

Name: Vorname: Punkte:
Matr.-Nr.:

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE - Fragenteil

Bitte direkt auf die Angabe schreiben. Blatt exkl. wenden!

- 1) Gegeben ist die potentialtheoretisch modellierte Umströmung eines Zylinders mit Zirkulation (7P).
a) Geben Sie Namen und Formel der Elementarlösungen an, aus denen die Strömung zusammengesetzt ist.

- b) Skizzieren Sie die Stromlinien um einen linksdrehenden Zylinder für den Fall dass ein, zwei, bzw. keine Staupunkte auftreten.

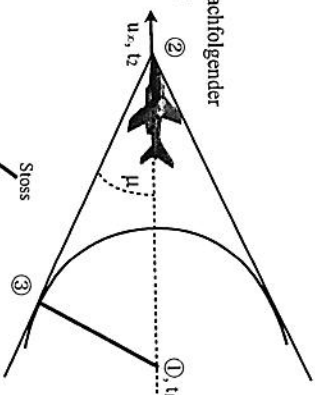
- c) Wie ändert sich das zur Einstellung der Fälle in b) notwendige Dipolmoment?

- 2) In einem Ideenwettbewerb wird ein Vorschlag gemacht: Energie durch Fahrtwind. Hierzu soll auf einem Zugdach ein Aufsatz angebracht werden, der den Fahrtwind auffängt und durch einen Rotor zur Stromgewinnung leitet. Ist eine solche Idee sinnvoll? Begründen Sie Ihre Aussage.

Hinweise zur Abschätzung: gegeben sind Leistungsbeiwert c_L (der maximale Erntegrad eines Rotors, auch Leistungsbeiwert oder Wirkungsgrad genannt, beträgt etwa $c_L \approx 60\%$; die Normierung erfolgt ähnlich zu der des Druck- oder Widerstandsbeiwertes), angeströmte Fläche A , die mittlere Geschwindigkeit der Strömung durch den Rotor, v . Bekannte Widerstandsbeiwerte sind: moderne PKWs $c_w \approx 0.35$, Queranströmung einer Kreisscheibe $c_w \approx 1.1$, einer senkrechten Platte $c_w \approx 0.9$, längsangeströmter Zylinder oder Würfel, $c_w \approx 0.9$. (5P)

- 3) Gegeben: $\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_0 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$. Referenzgrößen sind u_0, L, ρ_0 ; der Druck wird mit durch eine *gemisch* Formulierung aus p_0, u_0 *und* der Schallgeschwindigkeit c_0 *endimensioniert*. Geben Sie die dimensionslose Form der Gleichung mit Hilfe bekannter Kennzahlen an (5P).

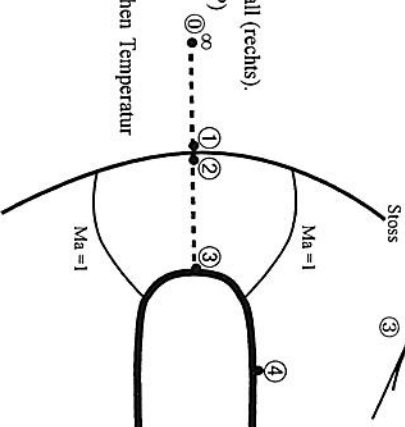
- 4) Ein Flugzeug bewegt sich mit $Ma_\infty > 1$. Leiten Sie anhand nachfolgender Abbildung eine Beziehung für den halben Öffnungswinkel des Mach'schen Kegels her. (3P)



- 5) Gegeben ist die Anströmung eines Körpers im Überschall (rechts).

- a) Wie ändert sich die Totaltemperatur von 0 bis 4? (1P)

- b) Skizzieren sie den zugehörigen Verlauf der statischen Temperatur über die angegebenen Punkte. (3P)



Name:
Vorname:
Matr.-Nr.:

