rof. Holger Foysi, Lehrstuhl Strömungsmechanik

ame: ....

orname: ....

latr.-Nr.: ....

SS2015
Punkte
(max. 26P)

KLAUSUR STRÖMUNGSLEHRE - FRAGENTEIL

Benutzte Formel bitte immer angeben! Knappe Antworten! Rückseite verwendbar. **Viel Erfolg!**

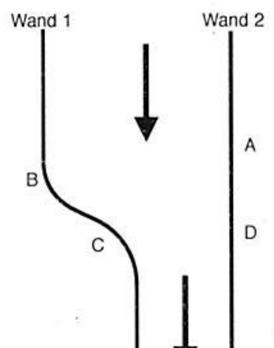
ufgabe 1) Wie ist die Verdrängungsdicke in Grenzschichten interpretierbar? (2P)

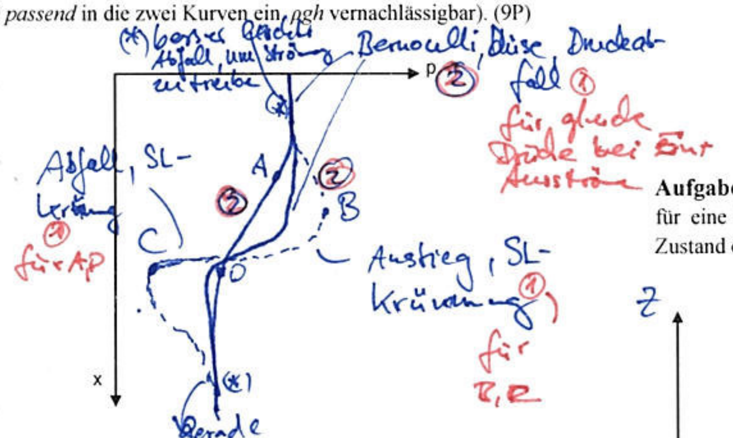
Abstand über dem Körper in reibungsfr. Strömung aufgedickt werden müsste, um den gleichen Massenstrom wie in der tats. Strömung zu erreichen. (S. 214)

ufgabe 2) In einem Venturirohr wird der Druck im engsten Querschnitt gemessen. Ist der Druck an der Wand o groß wie der Druck auf der Achse? (Kurze Erklärung, 2P) 1

Stromlinien sind gekrümmt, Druck variiert normal zu Stromlinie ($\partial p/\partial r = \rho v_\theta^2/R$, 1SP), daher erfolgt eine Änderung 1 von der Wand weg ⇒ Drücke unterschiedlich

ufgabe 3) Tragen Sie den mittleren Druck (1D Bernoulli, inkompressible Strömung) durch einen sich verüngenden Kanal in das Diagramm ein. Zusätzlich skizzieren Sie die lokale Druckverteilung entlang der beiden Wände 1 und 2 (tragen Sie die Punkte A, B, C, D *passend* in die zwei Kurven ein, ρgh vernachlässigbar). (9P)





ufgabe 4) Im alten Rom wurden in die Wasserleitungen vor dem Fluten in vorgegebenen Abständen auf der Oberseite Lüftungslöcher eingebaut. Warum? (1P)

Luft muss verdrängt werden und das Rohr verlassen können.
(zu Beobachten in Köln → Stadtführung machen!)

Aufgabe 5) Ethan Hunt mu[illegible] ich im neuesten *Mission Impossible* mit einer Hand an einem Flugzeug im Flug an der Aussenseite festhal[illegible]. Gottseidank hat er in SL aufgepasst und schafft es sich durch geschickte Körperhaltung so zu positionieren, dass die Strömung laminar frei um ihn herum strömt. *Schätzen* Sie *ab*, ob er sich im ungünstigsten Fall halten kann (Hilfestellung: $C_D = 0.4$ (Kugel), $C_D = 0.1$ (Ellipse) $C_D = 0.85$ (längsangeströmter Zylinder)). Was glauben Sie könnte im turbulenten Fall passieren? (5P)

Ann. $C_D = 0{,}85$ 1, $F_w = \frac{1}{2}\rho u^2 \cdot A \cdot C_D$ 2

$\simeq (170\,m/s)^2 \cdot 1{,}2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{(0{,}6)^2\pi}{4} \cdot 0{,}85\,N \underset{\text{Gedöns}}{\simeq} \frac{170^2}{8} \cdot 1{,}2\,N \simeq 430$

