

Name:
Vorname:
Matr.-Nr.:

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

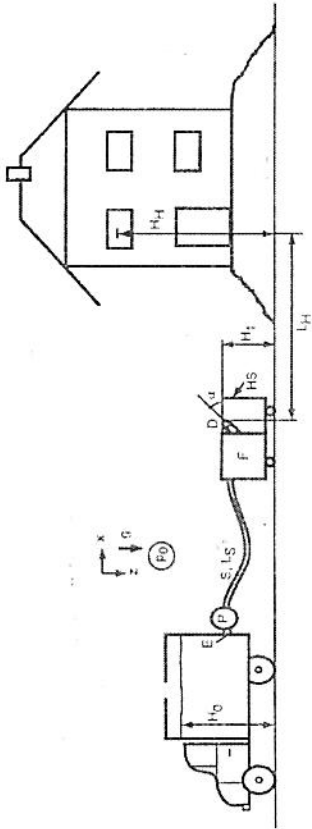
Aufg.	Punkte
1	
2	
3	
Σ	

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

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

1) Ein Hochhausbrand wird mit einem Löschzug aus Feuerwehrrwagen mit Wasserreservoir und Spritzenwagen mit Hitzeschutzschild (HS) bekämpft. Vom Wasservagen fließt das Wasser über den Verbindungsflansch E in die Pumpe P. Danach strömt es über einen flexiblen Schlauch S (Länge L_S , Krümmung des Schlauches ist vernachlässigbar) zum Spritzenwagen und durchläuft einen scharfkantigen Krümmer der Spritze (F, Umlenkwinkel α). Schließlich tritt der Strahl an der Düse D (Durchmesser d_D) unter dem Winkel α ins Freie. Die sonstigen Leitungselemente seien hydraulisch glatt und haben den Durchmesser d . Die Höhendifferenz zwischen Düsenaustritt und Eintritt in den Spritzenwagen sei vernachlässigbar, die Strömung inkompressibel, stationär, Drücke und Geschwindigkeiten seien über die jeweiligen Querschnitte konstant.

Gegeben: $\rho_{\text{Wasser}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $v = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $H_0 = 3 \text{ m}$, $H_1 = 2 \text{ m}$, $L_S = 10 \text{ m}$, $d = 0.1 \text{ m}$, $d_D = 0.025 \text{ m}$, $\zeta_E = 0.5$, $\zeta_D = 0.0$, $\zeta_F = 0.47$, Wirkungsgrad $\eta_P = 1$.



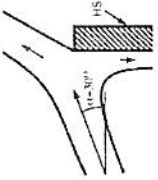
a) Wie groß ist die Austrittsgeschwindigkeit u_D und welcher Strahlwinkel α ist nötig, damit der Wasserstrahl bei einer Entfernung $L_H = 25 \text{ m}$ in das Haus bei einer Höhe $H_H = 24 \text{ m}$ einmündet? (Tipp: schräger Wurf. Rechnen Sie mit $u_D = 24 \text{ m/s}$ und $\alpha = 60^\circ$, falls Sie nicht weiterkommen.)

b) Welche Pumpleistung N_P wird benötigt (siehe auch Diagramm 1)?

c) Welche Kraft in horizontaler Richtung F_S wirkt auf den Spritzenwagen?

d) Nachdem der Spritzwinkel, bei gleicher Geschwindigkeit, auf $\alpha = 30^\circ$ eingestellt wurde, trifft er leider auf das Hitzeschild HS des Wagens (Skizze nächste Seite oben, muss nicht

der finalen Situation entsprechen!). Dabei teilt er sich an der Oberkante im Volumenstromverhältnis von 3 zu 1. Welche maximale Weite erreicht der Reststrahl nun (vernachlässigen Sie das Eigengewicht des Strahls, die Höhendifferenz bei der Strahlaufweitung und die Reibung)?



2) Das Strömungsfeld im Nasenbereich eines Flügelprofils wird mittels Potentialtheorie untersucht. Die Verdrängung der Strömung durch das Profil modelliert man durch Kombination einer Translationsströmung mit Geschwindigkeit U_0 in horizontaler Richtung und einer Quelle der Ergiebigkeit E im Ursprung. Den Auftrieb modelliert man wie üblich durch die Zirkulation Γ am Ort der Quelle.

