....

(Name, Matr.-Nr, Unterschrift)

Klausur Strömungslehre

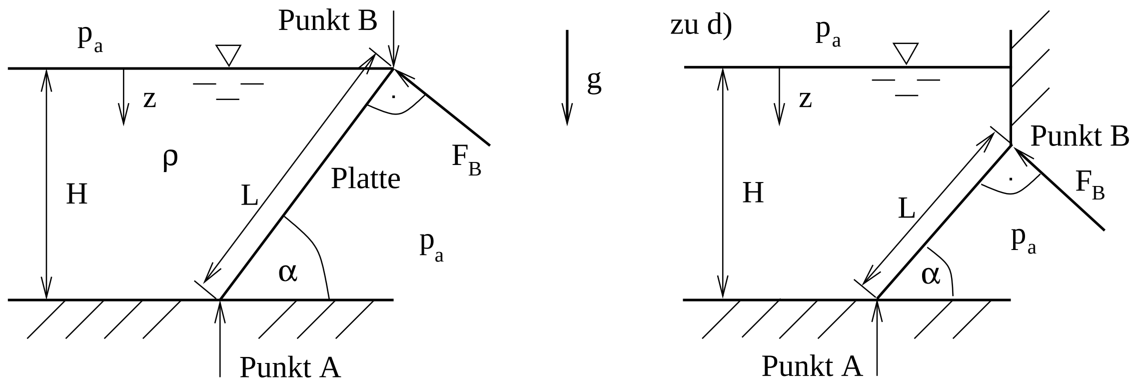
20. 08. 2004

1. Aufgabe (11 Punkte)

a) Beschreiben Sie kurz 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.



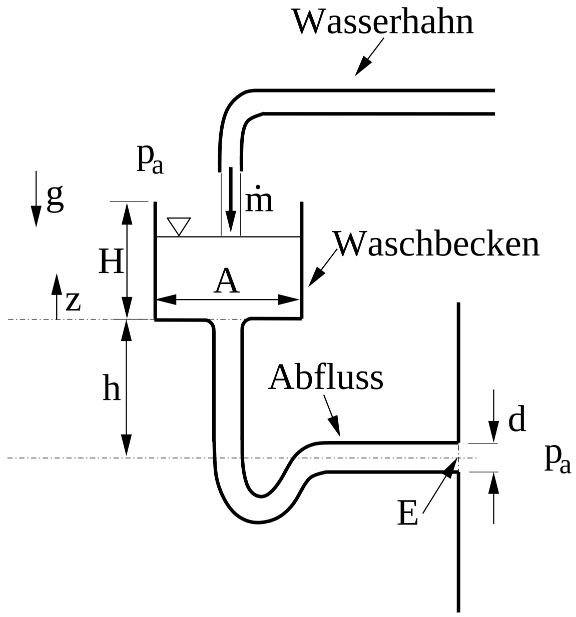
c) Bestimmen Sie die Kraft F_B pro Einheitsbreite als Funktion von α für den Fall, dass $H = L \cdot \sin\alpha$. Skizzieren Sie den Verlauf von $F_B = f(\alpha)$.

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 (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.

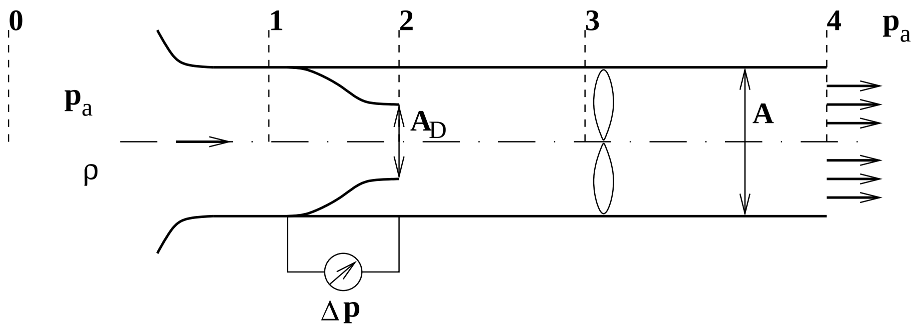
c) Der zusätzliche Verlust beträgt ζ_v. Wie groß darf der Massenstrom $\dot{m}$ jetzt noch sein, ohne dass das Waschbecken überläuft?