Beim Start (400 km/h) ≈ 1700 N. Beim Start vielleicht möglich aufgrund des plötzlichen Impulses eher NEIN! 1

Starke Druckfluktuationen erschweren das Festhalten, außer der Formwiderstand sinkt („Golfball"), dann kann mit starker Reduktion gerechnet werden. 1

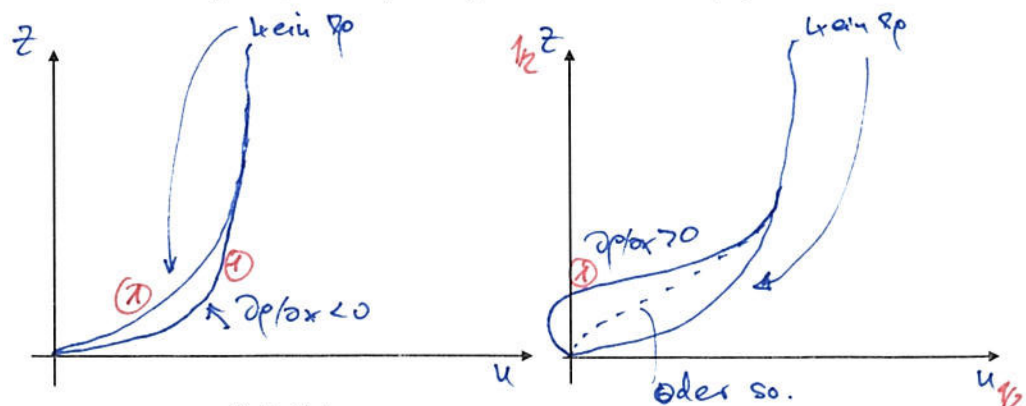
Aufgabe 6 Erfolgt die Strömung über einen Stoß adiabat oder isentrop? (1P)

Adiabat

Aufgabe 7 In Wasser ändert sich der Druck linear mit der Tiefe. Geben Sie eine Möglichkeit an, in der der Druck nichtlinear mit der Tiefe variiert. (2P)

Dichte variiert mit z (Tiefe).

Aufgabe 7 Skizzieren Sie das Geschwindigkeitsprofil als Funktion des Wandabstandes in einer Grenzschicht für eine Strömung mit positivem und negativem Druckgradienten. Vergleichen Sie beide Kurven mit dem Zustand ohne Druckgradient, den Sie in jedes Diagramm zusätzlich zeichnen. (4P)



Musterlösung Klausur Strömungslehre SoSe 2015

A1 $\underline{n}_1 = \begin{pmatrix}-1\\0\end{pmatrix}$; $\underline{n}_2 = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$; $\underline{u}_1 = \begin{pmatrix}u_0\\0\end{pmatrix}$; $\underline{u}_2 = \begin{pmatrix}u(r)\\0\end{pmatrix}$

a) $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 0$

$$\dot{m}_1 = \int_{A_1} \rho \underline{u}_1 \cdot \underline{n}\, dA = -\rho u_0 \frac{\pi}{4} D^2$$

$$\dot{m}_2 = \int_{A_2} \rho \underline{u}_2 \cdot \underline{n}_2\, dA = \rho \int_{A_2} u(r)\, dA = \rho \int_0^R u_{max}\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right) 2\pi r\, dr$$

$$= 2\pi\rho u_{max}\left[\frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{4R^2}\right]_0^R = 2\pi\rho u_{max} R^2 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8}\pi\rho u_{max} D^2$$

$$\Rightarrow \rho u_0 \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{1}{8}\pi\rho u_{max} D^2 \quad \Rightarrow u_{max} = 2u_0$$

b) Bernoulli $1 \to 2$

$$p_1 + \frac{\rho}{2} u_0^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} u_{max}^2 = p_2 + 2\rho u_0^2$$

$$p_1 - p_2 = 2\rho u_0^2 - \frac{\rho}{2} u_0^2 = \frac{3}{2}\rho u_0^2$$

c) Impulssatz für geg. KV

$$\int_{A_1} \rho \underline{u}_1(\underline{u}_1 \cdot \underline{n}_1)\, dA + \int_{A_2} \rho \underline{u}_2(\underline{u}_2 \cdot \underline{n}_2)\, dA = F_{res} - \int_{A_1} p_1 \underline{n}_1\, dA - \int_{A_2} p_2 \underline{n}_2\, dA$$