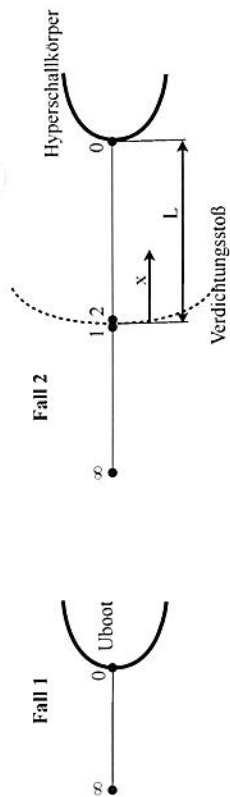


- Geben Sie das komplexe Potential an.
- Geben Sie die Geschwindigkeitskomponenten u_r und u_ϕ in Polarkoordinaten an.
- Ermitteln Sie allgemein den Winkel ϕ für die Lage der Staupunkt(e) in Abhängigkeit von E und Γ .

Es sei nun die Geschwindigkeit U_0 gegeben, der Staupunkt liege zudem bei $\phi = 5\pi/4$ und die Quellstärke sei $E = 2\pi U_0$ (Anmerkung: der Einfachheit halber wurden die Länge zu Eins gesetzt).

- Berechnen Sie den zum Staupunkt gehörigen Radius r .
- Bestimmen Sie die Zirkulation Γ .
- Welchen Wert hat die Stromfunktion auf der Staupunktstromlinie?
- Berechnen Sie nun die Lage r_P desjenigen Punktes P auf der Profilkontur für den $\phi_P = \pi$.
- Skizzieren Sie das Strömungsfeld im Bereich des Staupunktes und den Ursprung (Innenströmung, Außenströmung, Staupunktstromlinie)

Hinweis: $u_\theta = -\partial\psi/\partial r$; $u_r = (1/r) \partial\psi/\partial\phi$



3)

Ein Konstrukteur will die Geschwindigkeit eines U-Boots (Fall1) mittels Pitot-Sonde und statischer Drucksonde bestimmen, um diese für die Anwendung auf das Hyperschalltransportsystem (Fall2) beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre zu testen.

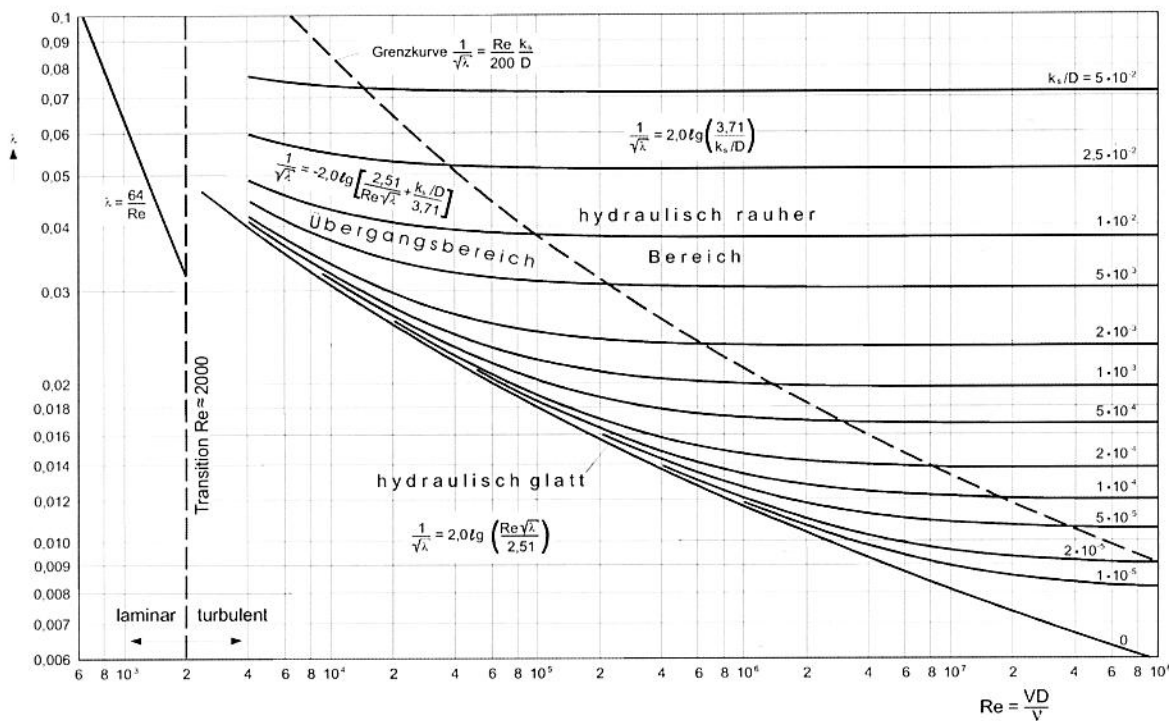
Fall 1: Zunächst nimmt er fälschlich inkompressible Strömung an und misst die Drücke p_0 und p_x . Die Dichte des Fluids ist ρ_f .

