....

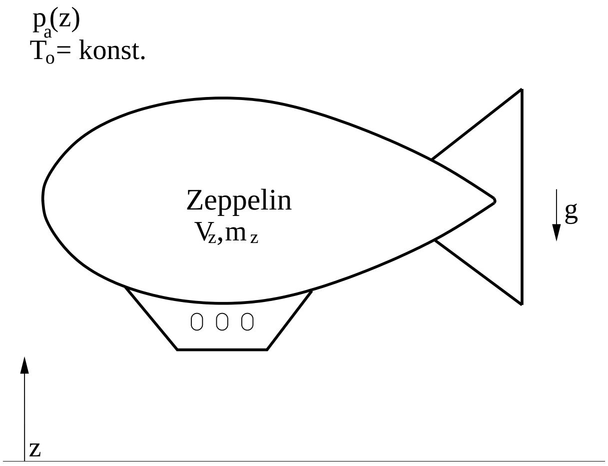
(Name, Matr.-Nr, Unterschrift)

Klausur Strömungslehre

22. 08. 2003

1. Aufgabe (13 Punkte)

Ein Zeppelin (Strukturmasse $m_z = 10000\,\mathrm{kg}$, Volumen $V_z = 25000\,\mathrm{m}^3$) soll Passagiere (Gesamtmasse $m_p = 1000\,\mathrm{kg}$) für einen Rundflug aufnehmen. Um den Passagieren die Reise so angenehm wie möglich zu machen, darf die Vertikal-Anfangsbeschleunigung a den Wert $a_0 = g = 10\,\mathrm{m/s}^2$ nicht überschreiten. Der Zeppelin kann wahlweise mit Wasserstoff ($R_{H_2} = 4124$ J/(kgK)) oder Helium ($R_{He} = 2077$ J/(kgK)) befüllt werden.



Gegeben: $V_z = 25000\,\mathrm{m}^3$, $m_z = 10000\,\mathrm{kg}$, $m_p = 1000\,\mathrm{kg}$, $R_{H_2} = 4124\,\mathrm{J/(kgK)}$, $R_{He} = 2077\,\mathrm{J/(kgK)}$, $R_L = 287\,\mathrm{J/(kgK)}$, $p_0 = p_a(z=0) = 1\,\mathrm{bar}$, $a_0 = g = 10\mathrm{m/s}^2$, $T_0 = 293\,\mathrm{K} =$ konst.

a) Bestimmen Sie die Haltekraft für beide Füllgase, mit welcher der Zeppelin vor dem Start am Boden festgehalten werden muss.

b) Geben Sie den Wert der Dichte des Füllgases an, bei dem die maximal zulässige Beschleunigung a_0 gerade erreicht wird.

c) Berechnen Sie die Anfangsbeschleunigung a für beide Füllgase. Welches der beiden Füllgase, Wasserstoff oder Helium, erfüllt die Bedingung $a \leq a_0$?

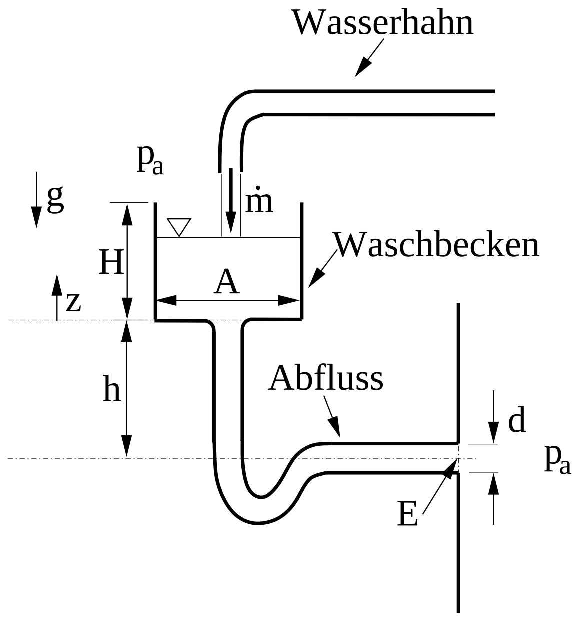
d) Bestimmen Sie für beide Füllgase die maximale Steighöhe des Zeppelins in einer isothermen Atmosphäre.

Hinweise:

- Die Masse des Füllgases ist in den Rechnungen zu berücksichtigen.
- Der Zeppelin wird am Boden ($z = 0$) unter Umgebungsbedingungen befüllt.

2. Aufgabe (13 Punkte)

Wasser fließt durch einen Wasserhahn.



