

Name: Vorname: Punkte:

Matr.-Nr.: MB-DI / MB-DII / IP-DII / WIW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

KLAUSUR Einführung Fluid- und Thermodynamik

Fragenteil

Bitte direkt auf die Angabe schreiben! Bitte wenden!

- 1) Betrachten Sie die Strömung um einen Brückenpfeiler, so dass großskalige Wirbel einer festen Frequenz hinter dem Pfeiler entstehen? Mit welcher Kennzahl können wir die Wirbel charakterisieren und wie ist diese definiert?

(2P) Strouhal-Zahl (dim. Frequenz)

$$St_s = f \frac{D}{u} \quad \left(\begin{array}{l} D \text{ Durchmesser} \\ u \text{ Geschw.} \end{array} \right)$$

- 2) Wie ist die Reynoldszahl definiert und wie können wir sie interpretieren? (2P)

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{u L}{\nu}$$

Inertialkräfte
viskose Kräfte

[Bem.: war identisch zur Aufgabe in d. letzten Klausur, aber nur von 2 Leuten beantwortet]

- 3) Ein Tragflügel der Dicke 20cm wird mit 150m/s umströmt, in 8km Höhe. Muss der hydrostatische Term in der Bernoulligleichung entlang einer Stromlinie berücksichtigt werden? Schätzen Sie die Terme ab (Hinweis: Nutzen Sie die ideale Gasgleichung für den Druck). (4P)

$$\frac{\rho u^2}{2} \sim 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (150 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 / 2 \sim 10^4$$

$$\rho g z \sim 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,2 \text{m (von Sehne bis Oberfläche)} \sim 0(1)$$

$$p = \rho R T \sim 0(10^4) \quad (T \approx 240 \text{ K}, R = 287 \text{ J/kg K})$$

$\Rightarrow$ Nein

- 4) Gelten die Navier-Stokes-Gleichungen auch auf anderen Planeten? (1P)

Natürlich (wenn dort Gas od. Flüssigkeiten existieren)

- 5) Was besagt das Newton'sche Reibungsgesetz? Geben Sie ein Beispiel für eine nicht-Newtonsche Flüssigkeit an.

(2P) $\tau = \mu \nabla u$ (μ Geschw. gradient)

- ketchup

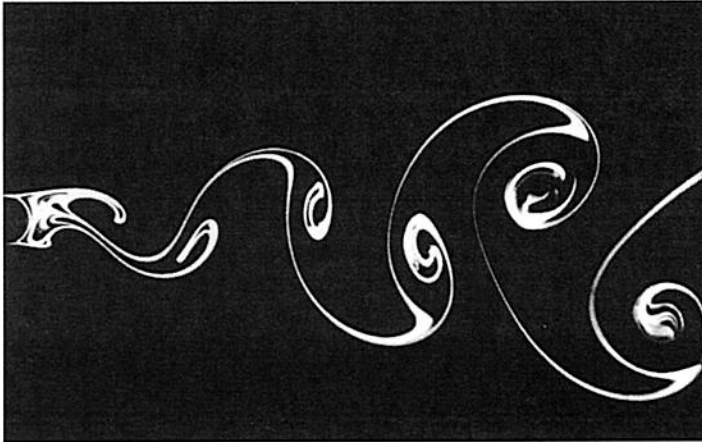
- 6) Angenommen wir betrachten eine stationäre Strömung durch eine Düse. Kann ein Fluidelement welches durch die Düse läuft beschleunigen? (Kurze Begründung) (2P)

Ja! Die Geschw. ist an jedem Punkt zeitl. konstant, durch die Düsengeometrie ist sie allerdings im engen Querschnitt größer!

7) Wie groß ist der Massenfluss senkrecht zu einer Stromlinie?(1P)

0 !