- Welche Geschwindigkeit hätte er als Funktion der gegebenen Größen zu erwarten (nur Formel)?
- Die Messwerte liefern $p_0 = 1.4 \text{ bar}$ und $p_x = 0.8 \text{ bar}$. Berechnen Sie die Anströmgeschwindigkeit u_x für $\rho_f = 0.22 \text{ kg/m}^3$.

Fall 2: Die Strömung ist nun kompressibel. Es werden nun die Drücke p_0 und p_2 gemessen. Weiterhin seinen $\gamma = C_p/C_v$ und R des idealen Gases bekannt.

- Er testet die Sonden nun im Hochgeschwindigkeitswindkanal. Welche Größe im Staupunkt benötigt er zur vollständigen Bestimmung der Anströmgeschwindigkeit u_x vor dem Verdichtungsstoß zusätzlich?
- Geben Sie nun die Temperatur T_2 und die Machzahl Ma_2 hinter dem Stoß als Funktion der Größen T_0 , p_0 und p_2 an. Rechnen Sie - wie immer - entlang der Staupunktstromlinie, die auch senkrecht durch den Stoß führt (nur Formel).
- Schließlich interessiert er sich endlich für die Anströmgeschwindigkeit u_x . Berechnen Sie diese ebenfalls als Funktion obiger Größen (nur Formel).
- Er dreht nach einigen Versuchen plötzlich ausversehen den Hahn für das Heliumgas auf und misst deswegen $p_0 = 1.4 \text{ bar}$, $p_2 = 0.8 \text{ bar}$, $R = 2077.20 \text{ J/kg/K}$, $\gamma = 5/3$, $\rho_0 = 0.22 \text{ kg/m}^3$. Berechnen Sie Ma_2 , T_2 , u_x und Ma_x .
- Die Geschwindigkeit hinter dem Stoß wird zum Staupunkt vermindert. Nehmen Sie ein lineares Druckprofil an und berechnen Sie die Geschwindigkeitsabhängigkeit vom Ort (Formel, keine Zahlenwerte).

Diagramm 1



Name: Vorname: Punkte:

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

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

Fragenteil

Bitte direkt auf die Angabe schreiben!

1) Welche Kennzahlen können wir nutzen, um Strömungen mit Temperatureinfluß zu beschreiben?

Nennen Sie zwei und geben Sie kurz deren Bedeutung an. (4P)

z.B. Nusseltzahl $Nu = \frac{\alpha_w \cdot l}{k}$: übergehende (auf Wand)
zu geleiteter Wärme

Pécletzahl $Pe = \frac{u \cdot l}{\alpha}$: konvektive zu geleiteter Wärme

3) Was besagt die Prandtl-Relation? (1P)

$$Ma_2^* = \frac{1}{Ma_1^*}$$

Stoß von subsonisch $\rightarrow$ supersonisch (Entropie verbleibt das)
oder umgekehrt.