Gegeben: $\dot{m}$, ρ, A, ζ_v, h, g, H, d, $A \gg d^2$

a) Bestimmen Sie die Ausflussgeschwindigkeit im Querschnitt E in Abhängigkeit von der Füllhöhe $z > 0$. Nehmen Sie eine verlustfreie Strömung an.

b) Wie groß darf der Gesamtwiderstandsbeiwert von Krümmer und Abflussrohr maximal sein, damit das Wasser das Waschbecken höchstens bis zur Hälfte füllt?

Durch Ablagerungen wird das Rohr teilweise versperrt.

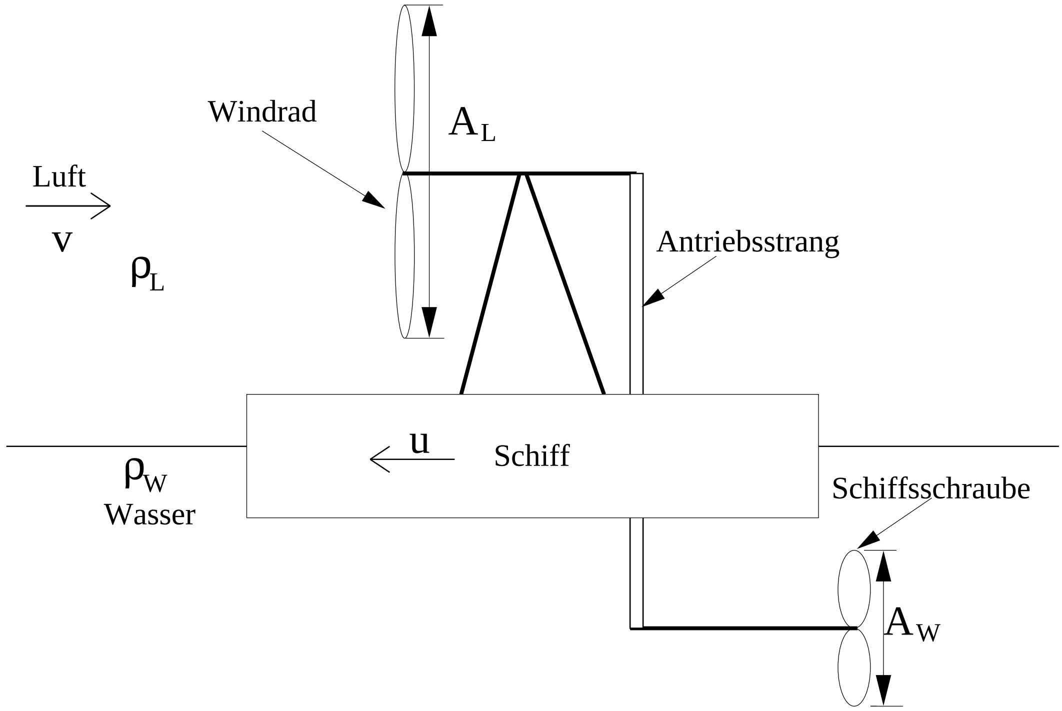
c) Der zusätzliche Verlust beträgt ζ_v. Wie groß darf der Massenstrom $\dot{m}$ jetzt noch sein, ohne dass das Waschbecken überläuft?

Das Waschbecken aus b) wird mit einem Stopfen verschlossen und bis zum Rand (Höhe H) gefüllt. Anschließend wird der Stopfen herausgezogen.

d) Wie lange dauert es, bis das Waschbecken unter der Annahme einer quasistationären Strömung leergelaufen ist?

3. Aufgabe (14 Punkte)

Ein Gegenwindschiff bewegt sich mit der Geschwindigkeit u durch ruhendes Gewässer. Der Wind bläst mit der Geschwindigkeit v von vorn. Auf dem Deck des Schiffes ist ein Windrad montiert, das eine Schiffsschraube antreibt.



Gegeben: ρ_L, A_L, ρ_W, A_W, u, v

a) Bestimmen Sie die Widerstandskraft, die das Windrad erfährt, für den Fall, dass die erzeugte Leistung maximal wird.

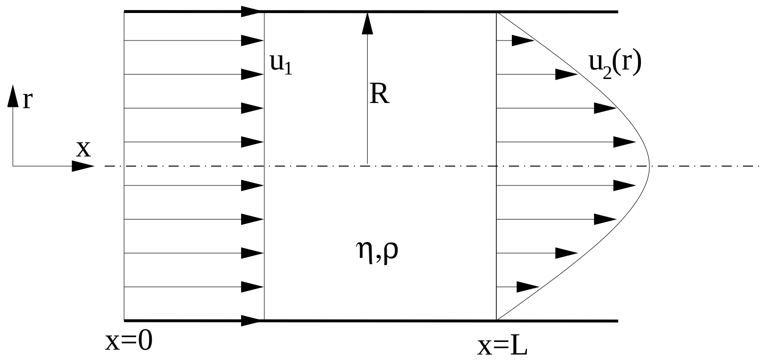
b) Wie schnell bewegt sich das Schiff maximal?

