Name:.. ....Vorname:... ....Punkte:....

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

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE

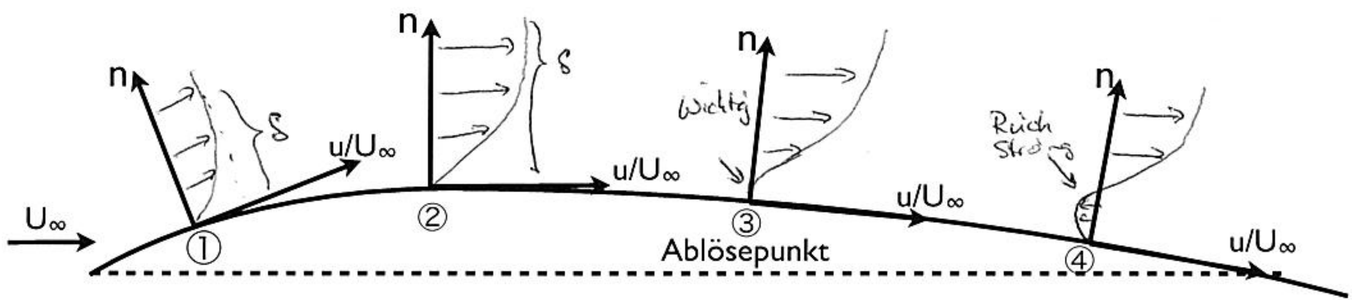
Fragenteil

Bitte direkt auf die Angabe schreiben!

1) Wie lautet die allgemeine Definition einer Stromlinie? (1P)

- Integralkurven des Momentanen Geschwdk.feldes
oder $dx/ds = u(x(s),t)$, oder Linien zu denen der Geschwdk.vektor parallel ist.

2) Skizzieren Sie an der Positionen 1-4 das Geschwindigkeitsprofil jeweils in einem lokalen Koordinatensystem (4P).



Wie groß ist die Wandschubspannung am Ablösepunkt 3 und welches Vorzeichen besitzt Sie am Punkt 4? (1P)

(3) $\tau_{Ablösung} = \mu \frac{\partial u}{\partial y}\Big|_{Wand} = 0$

(4) negatives Vorzeichen

3) Wie hoch maximal kann man mit einem Strohhalm aus einem Gefäß Wasser saugen? Schätzen Sie ab (Rechnung! 3P).

$p_0 = \rho g z + p_v$

$\Leftrightarrow z = \frac{p_0 - p_v}{\rho g}$

$p_v \approx 0$ für maximale Höhe

$p_0 \approx 10^5\,Pa$

$\rho \approx 1000\,kg/m^3$

$g \approx 10\,m/s^2$

$\boxed{z \approx 10\,m}$!

4) Das Kolmogorovsche Längenmass (Einheit m) ist definiert als: $\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4}$. ν ist die kinematische Viskosität und ε die Dissipationsrate. Leiten Sie diesen Zusammenhang kurz mittels des Buckingham PI-Theorems her (4P).

$[\varepsilon] = m^2/s^3 \quad [\nu] = m^2/s \quad [\eta] = m$

	η	ν	ε
L	1	2	2
Z	0	-1	-3

$\Pi = \frac{\eta}{\nu^{\alpha_1}\varepsilon^{\alpha_2}}$

$\Rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ -1 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$

$\Rightarrow \left.\begin{matrix} 2\alpha_1 + 2\alpha_2 = 1 \\ -\alpha_1 - 3\alpha_2 = 0 \end{matrix}\right\}$ $\quad -3\alpha_2 + \alpha_2 = 1/2$

$\Rightarrow \alpha_2 = -1/4$

$\Rightarrow \alpha_1 = -3\alpha_2$ $\quad \Rightarrow \alpha_1 = +3/4$

$\Pi = \frac{\eta}{\nu^{+3/4}\,\varepsilon^{-1/4}} = \frac{\eta}{(\nu^{+3}\cdot\varepsilon^{-1})^{1/4}}$

$\Rightarrow \boxed{\eta \propto \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon}\right)^{1/4}}$

