....

(Name, Matr.-Nr, Unterschrift)

Klausur Strömungslehre

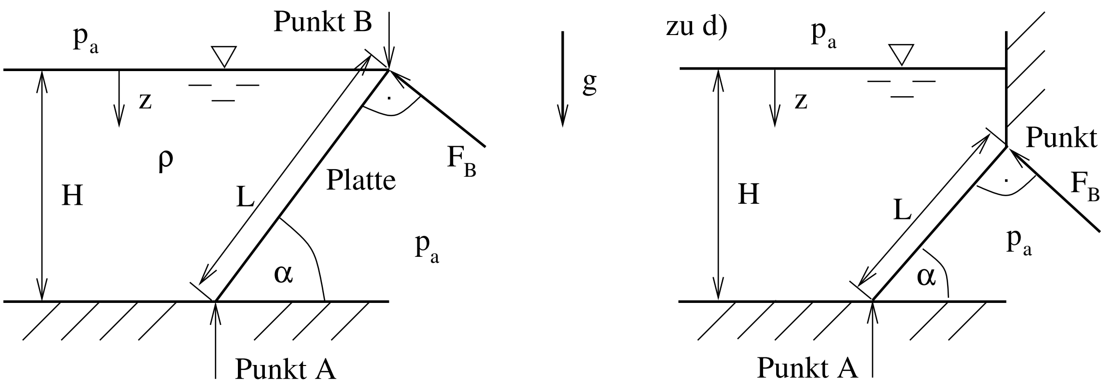
23. 03. 2001

1. Aufgabe (11 Punkte)

a) Beschreiben Sie in Worten das Prinzip des hydrostatischen Auftriebs nach Archimedes.

b) Nennen Sie ein Beispiel bei dem das unter a) benannte Prinzip nicht gilt.

Eine im Punkt A gelenkig gelagerte, gewichtslose Platte der Länge L wird im Punkt B durch eine senkrecht zur Platte wirkende Kraft F_B gestützt. Links und oberhalb von der Platte befindet sich Fluid (Dichte ρ), während rechts und unterhalb von der Platte Umgebungsdruck p_a herrscht.



c) Bestimmen Sie die Kraft F_B pro Einheitsbreite als Funktion von α für den Fall, daß $H = L \cdot \sin\alpha$. Skizzieren Sie den Verlauf von $F_B = f(\alpha)$.

d) Bestimmen Sie die Kraft F_B pro Einheitsbreite als Funktion von α für den Fall, daß $H = L = const$. Skizzieren Sie den Verlauf von $F_B = f(\alpha)$.

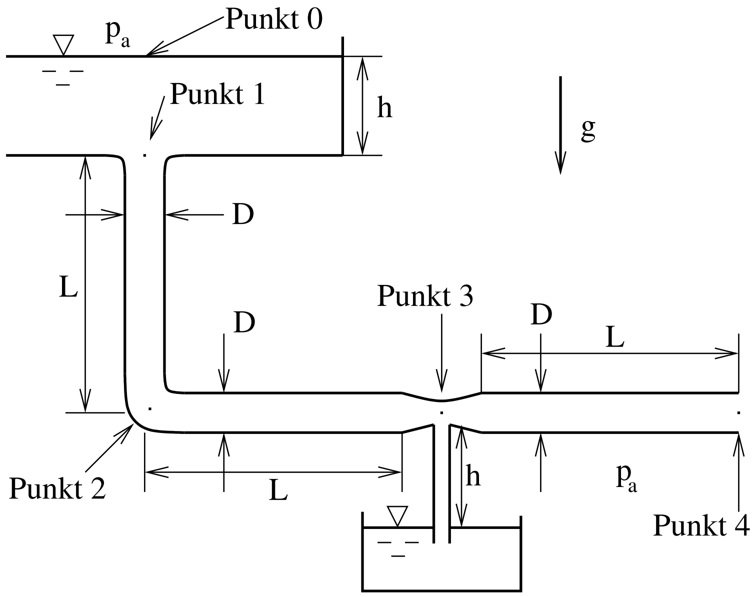
Gegeben: ρ , g , L , $0 \leq \alpha \leq 90^o$

2. Aufgabe (14 Punkte)

a) Ein kreiszylindrisches Glas (Radius R) ist bis zur Höhe H mit Wasser gefüllt. Mit welcher Winkelgeschwindigkeit ω darf das Glas konzentrisch rotieren, damit der Boden des Glases gerade noch mit Wasser benetzt bleibt? Es tritt kein Wasser über den Rand des Glases.