Hinweise:

- Mechanische Verluste bei der Kraftübertragung sind zu vernachlässigen.
- Nehmen Sie an, dass der Schiffskörper die Strömung nicht stört und keinen Widerstand erfährt.

4. Aufgabe

Durch ein Rohr (Radius R) strömt ein Newtonsches Fluid (Dichte ρ, Zähigkeit η). An der Stelle $x = 0$ ist das Geschwindigkeitsprofil rechteckig. Ab der Stelle $x = L$ soll die Strömung laminar und voll ausgebildet sein.



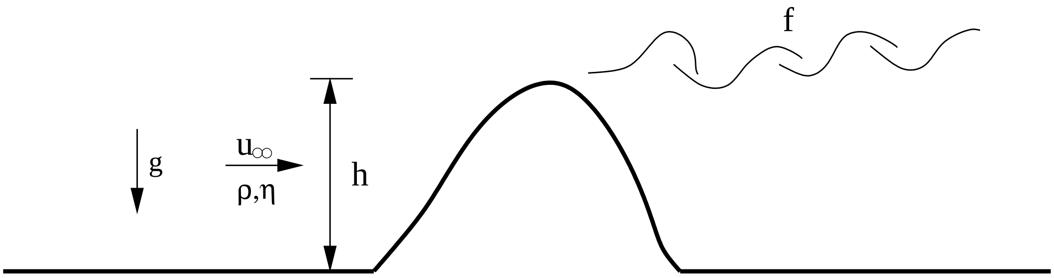
Gegeben: R, ρ, η, u_1, L, $C > 1$

a) Bestimmen Sie die Geschwindigkeitsverteilung $u_2(r)$.

b) Wie groß ist der Druckverlust Δp zwischen $x = 0$ und $x = L$ unter der Annahme, dass sich die Schubspannung an der Wand linear mit der Koordinate x ändert und $\tau_w(x = 0) = C \cdot \tau_w(x = L)$ ist.

5. Aufgabe (11 Punkte)

Ein alleinstehender Hügel (Höhe h) wird mit der Geschwindigkeit u_∞ angeströmt. An der Kuppe löst eine Wirbelschleppe der Frequenz f ab.



Gegeben: Alle nötigen Referenzgrößen.

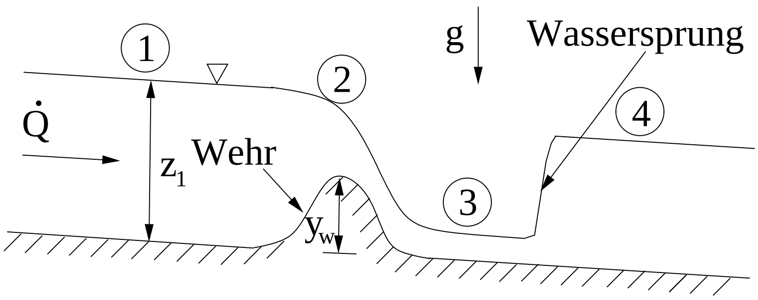
a) Wieviele Kennzahlen beschreiben das Problem?

b) Bestimmen Sie mit der Dimensionsanalyse (π-Theorem) die Kennzahlen dieses Problems.

c) Führen Sie die gefundenen Kennzahlen auf Ihnen bekannte Ähnlichkeitsparameter der Strömungsmechanik zurück.

6. Aufgabe (14 Punkte)

Wasser (Volumenstrom $\dot{Q}$) strömt in einem sehr schwach geneigten Gerinne der Breite B über ein Wehr. Hinter dem Wehr bildet sich ein Wassersprung aus.



Gegeben: $\dot{Q}$, B, g, z_1

a) Leiten Sie den Zusammenhang zwischen der dimensionslosen Energiehöhe H/H_{min} und der dimensionslosen Spiegelhöhe z/z_{gr} her und skizzieren Sie deren Verlauf.

b) Tragen Sie qualitativ alle Zustandsänderungen der abgebildeten Gerinneströmung in Ihre Skizze aus a) ein.