8) Experiment Zylinderumströmung: Sehen wir Streichlinien oder Stromlinien? (Kurze Begründung) (2P)



Streichlinien

- partikel entspringen dem selben Ort im Raum

Total 16 Punkte

Name:
Vorname:
Matr.-Nr.:

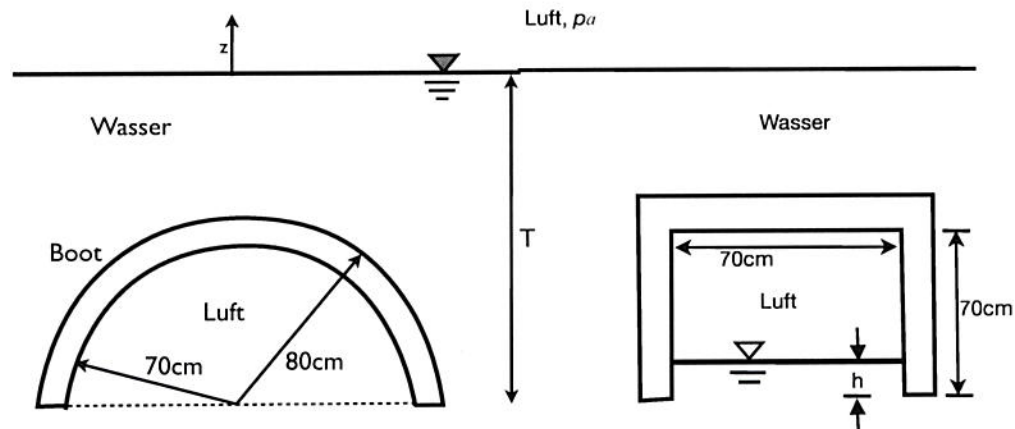
MB-DI / MB-DII / IP-DII / WIW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

Aufg.	Punkte
1	
2	
Σ	

KLAUSUR Einführung i. d. Fluid- und Thermodynamik

Achtung: evtl sind nicht alle Angaben zur Bearbeitung der Teilaufgaben notwendig!

- 1) In "Pirates of the Caribbean" gibt es eine Szene, in der die Hauptdarsteller mit einem umgedrehten Boot (mit Luft aufgefüllt) auf dem Meeresgrund laufen um ihren Häschern zu entkommen. Sie halten das Boot über ihren Köpfen fest und nutzen die Luft zum Atmen.



Nutzen Sie dazu folgende Annahmen:

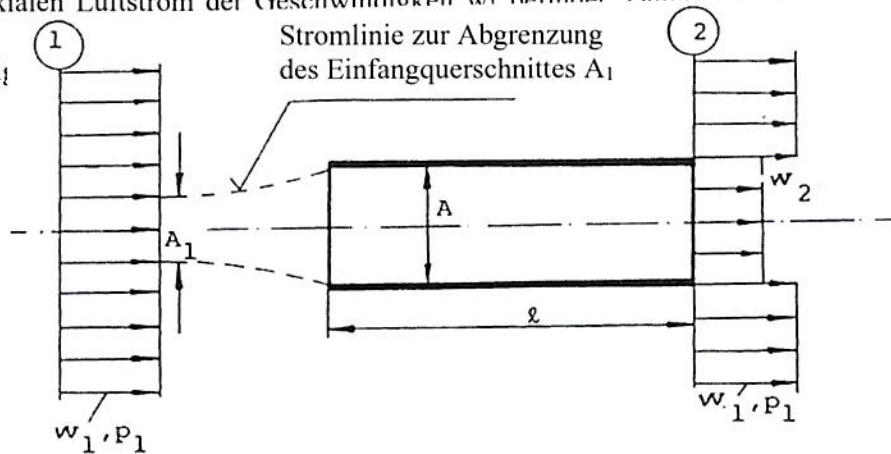
- Das Boot wird durch eine halbe Zylinderschale angenähert mit Länge $L=2\text{m}$ und Dicke 10cm (ohne Enden). Innenradius $R_1=70\text{cm}$, Aussenradius $R_2=80\text{cm}$
- Die beiden Enden werden durch halbe Holzscheiben mit Radius 80cm und 10cm Dicke ersetzt
- Das Innere des Bootes ist komplett mit Luft gefüllt, deren Gewicht gegenüber dem Gewicht des Bootes vernachlässigbar ist, die Dichte des Wassers sei überall konstant
- Das mittlere Volumen eines Menschen beträgt etwa 0.2m^3
- Beide Schauspieler wiegen etwa je 100kg mitsamt Ausrüstung