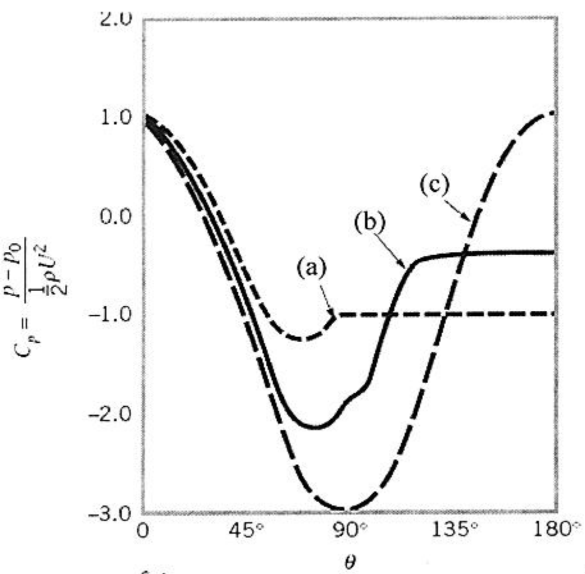
5) Wie verhält sich der Druck in wandnormaler Richtung in einer laminaren Grenzschicht? (1P)

konstant in y-Richtung

6) Skizzieren Sie den Druckverlauf in der Mitte eines Rohres der Länge L als Funktion der Stromabkoordinate x. Die Strömung erfolge gleichmäßig (2P).

$\partial p/\partial x < 0$! $\Rightarrow$ negative Steigung $p_{Anfang} > p_{Ende}$, sonst fließt nichts!

7) Folgendes Diagramm zeigt den Druckbeiwert einer Zylinderumströmung entlang der Oberfläche für eine reibungsbehaftete turbulente, eine laminare, sowie eine reibungsfreie Umströmung. Welche der Kurven gehört zu welcher Umströmung? Erklären Sie **stichpunktartig** den beobachteten Unterschied. (9P)



(a) laminar: Energie nahe Wand reicht nicht aus ansteigende Druck zu überwinden $\Rightarrow$ Ablösung $\Rightarrow$ niedrigerer Druck am hinteren Ende $\Rightarrow$ großer Widerstand

(b) turbulent: auch hier erfolgt Ablösung, allerdings hat wandnahe Schicht mehr Energie zur Verfügung $\Rightarrow$ Ablösung erfolgt später, Strömung kann länger gegen ~~$\partial p/\partial x$~~ anlaufen, kleineres Ablösegebiet $\Rightarrow$ höherer Druck auf Rückseite $\Rightarrow$ geringerer Widerstand

(c) reibungsfrei: Symmetrisch, da keine Reibung

$c_p = 1 - 4\sin^2\theta$

d'Alembertsches Paradoxon: kein Widerstand

8) Wie lautet die dimensionslose Form der idealen Gasgleichung? Referenzgrößen sind ρ_∞, u_∞, T_∞. R ist konstant. (3P)

Referenzgr.: $\rho_\infty, u_\infty, T_\infty$, für Druck: ρu_∞^2

$p^* = \rho^* R T^*$

$\Rightarrow p(\rho u_\infty^2) = \rho_\infty T_\infty R \; \rho T$

$\Rightarrow p = \frac{T_\infty R}{u_\infty^2} \rho T \quad \Rightarrow p = \frac{\gamma}{\gamma} \frac{T_\infty R}{u_\infty^2} \rho T = \frac{c_\infty^2}{\gamma u_\infty^2} \rho T$