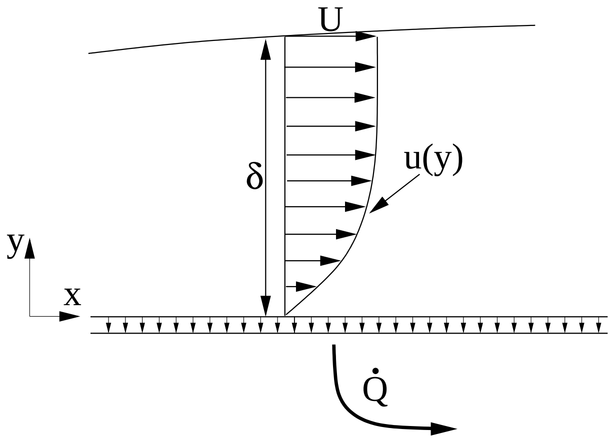
c) Berechnen Sie die Froude Zahl Fr_3, die Spiegelhöhe z_3, die Energiehöhe H_3 sowie die Höhe des Wehres y_w.

d) Wie groß ist die Differenz der Energiehöhen $H_3 - H_4$ über den Wassersprung?

7. Aufgabe (11 Punkte)

An einer längsangeströmten Platte (Breite B) bildet sich eine laminare, inkompressible Grenzschicht aus. Dabei wird durch gleichmässig in der Platte verteilte Bohrungen mit konstanter Geschwindigkeit über der Länge L der Volumenstrom $\dot{Q}$ abgesaugt (Absaugebeiwert $c_Q = \dot{Q}/(UBL)$). Für das Tangentialgeschwindigkeitsprofil gilt der Polynom-Ansatz:

$$\frac{u(y)}{U} = a_0 + a_1\left(\frac{y}{\delta}\right) + a_2\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 + a_3\left(\frac{y}{\delta}\right)^3.$$



Gegeben: ρ, η, δ, U, L, B, c_Q

a) Bestimmen Sie für diese Grenzschichtströmung die Koeffizienten a_0, a_1, a_2 und a_3 des Geschwindigkeitsprofils.

Durch einen technischen Defekt fällt die Absauganlage aus.

b) Geben Sie formelmässig an, wie sich die Grenzschichtdicke δ_{99} mit der Lauflänge ändert.

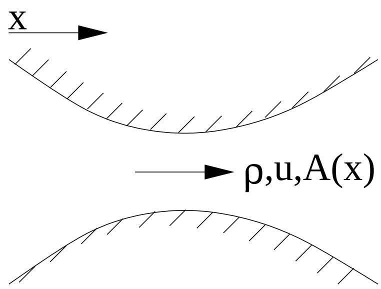
c) Skizzieren Sie für eine laminare Grenzschicht den Verlauf des lokalen Reibungsbeiwertes c_f in Abhängigkeit von der Lauflänge.

d) Wie groß ist die kritische Reynolds Zahl für die inkompressible Grenzschichtströmung entlang einer längsangeströmten Platte? Von welchen Größen wird die kritische Reynolds Zahl beeinflusst?

Hinweis:
Die Impulsgleichung in x-Richtung lautet nach der Grenzschichttheorie:

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}.$$

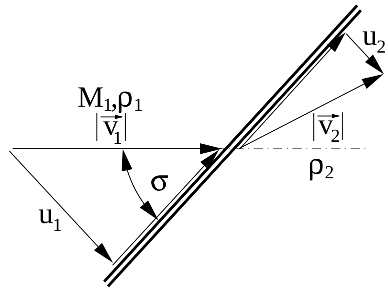
8. Aufgabe (12 Punkte)



a) Leiten Sie den in kompressiblen Strömungen existierenden Zusammenhang

$$\frac{du}{u} = -\frac{dA}{A}\frac{1}{1-M^2}$$

zwischen der Geschwindigkeit u, der Fläche A und der Mach Zahl M her. Diskutieren Sie für einen konvergent-divergenten Kanal, wie sich eine Flächenänderung dA auf die Strömungsgeschwindigkeit u in Abhängigkeit der Mach Zahl M auswirkt.



b) Bestimmen Sie das Verhältnis der Dichten $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ über einen schrägen Verdichtungsstoß in Abhängigkeit der Größen σ und M_1.

Hinweise:

- Isentropenbeziehung: $\frac{p}{\rho^\gamma} =$ konst.
- Prandtl Beziehung: $u_1 u_2 = c^{*2}$
- $Mn_1^{*2} = \left(\frac{u_1}{c^*}\right)^2 = \frac{\gamma+1}{\gamma-1+\frac{2}{Mn_1^2}}$ mit $Mn_1 = \frac{u_1}{c_1}$