Zusätzlich gegeben: $\rho_{\text{Holz}}=0.5\rho_{\text{H}_2\text{O}}$, Aussendruck $p_a=1\text{bar}$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=1000\text{kg/m}^3$, $\rho_{\text{Luft}}=1,2\text{kg/m}^3$, $T=1.5\text{m}$

- Schätzen Sie ab, ob das möglich ist, falls die Luft nicht zusammengepresst wird und den Raum bis zur Bootskante füllt.
- Die Luft wird in Wirklichkeit zusammengepresst. Nehmen Sie an, dass die Temperatur der Luft beim Eintauchen gleich bleibt und ersetzen Sie der Einfachheit halber den Zylinder durch einen entsprechenden rechteckigen Kasten der selben Wandstärke. Das Volumen der Luft wird damit durch einen Quader der Länge L und Querschnittsfläche R_1^2 beschrieben. Der untere Rand des

Kasten liege auf einer Tiefe T unter der Wasseroberfläche. Um welche Höhe h verringert sich die Höhe des von der Luft eingenommenen Bereichs (ohne Personen)?

- 2) Gegeben ist ein hydraulisch glattes kreisförmiges Rohr vom Querschnitt A und der Länge ℓ , das sich in einem axialen Luftstrom der Geschwindigkeit w_1 befindet. Durch die Luftreibung an der inneren Rohrwand Geschwindigkeit



- a) Wie hängt A_1/A von w_1/w_2 ab (Formel)?

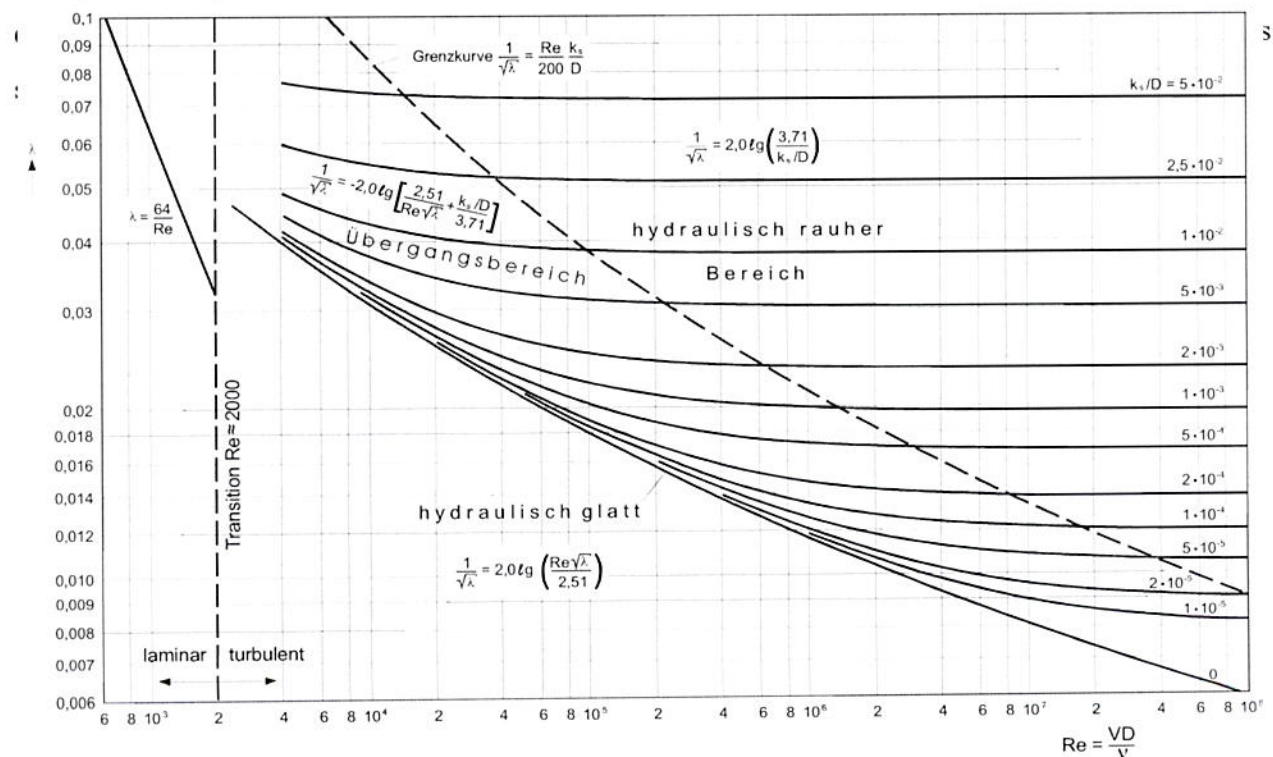
$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{2}{2 + \lambda \cdot \ell / D}$$