Total 28 Punkte

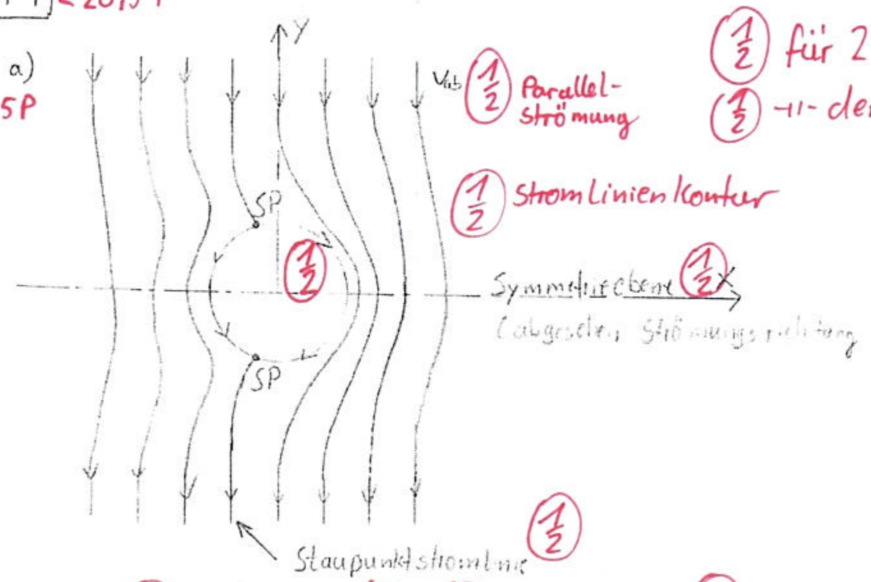
$\Rightarrow \boxed{p = \frac{1}{\gamma Ma^2} \rho T}$

Musterlösung Klausur Strömungslehre

SoSe 2012 1. Termin 20.07.2012

$\boxed{A1}$ $\Sigma 28{,}5P$

a) $\Sigma 8{,}5P$



(1/2) Parallelströmung

(1/2) für 2 Staupunkte

(1/2) -"- deren Lage

(1/2) Stromlinienkontur

$$F(z) = \underset{(1/2)}{i} \cdot V_{ab} \cdot \underset{(1)}{z} + \underset{(1/2)}{i} \frac{M}{2\pi} \underset{(1)}{\frac{1}{z}} + (-i) \frac{\Gamma}{2\pi} \ln(z) \quad (1)$$

$\Gamma < 0$; da Drehung im Uhrzeigersinn nötig (auf Potentialwirbel bezogen) (1)

b) $\Sigma 7P$ $\Psi = \Im(F(z))$

$$F(z) = i\, V_{ab} \cdot (x+iy) + i \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{1}{x+iy} \cdot \frac{x-iy}{x-iy} - \frac{i\Gamma}{2\pi}(\ln r + i\varphi) \quad (1/2) \quad (1/2)$$

$$= V_{ab}(ix - y) + \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{ix + y}{x^2+y^2} - \frac{\Gamma}{2\pi}(i \ln r - \varphi)$$

$$\Psi = V_{ab}\, x + \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{x}{x^2+y^2} - \frac{\Gamma}{2\pi} \ln(r) \quad (1)$$

Kartesische Koordinaten: (1/2)

$$r = (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow \Psi = V_{ab}\, x + \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{x}{x^2+y^2} - \frac{\Gamma}{4\pi} \ln(x^2+y^2) \quad (1)$$

polare Koordinaten: mit $x = r \cdot \cos\varphi$ $\quad x^2+y^2 = r^2$ (1/2)

$$\Psi = V_{ab} \cdot r \cdot \cos\varphi + \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{\cos\varphi}{r} - \frac{\Gamma}{2\pi} \ln(r) \quad (1)$$

Geschwindigkeitskomponenten:

$$w_\varphi = -\frac{\partial\Psi}{\partial r} = -\left(V_{ab} \cdot \cos\varphi + \frac{M}{2\pi} \cos\varphi \frac{1}{r^2}(-1) - \frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \right)$$

$$w_\varphi = -V_{ab} \cdot \cos\varphi + \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{\cos\varphi}{r^2} + \frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (1)$$

$$w_r = \frac{1}{r} \frac{\partial\Psi}{\partial\varphi} = \frac{1}{r}\left(-V_{ab}\, r \cdot \sin\varphi - \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{\sin\varphi}{r} - 0 \right)$$

$$= -V_{ab} \cdot \sin\varphi - \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{\sin\varphi}{r^2} \quad (1)$$

c) $\Sigma 2{,}5P$ auf Heckauslegeroberfläche ist $w_r = 0$ (1)

$$\Rightarrow 0 = -V_{ab} \cdot \sin\varphi - \frac{M}{2\pi} \cdot \frac{\sin\varphi}{r^2} \quad | \cdot (-\sin\varphi)^{-1} \quad r = \frac{D}{2} \quad (1/2)$$

$$0 = +V_{ab} + \frac{M}{2\pi} \cdot \left(\frac{2}{D}\right)^2 = V_{ab} + \frac{2M}{\pi \cdot D^2}$$

$$M = -V_{ab} \cdot \frac{\pi}{2} D^2 \quad (1)$$

d) - die Druckverteilung auf der Oberfläche des Heckauslegers bestimmt die resultierende Kraft