Gegeben: $H = 10\text{cm}$, $R = 2\text{cm}$, $g = 10\text{m/s}^2$

In der skizzierten Anordnung fließt Wasser aus einem sehr großen Becken über einen gut gerundeten Einlauf in eine Rohrleitung. Im Punkt 3 wird der Querschnitt der Rohrleitung derart verengt, daß gerade kein Wasser aus einem anderen Becken in die Rohrleitung gesaugt wird. Im Punkt 4 strömt das Wasser ins Freie.



b) Bestimmen Sie für eine verlustfreie Strömung das Querschnittsverhältnis A_4/A_3 allgemein als Funktion von L und h. Geben Sie für den Fall $h = L$ den Wert für A_4/A_3 an.

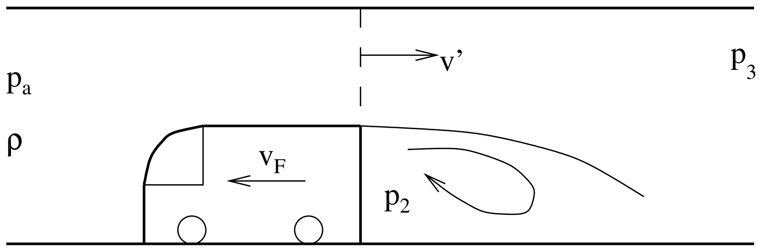
c) Berechnen Sie nun das benötigte Querschnittsverhältnis A_4/A_3 für den Fall, daß in allen drei Teilabschnitten der Länge L jeweils der Rohrreibungsbeiwert λ vorherrscht. Ansonsten bleibt die Strömung verlustfrei.

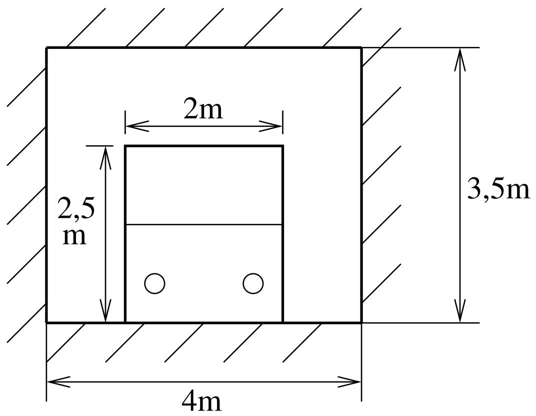
Gegeben für c): $L = 10\text{m}$, $h = 5\text{m}$, $D = 1\text{m}$, $\lambda = 0,1$, $g = 10\text{m/s}^2$

3. Aufgabe (10 Punkte)

a) Nennen Sie die Bedingung(en) unter der(denen) in einer Gerinneströmung ein Wassersprung auftreten kann.

Ein Lastwagen fährt mit der Geschwindigkeit v_F durch einen sehr langen Tunnel. An der Hinterkante des Fahrzeugs löst die Strömung ab. Vernachlässigen Sie die Reibung an den Wänden und am Fahrzeug. Die benötigten Abmessungen des Tunnels und des Fahrzeugs können der Skizze entnommen werden.





b) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v' relativ zur Wand im Ablösequerschnitt.

c) Bestimmen Sie den Druck p_2 im Totwasser.

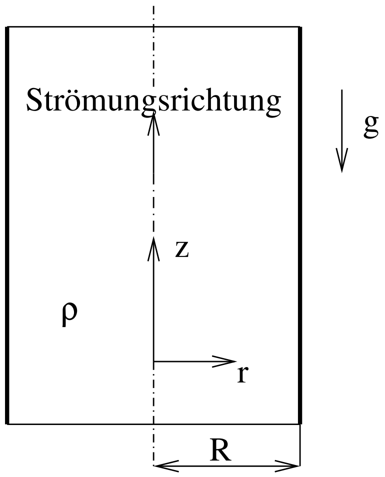
d) Bestimmen Sie den Luftwiderstand des Fahrzeugs.

e) Bestimmen Sie den Druck p_3 weit hinter dem Fahrzeug.