nur Kräfte in x-Richtung:

$$-\rho u_0^2 \frac{\pi}{4} D^2 + \rho \int_{A_2} u^2(r)\, dA = F_{res} + \frac{\pi}{4} D^2 (p_1 - p_2)$$

$$\ldots + \rho u_{max}^2 \int_0^R \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)^2 2\pi r\, dr = \ldots$$

$$\ldots + 2\pi\rho u_{max}^2 \int_0^R \left(r - 2\frac{r^3}{R^2} + \frac{r^5}{R^4}\right) dr = \ldots$$

$$\ldots + 2\pi\rho u_{max}^2 \left[\frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{2R^2} + \frac{r^6}{6R^4}\right]_0^R = \ldots$$

$$-\rho u_0^2 \frac{\pi}{4} D^2 + 2\pi\rho 4u_0^2 R^2 \cdot \frac{1}{6} = F_{res} + \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{3}{2} \rho u_0^2$$

$$\rho \pi D^2 u_0^2 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} - \frac{3}{8} \right) = F_{res}$$

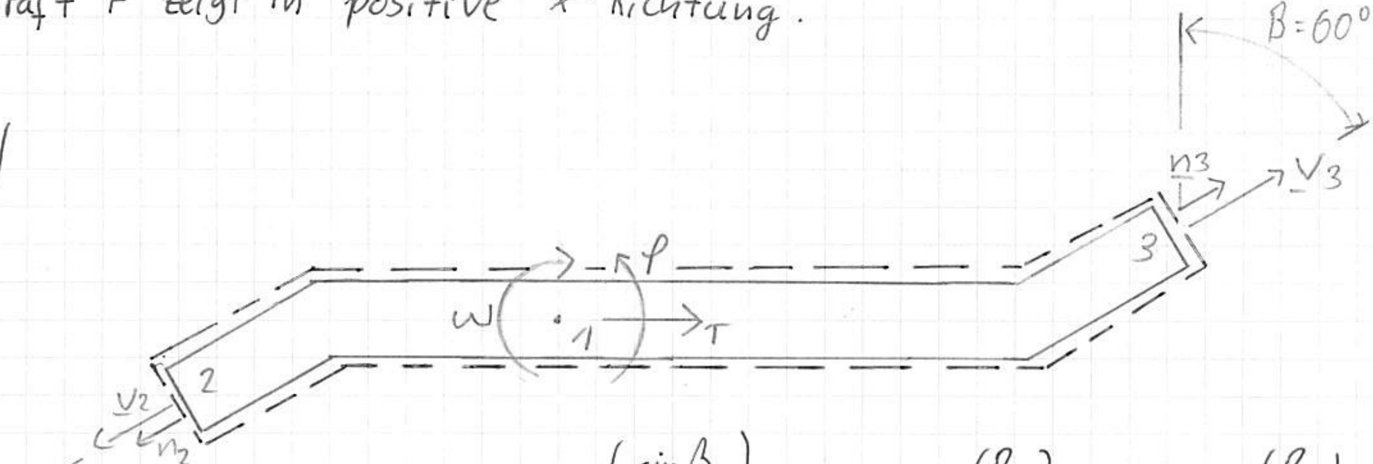
$$F_{res} = -\rho \pi D^2 u_0^2 \frac{7}{24}$$

$$F = -F_{res} = \frac{7}{24} \rho \pi D^2 u_0^2$$

Kraft F zeigt in positive x-Richtung.

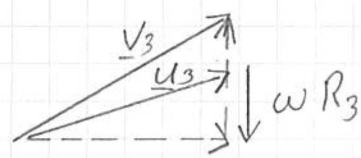
<u>A 2/</u>

a)



$$\underline{n}_2 = \underline{n}_3 = \begin{pmatrix} \sin\beta \\ \cos\beta \end{pmatrix} \qquad \underline{r}_2 = \begin{pmatrix} R_2 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \underline{r}_3 = \begin{pmatrix} R_3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\underline{v}_2 = v_2 \begin{pmatrix} \sin\beta \\ \cos\beta \end{pmatrix} \qquad \underline{v}_3 = v_3 \begin{pmatrix} \sin\beta \\ \cos\beta \end{pmatrix}$$



$$\underline{u}_2 = \begin{pmatrix} v_2 \sin\varphi \\ v_2 \cos\varphi - \omega R_2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{u}_3 = \begin{pmatrix} v_3 \sin\varphi \\ v_3 \cos\varphi - \omega R_3 \end{pmatrix}$$