24P

- die Druckverteilung ist symmetrisch zur x-Achse

$\Rightarrow$ keine Luftkraft in y-Richtung $F_{y\,Luft} = 0$ 1

- resultierende Kraft in positiver x-Richtung

Momentengleichgewicht: $N = F \cdot L \Rightarrow F = \frac{N}{L}$ 1

- für eine ebene, reibungsfreie Strömung lautet die Auftriebskraft an einem geschlossenen Körper gemäß der Kutta-Zhukhovski-Formel: $F_{Auftrieb} = \rho u_\infty \Gamma$ 1

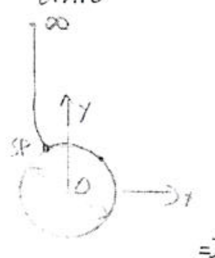
- beim Hubschrauber wirkt die Auftriebskraft (bzw. die resultierende Kraft) entlang der Strecke b des Heckauslegers

$$F = F_{Auftrieb} \cdot b = \rho V_{ab} \cdot \Gamma \cdot b$$ 1/2

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{F}{V_{ab} \cdot \rho \cdot b} = \frac{N}{L \cdot V_{ab} \cdot \rho \cdot b}$$ 1/2

e) Bernoull-Gl. von ∞ auf Körperkontur entlang Staustromlinie

Σ6,5P



$$p_\infty + \frac{\rho}{2} V_{ab}^2 = p + \frac{\rho}{2} w_{Kontur}^2$$ 1/2 1/2

$$w_{Kontur}^2 = w_r^2 + w_\varphi^2 \quad ; \; w_r = 0$$ 1/2

$$\Rightarrow p_\infty + \frac{\rho}{2} V_{ab}^2 = p + \frac{\rho}{2} w_\varphi^2 = \text{konst.}$$

$\Rightarrow p$ ist minimal, wo $w_\varphi^2 = \max$ ist! 1

$$w_\varphi^2 = \left(-V_{ab} \cos\varphi + \frac{M}{2\pi} \frac{\cos\varphi}{r^2} + \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{r} \right)^2$$

mit $r = D/2$ und $M = -V_{ab} \frac{\pi}{2} D^2$

$$w_\varphi^2 = \left(-V_{ab} \cos\varphi + \frac{-V_{ab} \frac{\pi}{2} D^2}{2\pi} \cdot \frac{\cos\varphi}{\left(\frac{D}{2}\right)^2} + \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{2}{D} \right)^2$$

$$w_\varphi^2 = \left(-2V_{ab} \cos\varphi + \frac{\Gamma}{\pi D} \right)^2$$

$\Gamma < 0$ (siehe Teil a)) $\Rightarrow \left| -2V_{ab} \cos\varphi + \frac{\Gamma}{\pi D} \right| = \text{maximal}$,

wenn $\cos\varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0$

$\Rightarrow$ Der Ort maximaler Geschwindigkeit (minimalen Drucks ist bei $r = D/2$ und $\varphi = 0$.

$$w_{\varphi\,max} = w_\varphi(\varphi = 0) = -2V_{ab} \cdot 1 + \frac{\Gamma}{\pi D} = -2V_{ab} + \frac{\Gamma}{\pi D}$$

$$p_{max} = p_\infty + \frac{\rho}{2} V_{ab}^2 - \frac{\rho}{2} w_{\varphi\,max}^2$$

$$p_{max} = p_\infty + \frac{\rho}{2} \left(V_{ab}^2 - \left(-2V_{ab} + \frac{\Gamma}{\pi D} \right)^2 \right)$$