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 (13 Punkte)

Der Volumenstrom eines Lüftungsgebläses mit gut gerundetem Einlauf wird mit einer Düse gemessen.



a) Skizzieren Sie sorgfältig den Verlauf des statischen Druckes und des Gesamtdruckes entlang der Rohrachse.

b) Bestimmen Sie den Volumenstrom.

c) Bestimmen Sie den Druck im Punkt 3.

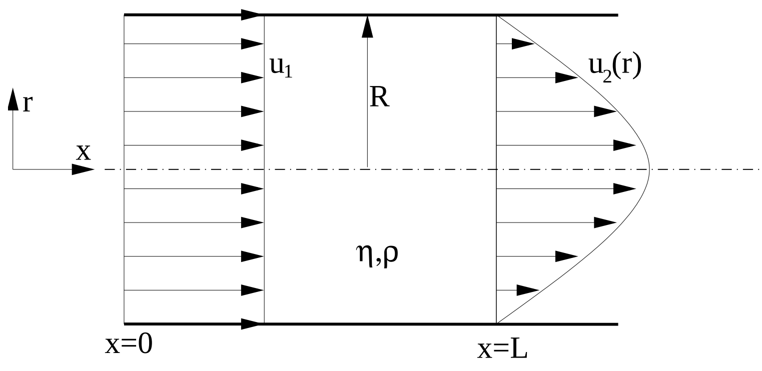
d) Bestimmen Sie die Gebläseleistung.

Gegeben: $A = 1\text{m}^2$, $A_D = 0,5\text{m}^2$, $p_a = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, $\Delta p = 300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, $\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Hinweis: Die Reibungskräfte sind zu vernachlässigen. Die Ausdehnung der Rotorblätter des Gebläses sind zu vernachlässigen.

4. Aufgabe (12 Punkte)

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



Gegeben: $R, \quad \rho, \quad \eta, \quad u_1, \quad L, \quad C > 1$

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 (10 Punkte)

a) Die Energiegleichung für zweidimensionale, stationäre Strömungen mit konstanten Stoffgrößen (λ, η, c_p) lautet

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$
$$+ \eta \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

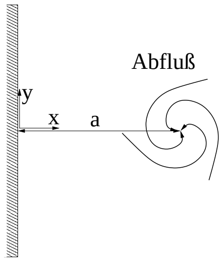
Schreiben Sie die Energiegleichung in dimensionsloser Form und vereinfachen Sie diese Gleichung unter der Annahme, dass eine Grenzschichtströmung vorliegt.

b) Bestimmen Sie mit der Methode der Differentialgleichungen alle relevanten Kennzahlen, die sich aus der unter a) vereinfachten Gleichung ergeben.

c) Drücken Sie die erhaltene(n) Kennzahl(en) durch eine oder mehrere in der Strömungsmechanik häufig verwendete Kennzahl(en) aus.

Gegeben: Alle nötigen Referenzgrößen

6. Aufgabe (13 Punkte)



Das Wasser einer Badewanne wird durch den Abfluss abgelassen. Der sich dabei ausbildende Abflussstrudel soll potentialtheoretisch untersucht werden. Der Abfluss hat den Abstand a von der Kopfwand, der Einfluss der Seitenwände soll vernachlässigt werden. Der Wirbel dreht sich gegen den Uhrzeigersinn.

Gegeben: $a, \vec{v}_0$; für Aufgabenteil a) und b) alle nötigen Konstanten der Elementarfunktionen

a) Stellen Sie die komplexe Potentialfunktion $F(z)$ auf, die das Problem näherungsweise beschreibt.

b) Bestimmen Sie unter Berücksichtigung der konjugiert komplexen Geschwindigkeit $\bar{w}$ die kartesischen Geschwindigkeitskomponenten $u(x,y)$ und $v(x,y)$ der Strömung.

c) Ermitteln Sie die Konstante(n) der verwendeten Elementarfunktion(en) so, dass ein Staupunkt bei $(x_s, y_s) = (0, -a)$ liegt und die Geschwindigkeit im Koordinatenursprung $\vec{v}_0$ beträgt.

d) Skizzieren Sie ohne weitere Rechnung das Stromlinienbild.