Gegeben für b) bis e): $\rho = 1,25\text{kg/m}^3$, $p_a = 10^5\text{N/m}^2$, $v_F = 80\text{km/h}$

4. Aufgabe (15 Punkte)

Ein Fluid (Dichte ρ) soll in einem vertikalen Rohr (Durchmesser $2R$) laminar, ausgebildet und stationär entgegengesetzt zur Gravitationskraft fließen.



a) Welches Vorzeichen muß $\partial p/\partial z$ besitzen?

b) Leiten Sie ausführlich die Schubspannungsverteilung $\tau(r)$ für $0 < r \leq R$ her.

c) Bestimmen Sie die Geschwindigkeitsverteilung $u(r)$ für ein Bingham-Fluid mit $\tau = \tau_0 - \eta_B \partial u/\partial r$.

d) Skizzieren Sie im Vergleich das Geschwindigkeitsprofil einer 1) reibungsfreien, 2) laminaren und 3) turbulenten Rohrströmung bei gleichem Volumenstrom und gleichem Rohrdurchmesser.

e) Geben Sie die exakte Definition und den Wert der Kennzahl an, mit der man i.a. die laminare von der turbulenten Rohrströmung unterscheidet. Nennen Sie mindestens eine Maßnahme, um diesen laminar-turbulenten Umschlag zu verzögern.

Gegeben: g , ρ , R , τ_0 , η_B , $\partial p/\partial z$ mit $|\partial p/\partial z| > \rho g$

5. Aufgabe (9 Punkte)

a) Weshalb kann man bei demselben physikalischen Problem mit dem Buckinghamschen Π-Theorem auf eine andere Anzahl von Kennzahlen kommen als mit der Methode der Differentialgleichungen?

b) Bei der Beschreibung von Mehrphasenströmungen taucht die folgende vereinfachte Differentialgleichung auf:

$$\frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2} = 18\frac{\nu}{d_P^2}\left(\frac{\delta}{1+\alpha\delta}\right)\left(v_z - \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\right) + g\left(\frac{1-\delta}{1+\alpha\delta}\right)$$

Bestimmen Sie mit Hilfe der Methode der Differentialgleichungen die Kennzahl(en) dieses Problems. Drücken Sie die erhaltene(n) Kennzahl(en) durch eine oder mehrere in der Strömungsmechanik häufig verwendete Kennzahlen aus.

Gegeben: ν_{ref} , d_P , g , v_{ref} , $\alpha = 0,5$, $\delta = \rho_F/\rho_P = const$

Hinweis: Betrachten Sie δ nicht als zu ermittelnde Kennzahl.

c) Ein kugelförmiges Partikel (Durchmesser d_P) fällt mit der Sinkgeschwindigkeit v_P in einem mit Luft gefüllten Rohr (Durchmesser d_R). Skizzieren Sie für einen ruhenden Beobachter die radiale Verteilung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente der umgebenden Luft in der horizontalen Ebene des Kugelmittelpunktes zum einen für $d_R >> d_P$ und zum anderen für $d_R \approx 2 \cdot d_P$.

6. Aufgabe (14 Punkte)

Eine inkompressible, stationäre, zweidimensionale Strömung wird beschrieben durch das Geschwindigkeitsfeld:

$$u = Ay \quad , \quad A = const$$
$$v = Bx \quad , \quad B = const$$

a) Wird die Kontinuitätsgleichung erfüllt?

b) Welche allgemeine Voraussetzung muß noch erfüllt sein, damit es sich hier um eine Potentialströmung handelt?

c) Welche konkrete Forderung ergibt sich aus der Voraussetzung aus b) für das angegebene Geschwindigkeitsfeld?

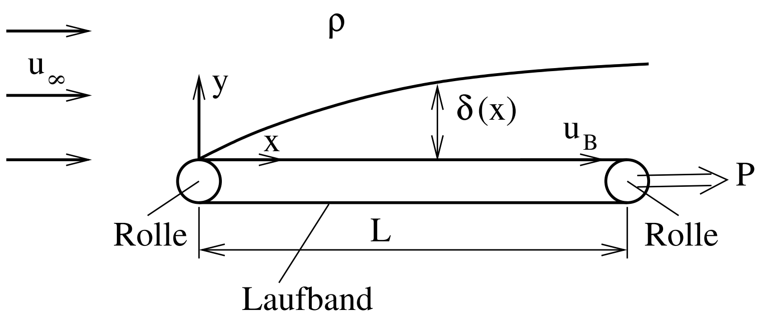
d) Bestimmen Sie die komplexe Potentialfunktion $F(z)$ dieses Problems. Geben Sie an, welche Größen dafür bekannt sein müssen.

e) Skizzieren Sie äußerst sorgfältig Stromlinien, Äquipotentiallinien und Isobaren dieser Potentialströmung.