$\boxed{A2}$ Σ26,5P

a) Bernoulli: $p_0 = p_2 + \frac{\rho}{2} u_2^2$ 1/2 1/2

Σ3P

Konti: $Q_2 = u_2 \cdot A_2 \Rightarrow u_2 = \frac{Q_2}{A_2}$ 1

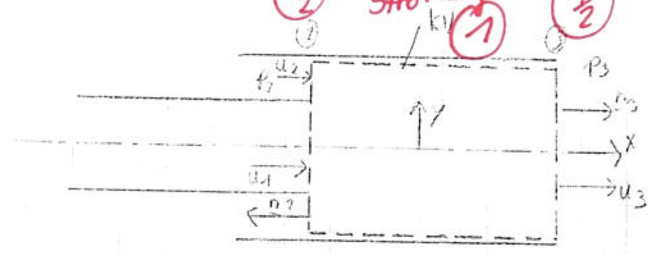
$$\Rightarrow p_2 = p_0 - \frac{\rho}{2} u_2^2 = p_0 - \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2$$ 1

(Zahlenwerte (nicht gefragt): $u_2 = \frac{4\,\frac{m^3}{s}}{0{,}2\,m^2} = 20\,\frac{m}{s}$

$$p_2 = 100.000\,Pa - \frac{1{,}25}{2} \frac{kg}{m^3} \left(20\,\frac{m}{s} \right)^2 = 99.750$$

für Schnitt an Stelle 2 $\frac{1}{2}$ — für KV in Strömung 1 — für Schnitt an Stelle 3 $\frac{1}{2}$

b)
Σ13P



Kräftegleichgewicht in x-Richtung

- Kontrollvolumen in Strömung: ⇒ Keine Haltekraft: $F_H = 0$ 1

$$\varrho u_3^2 A_3 - \varrho u_2^2 A_2 - \varrho u_1^2 A_1 = p_2 \cdot (A_1 + A_2) - p_0 A_3$$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 1 für richtige Vorzeichen

Konti.-Gl.: $u_3 A_3 = u_1 A_1 + u_2 A_2 \Rightarrow u_3 = \frac{u_1 A_1 + u_2 A_2}{A_3}$ 1 1

$$\varrho \frac{(u_1 A_1 + u_2 A_2)^2}{A_3} - \varrho u_2^2 A_2 - \varrho u_1^2 A_1 = (p_2 - p_0) A_3 \quad | \cdot \frac{A_3}{\varrho}$$

$$(u_1 A_1 + u_2 A_2)^2 - u_2^2 A_2 A_3 - u_1^2 A_1 A_3 = \frac{(p_2 - p_0)}{\varrho} A_3^2$$

$$u_1^2 A_1^2 + 2 u_1 u_2 A_1 A_2 + u_2^2 A_2^2 - u_2^2 A_2 A_3 - u_1^2 A_1 A_3 = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} A_3^2$$

$$u_1^2 (A_1^2 - A_1 A_3) + 2 u_1 u_2 A_1 A_2 + u_2^2 (A_2^2 - A_2 A_3) = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} A_3^2$$

$$u_1^2 + 2 u_1 u_2 \frac{A_1 A_2}{(A_1^2 - A_1 A_3)} + u_2^2 \frac{(A_2^2 - A_2 A_3)}{(A_1^2 - A_1 A_3)} = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{A_3^2}{(A_1^2 - A_1 A_3)}$$

$$u_1^2 + 2 u_1 u_2 \frac{A_2}{A_1 - A_3} + u_2^2 \frac{(A_2^2 - A_2 A_3)}{(A_1^2 - A_1 A_3)} = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{A_3^2}{(A_1^2 - A_1 A_3)}$$

Umformung in vielen möglichen Wegen durchführbar

quadratische Ergänzung:

$$u_1^2 + 2 u_1 \cdot u_2 \frac{A_2}{A_1 - A_3} + \frac{u_2^2 A_2^2}{(A_1 - A_3)^2} - \frac{u_2^2 A_2^2}{(A_1 - A_3)^2} + \frac{(A_2^2 - A_2 A_3)}{(A_1^2 - A_1 A_3)} \cdot u_2^2 = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{A_3^2}{(A_1^2 - A_1 A_3)}$$

$$\left(u_1 + u_2 \frac{A_2}{A_1 - A_3}\right)^2 = \frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{A_3^2}{(A_1^2 - A_1 A_3)} + u_2^2 \frac{A_2^2}{(A_1 - A_3)^2} - u_2^2 \frac{(A_2^2 - A_2 A_3)}{(A_1^2 - A_1 A_3)}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{A_3^2}{(A_1^2 - A_1 A_3)} + u_2^2 \frac{A_2^2}{(A_1 - A_3)^2} - u_2^2 \frac{(A_2^2 - A_2 A_3)}{(A_1^2 - A_1 A_3)}} - u_2 \frac{A_2}{A_1 - A_3}$$