- b) Ermitteln Sie das Verhältnis w_2/w_1 als Funktion der Rohrabmessungen und der Rohrreibungszahl λ . Der Eintrittsverlustbeiwert ξ_E entspreche demjenigen einer plötzlichen Erweiterung vom Eingangsquerschnitt A_1 auf den Rohrquerschnitt A (Ergebnis:)

- c) War die Schätzung für w_2 gut? Nutzen Sie dazu das Verhältnis w_2/w_1 aus b).

- d) Zeichnen Sie nun ein Kontrollvolumen ein um die Kraft auf das Rohr bestimmen zu können. Über die Zylinderfläche des Kontrollvolumens zwischen (1) und (2) wird aufgrund der Verdrängung Fluid radial austreten. Wie groß ist dieser Massenstrom?

- e) Zusatzaufgabe: Stellen Sie den Impulssatz über das Kontrollvolumen auf!



4.0 3.7 3.3 3.0 2.7 2.3 2.0 1.7 1.3 1.0
26 31 36 41 46 51 56 61 66 71

①_a) Abschrägen, d.h. wir brauchen nicht alles im Detail auszurechnen.

Lsg.: Archimedisches Prinzip! Auftrieb durch verdrängtes Volumen (Boot + Luft) muss kleiner sein als Gewichtskraft, andernfalls funktioniert das nicht.

⇒ Volumen Boot + Volumen Luft ist zu bestimmen
aber: $\rho_{\text{Holz}} < \rho_{\text{Wasser}} \Rightarrow$ es reicht zuerst die Luft zu betrachten und das Gewicht der Menschen

$$V_L = \frac{L \cdot \pi R_1^2}{2} = 1,54 \text{ m}^3$$

$$F_A \approx \rho_{\text{Wasser}} \cdot V_L \cdot g \approx (1540 \text{ kg}) \cdot g$$

Körper der Personen erzeugt auch Auftrieb
Wir vernachlässigen das mal zuerst.

$$F_G = \text{Gewichtskraft: } 2 \cdot m \cdot g + m_{\text{Boot}} \cdot g \approx (536 \text{ kg}) \cdot g,$$

$$\begin{aligned} \text{da } m_{\text{Boot}} &= \rho_{\text{Holz}} \cdot V_{\text{Holz}} = \rho_{\text{Holz}} \cdot \left(L \frac{\pi}{2} (R_2^2 - R_1^2) + 2 \pi R_2^2 D/2 \right) \\ &= \rho_{\text{Holz}} \cdot 0,672 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

⇒ $F_A > F_G \Rightarrow$ funktioniert nicht.