Hinweis:

Gegeben sind die folgenden komplexen Potentialfunktionen:

- $F(z) = (u_\infty - iv_\infty)z$ Parallelströmung
- $F(z) = \frac{\pm E}{2\pi} \ln z$ Quelle/Senke
- $F(z) = \frac{M}{2\pi z}$ Dipol
- $F(z) = \frac{-i\Gamma}{2\pi} \ln z$ Potentialwirbel
- $F(z) = \alpha z^2$ Staupunktströmung

7. Aufgabe (11 Punkte)

In einer Plattengrenzschicht werden Geschwindigkeitsprofile und Druckverlauf vermessen. Der auf der Platte gemessene Druckverlauf wird durch die Beziehung

$$\frac{p(x)}{p_0} = 1 - k\left(\frac{x}{l}\right)^2 \quad \text{mit} \quad 0 < k = konst < 1$$

und die Geschwindigkeitsprofile werden durch

$$\frac{u(x,y)}{u_a(x)} = \left(\frac{y}{\delta_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad u_a(x=0) = u_\infty$$

wiedergegeben, wobei die Grenzschichtdicke δ_0 konstant ist.

a) Bestimmen Sie die Verdrängungsdicke δ_1 und die Impulsverlustdicke δ_2.

b) Bestimmen Sie die Außengeschwindigkeit $u_a(x)$.

c) Bestimmen Sie die Wandschubspannung $\tau_w(x)$ für $x > 0$.

d) Kann diese Grenzschicht ablösen? Begründen Sie Ihre Antwort.

Gegeben: $p_0,\ k,\ \delta_0,\ l,\ u_\infty,\ \rho$
Hinweis:
Die Integralbeziehung nach von K$\acute{a}$rm$\acute{a}$n lautet:

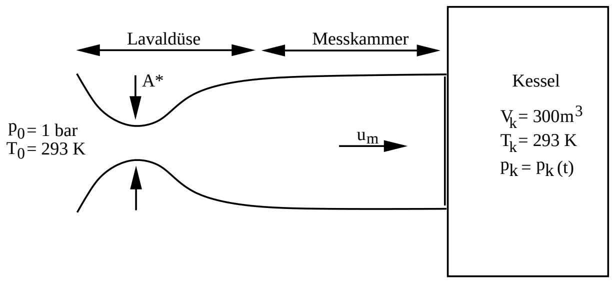
$$\frac{d\delta_2}{dx} + \frac{(2\delta_2(x) + \delta_1(x))}{u_a(x)}\frac{du_a(x)}{dx} - \frac{\tau_w(x)}{\rho u_a^2(x)} = 0$$

Die Grenzschichtgleichung (x-Impuls):

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

8. Aufgabe (13 Punkte)

Ein Überschallwindkanal setzt sich aus einem großen Kessel (Volumen $V_K = 300\,m^3$), einer Lavaldüse und einer Messkammer zusammen. Luft wird aus der Umgebung ($p_0 = 1\ bar, T_0 = 293\ K$) durch die Lavaldüse ($A^* = 0,1m^2$) und die Messkammer in den Kessel gesaugt. Die Strömung hat in der Messkammer während der Messzeit die Geschwindigkeit $u_m = 544,2m/s$. Die Strömung in der Messkammer ist solange ungestört, bis am Übergang der Messkammer zum Kessel ein senkrechter Verdichtungsstoß steht.



Gegeben:

$p_0 = 1\ bar,\quad T_0 = 293\ K,\quad u_m = 544,2\ m/s,\quad A^* = 0,1\ m^2,\quad R = 287\ Nm/(kgK),\quad \gamma = 1,4,\quad V_K = 300\,m^3,\quad p_k(t=0) = 0,075\,bar$

a) Berechnen Sie die Mach Zahl M in der Messkammer während der Messzeit.

Rechnen Sie mit der Mach Zahl $M = 2,25$ weiter.

a) Bestimmen Sie den Massenstrom $\dot{m}$ durch die Messkammer in dieser Zeit.

c) Wie lange kann ungestört gemessen werden?

d) Welche Querschnittsfläche hat die Messkammer?

Hinweis:

- Die Strömung ist bis zum Stoß isentrop.
- $c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$
- Druckverhältnis über einen Stoß

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}(M_1^2 - 1)$$

- Isentropenbeziehung:

$$\frac{T_0}{T} = \left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} = \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^{(\gamma-1)}$$