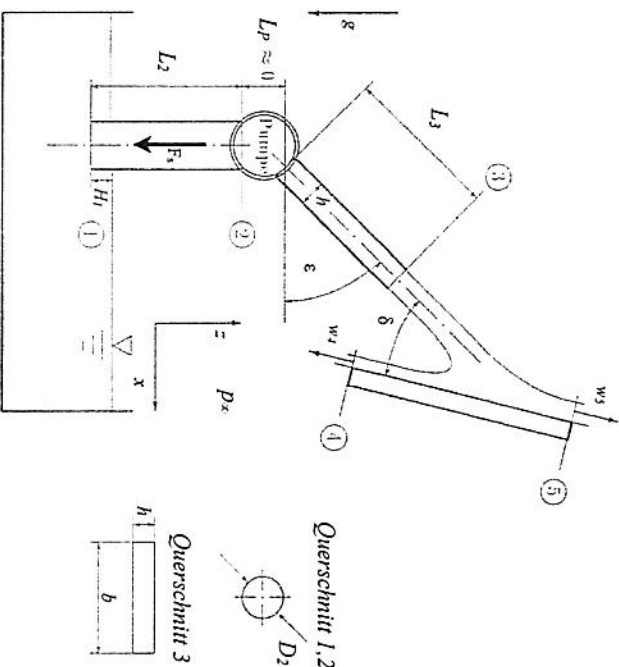
MB-DI / MB-DII / IP-DII / WiW-DII
BSc-MB / BSc-MBD / BSc-BIBME

Aufg.	Punkte
1	
2	
3	
Σ	

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

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

Aufgabe 1



Gegeben ist eine Pumpe mit Wirkungsgrad η_p , die aus einem großen Behälter den Volumenstrom Q fördert. Das passiert über ein Saugrohr (Querschnittsfläche A_2 , Länge L_2), anschließend tritt das Fluid über ein Rohr mit Querschnittsfläche A_3 und Länge L_3 an der Stelle (3) ins Freie. Dort trifft der Strahl unter dem Winkel δ auf eine Platte, dabei nehmen wir die Geschwindigkeiten w_1 , w_2 und die Flächen A_1 , A_3 als konstant an. Die Strömung ist inkompressibel, homogen über die Querschnitte, Umleitverluste in der Pumpe vernachlässigbar.

Gegeben: $p_a = 100000 \text{ Pa}$, $p_1 = 88980 \text{ Pa}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $H_1 = 10 \text{ cm}$, $\zeta_e = 0.5$, $A_2 = 0.0007 \text{ m}^2$, $F_s = 2.8 \text{ N}$, $L_2/D_2 = 25$, $\lambda_s = 0.02$, $L_3 = 0.71 \text{ m}$, $b = 0.05 \text{ m}$, $h = 0.01 \text{ m}$, $\eta_p = 0.9$, $\epsilon = 44^\circ$

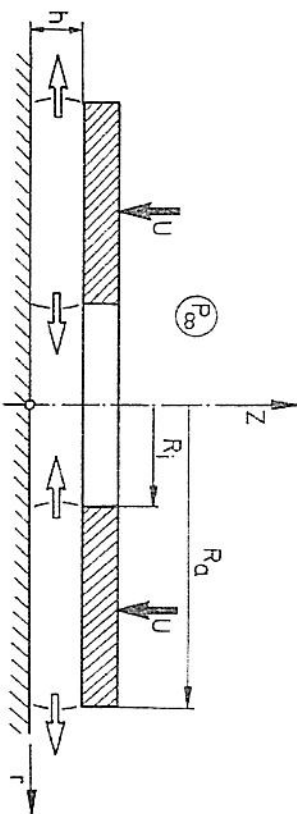
a) Wie groß ist Q unter Berücksichtigung der Einlaufverluste ζ_e ?

b) Wie groß ist unter Zahnflanken der am Saugrohr wirkenden Kraft F_s der Rohrreibungswert (Reibungszahl) λ_s ?

c) Wie groß ist die Pumpenleistung P_p ?

d) Welchen Zusammenhang (Formel) erhält man für den Winkel δ , wenn das Flächenverhältnis A_2/A_3 einen gegebenen Wert ξ annehmen soll? Der Schwerkraftfluss soll hierbei vernachlässigbar sein und es gelte $w_1 = w_2 = w_3$. Die Strömung nach dem Querschnitt 3 sei eben. (Hinweis: Legen Sie ein Kontrollvolumen tangential an die Platte, keine Reibungskräfte!).