7. Aufgabe (15 Punkte)

Die unten skizzierte Anordnung besteht aus zwei reibungsfrei gelagerten Rollen, über die ein Laufband gespannt ist. Die Oberseite des Bandes wird mit der Geschwindigkeit u_∞ mit einem inkompressiblen Newtonschen Fluid (Dichte ρ, Viskosität η) angeströmt. An einer der beiden Rollen wird die Leistung P abgegriffen und gleichzeitig die Bandgeschwindigkeit u_B gemessen. Das Geschwindigkeitsprofil in der Grenzschicht soll durch folgenden Ansatz angenähert werden:

$$\frac{u(x,y)}{u_\infty} = a_0 + a_1 \left(\frac{y}{\delta}\right)$$



a) Bestimmen Sie das Geschwindigkeitsprofil $u(y/\delta)$ in der Grenzschicht.

b) Skizzieren Sie sorgfältig das Geschwindigkeitsprofil dieser Grenzschicht und das Geschwindigkeitsprofil der um die Verdrängungsdicke versetzten reibungsfreien Außenströmung für $K = 0,5$. Begründen Sie die Lage der Verdrängungsdicke.

c) Bestimmen Sie den Verlauf der Grenzschichtdicke $\delta(x)$.

d) Bestimmen Sie die an der Rolle abgegriffene Leistung pro Breite des Bandes P/B.

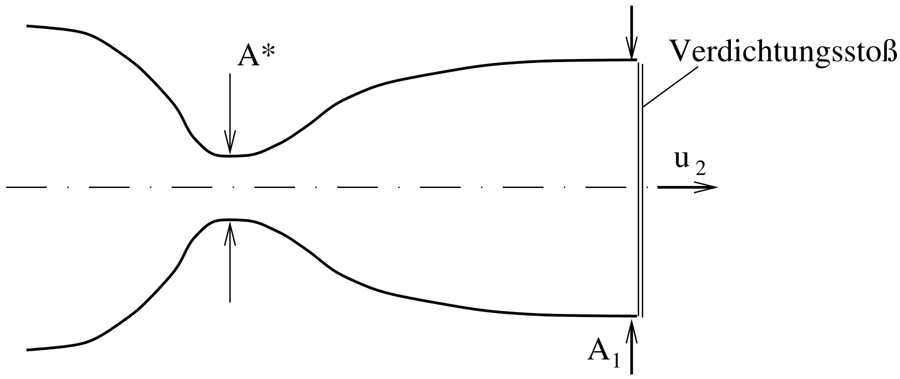
Gegeben: u_∞ , ρ , η , L , $\frac{u_B}{u_\infty} = K$ mit $0 \leq K \leq 1$

Hinweis: von Kármánsche Integralbeziehung

$$\frac{\mathrm{d}\delta_2}{\mathrm{d}x} + \frac{1}{u_a}\frac{\mathrm{d}u_a}{\mathrm{d}x}(2\delta_2 + \delta_1) - \frac{\tau_W}{\rho u_a^2} = 0$$

8. Aufgabe (11 Punkte)

In der skizzierten Düse wird die Strömung auf $M_1 = 2$ beschleunigt und mündet mit einem senkrechten Verdichtungsstoß in die Umgebung.



a) Skizzieren Sie das Druckverhältnis p/p_0 und die Machzahl M entlang der Düsenachse.

b) Bestimmen Sie das Verhältnis $(\rho_1 u_1)/(\rho^* u^*)$ für $A_1/A^* = 1,69$.

c) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit u_1 vor dem Stoß, für den Fall, daß sich hinter dem Stoß die Geschwindigkeit $u_2 = 100$m/s einstellt.

Gegeben für a) bis c): $\gamma = 1,4$, $M_1 = 2$

d) Leiten Sie den Ausdruck für das Dichteverhältnis ρ_2/ρ_1 und für das Druckverhältnis p_2/p_1 über einen senkrechten Verdichtungsstoß her. Bestimmen Sie ρ_2/ρ_1 für $M_1 \to \infty$ und p_2/p_1 für $M_1 \to \infty$.

Hinweis:

Prandtl-Beziehung: $u_1 u_2 = c^{*2}$, c^* ist konstant

(‚1': Zustand vor dem Stoß ; ‚2': Zustand hinter dem Stoß)

$$M^{*2} = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1 + \frac{2}{M^2}}$$