Impulssatz:

$$\underbrace{\cancel{\frac{d}{dt}\int_{KV} \rho(\underline{r} \times \underline{u})\, dV}}_{=0} + \int_{A_2} (\underline{r}_2 \times \underline{u}_2) \rho \underline{v}_2 \cdot \underline{n}_2 \, dA + \int_{A_3} (\underline{r}_3 \times \underline{u}_3) \rho \underline{v}_3 \cdot \underline{n}_3 \, dA = \Sigma \underline{M}$$

$$\underline{r}_2 \times \underline{u}_2 = \begin{vmatrix} + & - & + \\ R_2 & 0 & 0 \\ v_2 \sin\varphi & v_2\cos\varphi - \omega R_2 & 0 \end{vmatrix} = R_2 (v_2 \cos\varphi - \omega R_2)$$

$$\underline{r}_3 \times \underline{u}_3 = R_3 (v_3 \cos\varphi - \omega R_3)$$

$$\rho \underline{v}_2 \cdot \underline{n}_2 = \rho v_2 \quad ; \quad \rho \underline{v}_3 \cdot \underline{n}_3 = \rho v_3$$

$$\Rightarrow \quad R_2 (v_2 \cos\varphi - \omega R_2)\, \rho v_2 \frac{\pi}{4} D^2 + R_3 (v_3 \cos\varphi - \omega R_3)\, \rho v_2 \frac{\pi}{4} D^2 = 0$$

Keine Momente, da reibungsfrei u. p_0 auf KF

$$R_2 (v_2 \cos\varphi - \omega R_2)\, \cancel{\rho} \frac{\dot V}{2} + R_3 (v_3 \cos\varphi - \omega R_3)\, \cancel{\rho} \frac{\cancel{\dot V}}{2} = 0$$

$$v_2 = v_3 = v$$

$$R_2 v \cos\varphi - \omega R_2 + R_3 v \cos\varphi - \omega R_3^2 = 0$$

$$\omega = \frac{R_2 v \cos\varphi + R_3 v \cos\varphi}{R_2^2 + R_3^2} = \frac{(R_2 + R_3)\, v \cos\varphi}{R_2^2 + R_3^2} = 17{,}91 \ \frac{1}{s}$$

mit $\quad v = \frac{\dot V}{2} \frac{4}{\pi D^2} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{2} \cdot \frac{4}{\pi (0{,}008 m)^2} = 11{,}94 \ \frac{m}{s}$

b)

$$\omega = 0 \quad \Rightarrow \quad M \neq 0$$

$$\Rightarrow R_2 (v_2 \cos\varphi - \cancel{\omega R_2})\, \rho \frac{\dot V}{2} + R_3 (v_3 \cos\varphi - \cancel{\omega R_3})\, \rho \frac{\dot V}{2} = M_H$$

mit $v_2 = v_3 = v$

$$\rho \frac{\dot V}{2} v \cos\varphi \, (R_2 + R_3) = 2{,}145 \ Nm$$

A3|

a) $\frac{T_{02}}{T_2} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma_2^{\,2} = \frac{360\,K}{200\,K} = 1{,}8 \Longrightarrow Ma_2 = 2{,}0$

$$w_2 = Ma_2\, c_2 = Ma_2 \sqrt{\gamma R T_2} = 567\ \tfrac{m}{s}$$

b) $\frac{A_2}{A_E} = \frac{1}{Ma_2}\left[\frac{1 + \frac{1}{2}(\gamma-1) Ma_2^2}{\frac{1}{2}(\gamma+1)}\right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} = 1{,}688$

$$\Longrightarrow A_E = A_2 / 1{,}688 = 0{,}059\ m^2$$

c) $\frac{p_0}{p_1} = \frac{p_0}{p_2}\,\frac{p_2}{p_1} = 7{,}824 \cdot \frac{1}{7} = 1{,}118$

mit $\frac{p_0}{p_2} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma_2^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 7{,}824$

$\frac{p_0}{p_1} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma_1^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 1{,}118 \Rightarrow Ma_1 = 0{,}4$