4) Wie können wir potentialtheoretisch den Auftrieb eines Körpers beschreiben? Geben Sie dafür auch den mathematischen Ausdruck an. Können wir auch den Widerstand berechnen und wenn ja wie? (3P)

- Durch Zirkulation, $i \int \frac{\Gamma}{2\pi} \ln z$

- Nein, d'Alembertsches Paradoxon

5) Stellen Sie sich einen Hubschrauber mit starren, nicht schwenkbaren Rotorblättern vor. Warum kann dieser auf der Stelle schweben, aber nicht vorwärts fliegen; was passiert? Kurze Erklärung. (3P)

Schweben: klar, Druckverteilung ist identisch auf Rotorblättern.

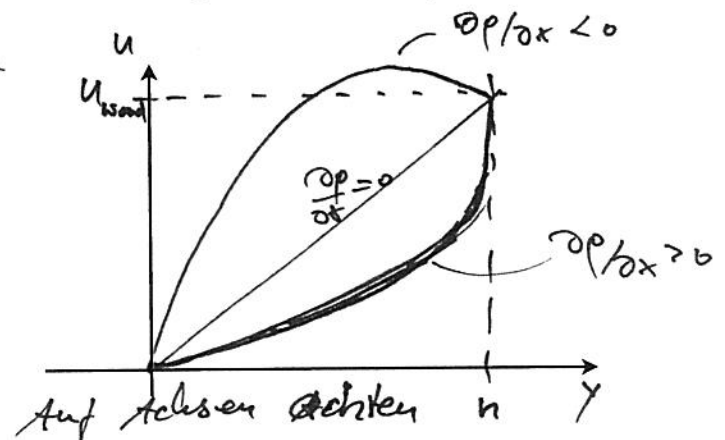
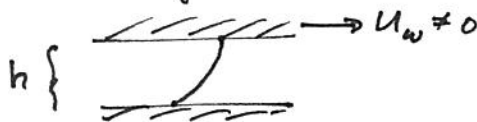
Kippt man den gesamten Rotor oder Helikopter und läßt ihn fliegen $\Rightarrow$ durch Auströmung ist die relative Geschw. auf dem nach vorne bzw. dem nach hinten laufenden Blatt unterschiedlich $\Rightarrow$ Drücke unterschiedlich $\Rightarrow$ Heli kippt zur Seite $\Rightarrow$ Ausstellen d. Blätter ist notwendig

- 6) Ein auf dem Wasser *treibendes* Boot ist lenkbar. Dies wäre nicht der Fall, wenn das Boot *genauso schnell* triebe, wie das Wasser fließt. Tatsächlich treibt es aber schneller. Versuchen Sie das kurz zu erklären (Tipp: betrachten Sie das Volumen mit/ohne Boot und was jeweils physikalisch passiert). (3P)

Betrachte äquivalente Wassermasse (wie das vom Boot verdrängt Wasser): diese würde sich mit dem umliegenden Wasser turbulent vermischen, insb. mit tieferen (langsameren) Wasser $\Rightarrow$ Impulsverlust (im laminaren ähnlich, d. innere Reibung an tieferen Schichten).
 Boot: keine Vermischung, aber dünne Grenzschicht, daher geringerer Impulsverlust $\Rightarrow$ treibt schneller.

- 7) Was ist eine Couette Strömung? Skizzieren Sie die Profile der Geschwindigkeit in Strömungsrichtung über dem Wandabstand ins Diagramm, für drei Fälle des Druckgradienten: Null, positiv und negativ. (5P)

Strömung zw. zwei Platten, mit einer davon fest, die andere bewegt



- 7) 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 p_0 und der Schallgeschwindigkeit c_0 entdimensioniert. Geben Sie die dimensionslose Form der Gleichung mit Hilfe bekannter Kennzahlen an (5P).

$$\left(\frac{u_0^2}{L}\right) \frac{\partial u}{\partial t} = -\left(\frac{1}{\rho_0} \frac{p_0}{L}\right) \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\nu_0 \frac{u_0}{L^2}\right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$\rho_0 = \rho_0 c_0^2, \text{ laut Angabe}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\text{Mo}^2} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$\text{Re} = \frac{u_0 L}{\nu}$$

$$\text{Mo} = \frac{u_0}{c_0}$$