$$b) \quad \underbrace{\rho_0 \cdot (L \cdot R_1^2)}_{\text{Volumen}} = \underbrace{\rho \cdot L \cdot R_1 \cdot (R_1 - h)}_{\text{zusammagepresst}}$$

$$\Rightarrow \rho = \rho_0 \frac{R_1}{R_1 - h}$$

$$\text{Hydrostatik: } \rho = \rho_0 + \rho_{\text{H}_2\text{O}} g (T - h)$$

$$\Rightarrow h = \frac{\rho - \rho_0 - \rho_{\text{H}_2\text{O}} g T}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g}$$

$$\text{definieren: } \frac{\rho_0 - \rho_{\text{H}_2\text{O}} g T}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g} = A$$

$$\frac{\rho_0 R_1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g} = B$$

einsetzen
 $\Rightarrow$

$$h^2 + h(A - R_1) + B - R_1 A = 0$$

$$\Rightarrow h = \frac{-(A - R_1) \pm \sqrt{(A - R_1)^2 - 4(B - R_1 A)}}{2(B - R_1 A)}$$

$$\textcircled{2} \quad a) \quad \text{konti} \quad A_1 \omega_1 = A_2 \omega_2 \Rightarrow \boxed{\frac{A_1}{A_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}}$$

b) Drücke gleich $\Rightarrow \rho$ nicht zu berücksichtigen

$$\frac{\rho \omega_1^2}{2} = \frac{\rho \omega_2^2}{2} + \rho_E \frac{\omega_1^2}{2} + \lambda \frac{\ell}{D} \frac{\rho \omega_2^2}{2}$$

$$\downarrow$$

$$\left(1 - \frac{A_1}{A}\right)^2 = \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2$$

$$\Rightarrow \omega_1^2 - \omega_2^2 = \omega_1^2 + \omega_2^2 - 2\omega_1\omega_2 + \lambda \frac{\ell}{D} \omega_2^2$$

$$\Rightarrow \omega_1 = \omega_2 \left(1 + \frac{\lambda \ell}{2D} \right)$$

c) λ ablesen und einsetzen

$$Re = \frac{u D}{\nu}$$

D hydraulischer Durchmesser

$$D = \frac{4A}{u} = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \approx 0,2 \text{ m}$$

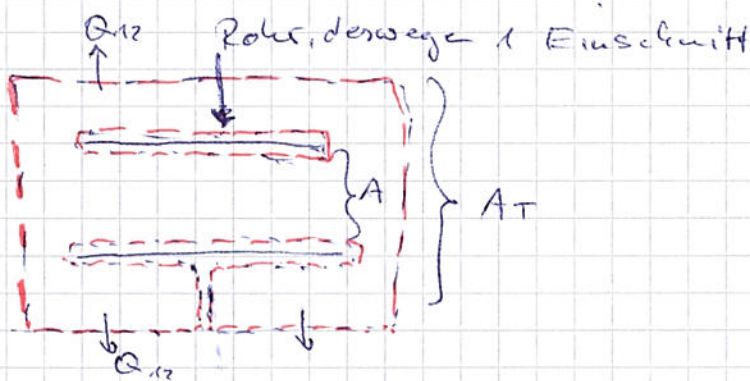
$$\Rightarrow Re \approx 200\,000$$

$$\Rightarrow \lambda \approx 0,016$$

Einsetzen: $w_2 = \frac{w_1 \cdot 2}{2 + \lambda l/D} \approx 18,52 \text{ m/s}$

$\Rightarrow$ Schätzung nicht so gut (iterative Bestimmung von w_2 möglich)

d)



$$A_T w_1 = Q_{12} + A w_2 + (A_T - A) w_1$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{12} = A(w_1 - w_2)}$$

$$e) \quad \underbrace{-\rho A_T w_1^2}_{\text{rein}} + \underbrace{\rho A w_2^2}_{\text{raus}} + \underbrace{\rho (A_T - A) w_1^2}_{\text{raus}} + \underbrace{w_{\text{raus}} Q_{12}}_{\substack{\text{raus über} \\ \text{KF zwischen ① und ②}}} = F$$

Rund 2

$$w_{\text{raus}} = \frac{Q_{12}}{A_{\text{Seite}}}$$