mit $A_3 = A_1 + A_2$

$$u_1 = \sqrt{\frac{p_2 - p_0}{\varrho} \cdot \frac{(A_1 + A_2)^2}{(-A_1 A_2)} + u_2^2 \frac{A_2^2}{(A_1 - A_1 - A_2)^2} - u_2^2 \frac{(-A_1 A_2)}{(-A_1 A_2)}} - u_2 \frac{A_2}{-A_2}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{p_0 - p_2}{\varrho} \cdot \frac{(A_1 + A_2)^2}{A_1 A_2}} + u_2$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{\frac{\varrho}{2} u_2^2}{\varrho} \cdot \frac{(A_1 + A_2)^2}{A_1 A_2}} + u_2 = u_2 \left(1 + \frac{A_1 + A_2}{\sqrt{2 A_1 A_2}}\right)$$ 4

$$u_1 = 20 \tfrac{m}{s} \left(1 + \frac{0{,}3 m^2}{\sqrt{2 \cdot 0{,}02 m^4}}\right) = 20 \tfrac{m}{s} (1 + 1{,}5) = 50 \tfrac{m}{s}$$ $\frac{1}{2}$ E

aus Konti.-Gl. (siehe oben): $u_3 = \frac{u_1 A_1 + u_2 A_2}{A_3}$

$$u_3 = \frac{50 \frac{m}{s} \cdot 0{,}1 m^2 + 20 \frac{m}{s} \cdot 0{,}2 m^2}{(0{,}1 + 0{,}2) m^2} = 30 \tfrac{m}{s}$$

$\frac{1}{2}$ nur Ergeb[nis], Gleichung s[tand] schon oben

c) Gebläse leistung: $P = \Delta p_{Gebläse} \; Q_1$ (1)

Σ24,5P

über Bernoulli-Gl. von weit vor Gebläse bis nach (2)

(1/2) (1/2) (1)

$p_0 = \frac{\rho}{2} u_1^2 + p_2 - \Delta p_{Gebläse}$

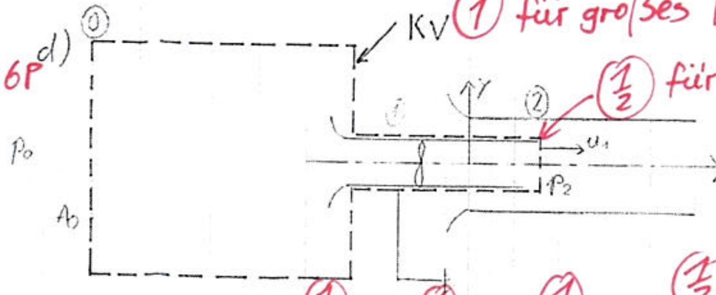
(1/2) für Einsetzen der Druckdifferenz

$\Delta p_{Gebläse} = p_0 - p_2 + \frac{\rho}{2} u_1^2 = \frac{\rho}{2}(u_2^2 + u_1^2)$

$\Rightarrow P = \frac{\rho}{2}(u_2^2+u_1^2) \cdot Q_1 = \frac{\rho}{2}(u_2^2+u_1^2) \cdot u_1 \cdot A_1$ (1/2)

$P = \frac{1{,}25}{2} \frac{kg}{m^3} ((20 \frac{m}{s})^2 + (50 \frac{m}{s})^2) \cdot 50 \frac{m}{s} \cdot 0{,}1 \, m^2 = 9062{,}5 \, W$ (1/2)

Σ6P d)



(1) für großes KV

(1/2) für Umschließen des Rohres

(1/2) (1/2) (1/2) (1/2) (1/2)

Impulssatz: $\rho u_1^2 A_1 - \rho u_0^2 \cdot A_0 = F_H + \underbrace{p_0 A_0 - p_2 \cdot A_1}_{(1/2)} - \underbrace{(A_0 - A_1) p_0}_{(1/2)}$

KV wird so groß gewählt, dass keine Beeinflussung durch die Spaltströmung auftritt und dass die Luft nur durch die Fläche A_0 eintritt