$\dot{m} = \rho_2 A_2 w_2 \Rightarrow \rho_2 = \frac{\dot{m}}{A_2\, w_2} = 0{,}529\ {}^{kg}/{}_{m^3}$

$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1/\gamma} \Rightarrow \rho_1 = 2{,}124\ {}^{kg}/{}_{m^3}$

$\frac{T_{02}}{T_1} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} Ma_1^2 = 1{,}032 \Rightarrow T_1 = 348{,}8\,K$

$w_1 = Ma_1 \cdot c_1 = Ma_1 \sqrt{\gamma R T_1} = 149{,}7\ \tfrac{m}{s}$

$A_1 = \frac{\dot{m}}{\rho_1 w_1} = 0{,}094\ m^2$

d) $p_1 = \rho_1 R T_1 = 212.624\ Pa$

$p_2 = p_1 / 7 = 30.375\ Pa$

e) Index ns $\hat{=}$ nach Stoß

$p_{0ns} = \frac{p_{0ns}}{p_{ns}} \cdot \frac{p_{ns}}{p_2} \cdot p_2$

$$\frac{p_{ns}}{p_2} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}\left(Ma_2^2 - 1\right) = 4{,}5$$

$$Ma_{ns} = \sqrt{\frac{(\gamma-1)\,Ma_2^2 + 2}{2\gamma\,Ma_2^2 + 1 - \gamma}} = 0{,}577$$

$$\frac{p_{0ns}}{p_{ns}} = \sqrt{1 + \frac{\gamma-1}{2}\,Ma_{ns}^2} = 1{,}256$$

$$p_{0ns} = 1{,}256 \cdot 4{,}5 \cdot 30.375\,Pa = 171.680\,Pa$$

$$p_0 = \frac{p_0}{p_1} \cdot p_1 = 1{,}118 \cdot 212.563\,Pa = 237.645\,Pa$$

$$T_0 = const. = T_{02} = 360\,K$$

e) bei unverändertem Medium (p_0/p, T_0/T ... gleich) bestimmt $\frac{A}{A^*}$ die lokale Machzahl

$\Rightarrow$ $\frac{A}{A^*}$ muss erhöht werden, um Ma zu steigern

A41

$$F(z) = -\frac{E_T}{2\pi}\ln(x+iy) - i\frac{\Gamma_T}{2\pi}\ln(x+iy)$$
$$+ \frac{E_\gamma}{2\pi}\ln\left(x - x_\gamma + i(y-y_\gamma)\right) + i\frac{\Gamma_\gamma}{2\pi}\ln\left(x - x_\gamma + i(y-y_\gamma)\right)$$
$$+ \frac{E_S}{2\pi}\ln\left(x - x_S + i(y-y_S)\right) + i\frac{\Gamma_S}{2\pi}\ln\left(x - x_S + i(y-y_S)\right)$$

$$F(z) = \left(-\frac{E_T}{2\pi} - i\frac{\Gamma_T}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{2}\ln(x^2+y^2) + i\arctan\left(\frac{y}{x}\right)\right)$$
$$+ \left(\frac{E_\gamma}{2\pi} + i\frac{\Gamma_\gamma}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{2}\ln\left((x-x_\gamma)^2 + (y-y_\gamma)^2\right) + i\cdot\arctan\left(\frac{y-y_\gamma}{x-x_\gamma}\right)\right)$$
$$+ \left(\frac{E_S}{2\pi} + i\frac{\Gamma_S}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{2}\ln\left((x-x_S)^2 + (y-y_S)^2\right) + i\cdot\arctan\left(\frac{y-y_S}{x-x_S}\right)\right)$$

$$\Psi(x,y) = -\frac{E_T}{2\pi}\arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \frac{\Gamma_T}{2\pi}\cdot\frac{1}{2}\cdot\ln\left(x^2+y^2\right)$$

$$+\frac{E_J}{2\pi}\arctan\left(\frac{y-y_J}{x-x_J}\right) + \frac{\Gamma_J}{2\pi}\frac{1}{2}\ln\left((x-x_J)^2+(y-y_J)^2\right)$$

$$+\frac{E_S}{2\pi}\arctan\left(\frac{y-y_S}{x-x_S}\right) + \frac{\Gamma_S}{2\pi}\frac{1}{2}\ln\left((x-x_S)^2+(y-y_S)^2\right)$$

b)