Aufgabe 2



$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} u_z - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} u_\varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} u_r - \frac{\partial p}{\partial z} V_z$$

$$V_z = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{z\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} \right) - \rho F \cdot g \quad \tau_{zr} = \mu \frac{\partial u_z}{\partial r}$$

Eine Kreisscheibe mit Bohrung wird durch eine dünne Flüssigkeitsschicht der Dicke h von der ebenen Fläche getrennt. Die Scheibe wird langsam mit der konstanten Geschwindigkeit U auf die Ebene zubewegt. Die sich ausbildende radiale Strömung im Spalt ist laminar, außerdem seien Einflüsse von Beschleunigungskräften (Advektionssterne) und der Schwerkraft *vernachlässigbar*. Die Geschwindigkeit u_r ist nur eine Funktion von z , deren zweite Ableitungen *vernachlässigbar*, sämtliche Größen hängen *nicht* von der Umfangskomponente φ ab, die Strömung ist inkompressibel und stationär.

a) Vereinfachen Sie die Impulsgleichung unter Berücksichtigung der Angaben und bestimmen Sie den Druckgradienten in z -Richtung (Sollten Sie nicht zum Ergebnis kommen, nehmen Sie im Folgenden $\partial p / \partial z = 0$ an).

b) Geben Sie die Randbedingungen für den Druck und die Geschwindigkeiten an. Die Radialgeschwindigkeit sei gegeben als

$$u_r(r, z) = \frac{1}{2\mu r} \frac{\partial (p r)}{\partial r} (z^2 - h z)$$

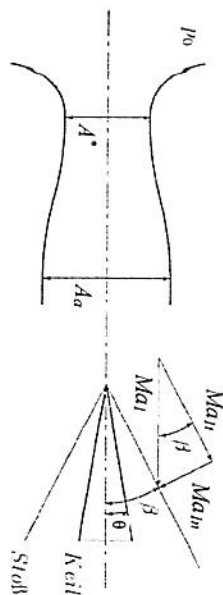
c) Berechnen Sie nun allgemein den Druckverlauf unter Verwendung von u_r und der Kontinuitätsgleichung (nachfolgende Formel), für die Sie zuerst eine bestimmte Integration von der Wand bis zur Spalthöhe durchführen, bevor Sie auf den Druck auflösen. Beachten Sie obige Angaben zur Abhängigkeit der Größen.

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r u_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} = 0$$

d) Bestimmen Sie die Integrationskonstanten. Welche Kraft muss aufgebracht werden, um die Platte mit der Geschwindigkeit U zu bewegen (setzen Sie die Integrationskonstanten *nicht* ein und rechnen Sie mit $p = C_0 r^2/6 + C_1 + C_2/r$, falls Sie c) nicht lösen).

Aufgabe 3

Gegeben sei die folgende Düse eines Windkanals, in deren Strom ein Keil mit Ablenkwinkel θ montiert wird.



Ma	A/A^*
1,00	10,72
1,50	16,56
5,00	25,00
5,50	36,87
6,00	53,18
6,50	75,13
7,00	101,10

Gegeben sind: $\gamma=1,4$; $R=287 \text{ J/(kg K)}$; $A_s=1,25 \text{ m}^2$; $A^*=0,05 \text{ m}^2$; $\theta=10^\circ$; $p_1=10^4 \text{ Pa}$

a) Wie hoch ist die Machzahl Ma_I vor dem Stoss (Tabelle)?

b) Wie groß ist der Stosswinkel β ? Geben Sie hierzu β als Funktion der Machzahl Ma_I an, indem Sie die Gleichung für kleine Winkel β und θ linearisieren (siehe Hinweis) und auf β auflösen:

$$\tan \theta = 2 \cot \beta \frac{Ma_I^2 \sin^2 \beta - 1}{Ma_I^2 (\gamma + \cos 2\beta) + 2}$$

Rechnen Sie im Folgenden mit $\beta = 20^\circ$ weiter.

c) Der Druck p_2 wird unmittelbar hinter dem Stoss gemessen. Berechnen Sie den Druck p_1 vor dem Stoss mit Hilfe des Stosswinkels

d) Berechnen Sie den Totaldruck p_{0I} im Druckbehälter des Windkanals.

e) An Stelle des des Keils wird nun eine ebene Platte ($\theta=0^\circ$) in den Kanal montiert. Welcher Stosswinkel stellt sich nun ein?

Hinweis: Nutzen Sie $\sin(x) \approx x - x^3/6 + \dots$; $\cos(x) \approx 1 - x^2/2 + \dots$; $\tan(x) = \sin(x)/\cos(x)$; $\cot(x) = 1/\tan(x)$

Nutzen Sie obige Tabelle und die Formelsammlung, falls notwendig.