$u_0 << u_1 \Rightarrow u_0^2 \approx 0$ (1)

$\Rightarrow \rho u_1^2 A_1 = F_H + A_1 (p_0 - p_2) = F_H + A_1 \frac{\rho}{2} u_2^2$ (1/2) für Einsetzen d. Druckdifferenz

$F_H = \rho \cdot A_1 (u_1^2 - \frac{u_2^2}{2}) = 1{,}25 \frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}1 m^2 ((50 \frac{m}{s})^2 - (10 \frac{m}{s})^2)$

$F_H = 300 \, N$

(1/2) Ergebnis

A3 Σ17P

a) Σ8,5P

Fall 1: $\frac{p_0}{p} = (1 + \frac{\gamma - 1}{2} Ma^2)^{\gamma/\gamma-1}$ (1) (1)

aus Ma-Tabelle für $Ma_1 = 2$ gilt: $\frac{p_{a1}}{p_0} = 0{,}1278$; (1/2)

$\Rightarrow p_{a1} = p_0 \cdot 0{,}1278 = 12.780 \, Pa$ (1)

$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{Ma} \left[\frac{1 + \frac{1}{2}(\gamma-1) Ma^2}{\frac{1}{2}(\gamma+1)} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$ (2) (1)

aus Ma-Tabelle für $Ma_1 = 2$ gilt: $\frac{A_a}{A_1^*} = 1{,}688$ (1/2)

Fall 2: $p_{a2} = \frac{p_{a1}}{4} \Rightarrow \frac{p_{a2}}{p_0} = \frac{p_{a1}}{4 \cdot p_0} = \frac{0{,}1279}{4} = 0{,}03195$ (1/2)

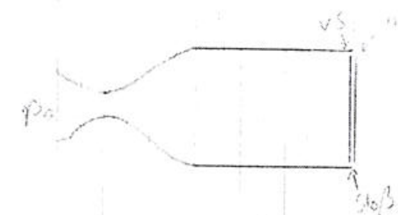
mit obiger Formel (1) bzw. Ma-Tabelle $Ma_2 \approx 2{,}89$ (1)

-"- (2) -"- $\frac{A_a}{A_2^*} = 3{,}813$ (1)

Flächenverhältnis: $\frac{A_2^*}{A_1^*} = \frac{A_a}{A_1^*} \cdot \frac{A_2^*}{A_a} = 1{,}688 \cdot \frac{1}{3{,}813} = 0{,}4427$

b) $\frac{A_a}{A_1^*} = 2{,}5$

Σ5,5P



Indizes:
vS ≙ vor Stoß
nS ≙ nach Stoß

Ma_{vS} wird berechnet über Gl. (2) bzw. Tabelle für $\frac{A}{A_t} = 2{,}5$

$\Rightarrow Ma_{vS} = 2{,}44$

Druck vor Stoß mit Gl. (1) bzw.
für $Ma_{vS} = 2{,}44$ aus Ma-Tabelle $\frac{p_{vS}}{p_{0vS}} = 0{,}06426$

Druckänderung über Stoß mit Gleichung

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}\left(Ma_1^2 - 1\right) \quad (3)$$ 1

aus Ma-Tabelle für $Ma_{vs} = 2{,}44$ $\quad \frac{p_{ns}}{p_{vs}} = 6{,}779$ $\frac{1}{2}$

$$p_{ns} = \frac{p_{ns}}{p_{vs}} \cdot \frac{p_{vs}}{p_{0vs}} \cdot p_{0vs} = 6{,}779 \cdot 0{,}06426 \cdot 100.000 \text{ Pa}$$ 1

$$p_{ns} = 43.562 \text{ Pa}$$

23P c) Soll eine Düse angepasst sein, d.h. dass keine Stöße auftreten, so ist einer gewünschten Ma-Zahl am Austritt ein exaktes Flächenverhältnis $\frac{A^*}{A_E}$ zugewiesen. Folglich ist die gewünschte Konfiguration, unabhängig vom herrschenden Außendruck p_a ~~oder die~~ bzw. dem Druckverhältnis p_a/p_0, nicht möglich!

1 für Erkenntnis der Unmöglichkeit dieser Konfiguration

2 für Begründung