindrischen Rumpf mit jeweils einem Halbkugelsegment an Bug und Heck. Der Turm hat den Querschnitt einer Ellipse und wird an der Oberseite durch eine ebene Fläche abgeschlossen.

$$L = 100\text{m}, R = 5\text{m}, a = 5\text{m}, b = 2\text{m}, h = 4\text{m}, H = 200\text{m}, \rho = 1030\text{ kg/m}^3, \nu = 1,4 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$$

In einer Tauchtiefe von $H = 200\text{m}$ macht das Boot eine Fahrt von $c = 10\text{Knoten}$



1. Berechnen Sie die Masse m des Bootes bei stationärer Tauchfahrt.
2. Berechnen Sie die Lauflänge l_{krit} der laminaren Grenzschicht bis zur Transition sowie die Dicke der laminaren Grenzschicht δ_{lam} an der Transitionsstelle, wenn die kritische Reynolds-Zahl $Re_{\text{krit}} = 3,5 \cdot 10^5$ beträgt.
3. Beurteilen Sie die Bedeutung der laminaren Anlaufstrecke am Rumpf für den Gesamtwiderstand.
4. Berechnen Sie den Reibungswiderstand $W_{R,\text{Turm}}$ des Turms unter der Annahme, dass die Strömung am Turm nicht ablöst.
5. Berechnen Sie den Reibungswiderstand $W_{R,\text{ges}}$ des gesamten Bootes unter der Annahme, dass der gesamte Rumpf turbulent angeströmt wird. Am halbkugelförmigen Heck löst die Strömung ab.
6. Berechnen Sie den dimensionslosen Beiwert des Druckwiderstand C_D des Bootes, wenn der Gesamtwiderstand sich ausschließlich aus dem Reibungswiderstand und dem Druckwiderstand zusammensetzt und bei einer Geschwindigkeit von $c = 10$ Knoten die erforderliche Antriebsleistung $P = 514,4\text{ kW}$ beträgt.
7. Berechnen Sie die horizontale Kraftkomponente F_x und die vertikale Kraftkomponente F_y auf das vordere halbkugelförmige Rumpfsegment infolge des hydrostatischen Drucks.
8. Wie alt ist der Kapitän?

Übung 4-6

Der Springbrunnen in einem Park wird durch einen Druckbehälter gespeist, der durch eine Pumpe P in der Rücklaufleitung befüllt wird. Der hydraulische Wirkungsgrad der Pumpe beträgt $\eta_{\text{hydr}} = 0,8$.

Die Fontäne erreicht dabei eine Höhe von $H = 20$ m. Die Länge der Zuleitung vom Druckbehälter bis zur Düse (2) beträgt $L_1 = 15$ m. Der Austrittsdurchmesser der Düse beträgt $d_2 = 15$ mm. Der Innendurchmesser der Zuleitung beträgt $d_1 = 20$ mm. Die Länge der Rückleitung vom Teich zum Druckbehälter beträgt $L_2 = 10$ m und deren Innendurchmesser $d_2 = 25$ mm. Alle Leitungen haben eine absolute Rauheit von $k = 0,1$ mm und konstante Querschnitte. Alle Übergänge bei Ein- und Austritt sind scharfkantig. Die Krümmerradien in den Leitungen betragen $R = 50$ mm. Es herrscht ein Umgebungsdruck von $p_0 = 1$ bar. Die Pumpe in der Rückleitung sorgt dafür, dass der Pegelstand im Teich sowie der Pegelstand im Druckbehälter mit $h = 1$ m konstant bleiben. Bei Eintritt in den Druckbehälter beträgt die Strahlkontraktion $\alpha_K = 0,62$. Das Manometer am Druckbehälter zeigt einen Überdruck von $p_{\text{Ü}} = 1,5$ bar. Die kinematische Viskosität von Wasser beträgt $\nu = 10^{-6}$ m²/s.

Berechnen Sie die Austrittsgeschwindigkeit c_D des Wasserstrahls an der Düse und die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe P_{el} .