$$u = \frac{\partial\Psi}{\partial y} = \frac{1}{2\pi}\Bigg[-E_T\frac{1}{1+\left(\frac{y}{x}\right)^2}\cdot\frac{1}{x} - \Gamma_T\frac{2y}{2(x^2+y^2)}$$

$$+E_J\frac{1}{1+\left(\frac{y-y_J}{x-x_J}\right)^2}\frac{1}{x-x_J} + \Gamma_J\frac{y-y_J}{(x-x_J)^2+(y-y_J)^2}$$

$$+E_S\frac{1}{1+\left(\frac{y-y_S}{x-x_S}\right)^2}\frac{1}{x-x_S} + \Gamma_S\frac{y-y_S}{(x-x_S)^2+(y-y_S)^2}\Bigg]$$

$$u = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m}{s}\Bigg[-1\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{10^6}{10^6}\right)^2}\frac{1}{10^6} - 5\frac{10^6}{(10^{12}+10^{12})}$$

$$+1\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{-1{,}5\cdot10^6}{-1{,}5\cdot10^6}\right)^2}\frac{1}{-1{,}5\cdot10^6} + 5\cdot\frac{(-1{,}5)\,10^6}{(-1{,}5\cdot10^6)^2+(-1{,}5\cdot10^6)^2}$$

$$+0{,}5\frac{1}{1+\left(\frac{-3\cdot10^6}{10^6}\right)^2}\frac{1}{10^6} + 5\frac{-3\cdot10^6}{(-3\cdot10^6)^2+(10^6)^2}\Bigg]$$

$$u = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m}{s}\Big[-0{,}5\cdot10^{-6} - 2{,}5\cdot10^{-6} - 0{,}333\cdot10^{-6} - 1{,}667\cdot10^{-6}$$
$$+0{,}05\cdot10^{-6} - 1{,}5\cdot10^{-6}\Big] = -10{,}3\,\frac{m}{s}$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{1}{2\pi}\Big[-E_T \frac{1}{1+\left(\frac{y}{x}\right)^2} \frac{-y}{x^2} - \Gamma_T \frac{x}{x^2+y^2}$$

$$+ E_g \frac{1}{1+\left(\frac{y-y_g}{x-x_g}\right)^2} \frac{-(y-y_g)}{(x-x_g)^2} + \Gamma_g \frac{x-x_g}{(x-x_g)^2+(y-y_g)^2}$$

$$+ E_s \frac{1}{1+\left(\frac{y-y_s}{x-x_s}\right)^2} \frac{-(y-y_s)}{(x-x_s)^2} + \Gamma_s \frac{x-x_s}{(x-x_s)^2+(y-y_s)^2} \Big]$$

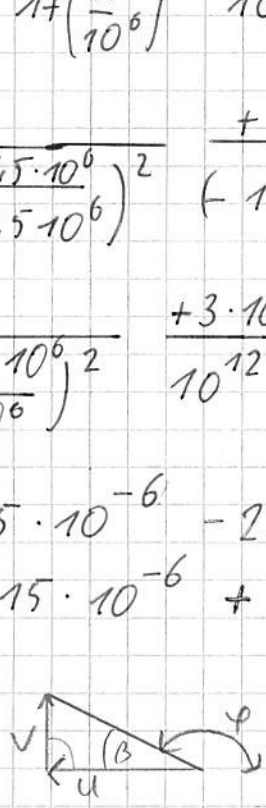
$$v = -\frac{10^7}{2\pi}\frac{m}{s}\Big[-1 \frac{1}{1+\left(\frac{10^6}{10^6}\right)^2} \frac{-10^6}{10^{12}} - 5 \frac{10^6}{10^{12}+10^{12}}$$

$$+ 1 \frac{1}{1+\left(\frac{-1{,}5\cdot 10^6}{-1{,}5\cdot 10^6}\right)^2} \frac{+1{,}5\cdot 10^6}{(-1{,}5\cdot 10^6)^2} + 5 \frac{-1{,}5\cdot 10^6}{2(-1{,}5\cdot 10^6)^2}$$

$$+ 0{,}5 \frac{1}{1+\left(\frac{-3\cdot 10^6}{10^6}\right)^2} \frac{+3\cdot 10^6}{10^{12}} + 5 \frac{10^6}{(-3\cdot 10^6)^2+(10^6)^2} \Big]$$

$$v = -\frac{10^7}{2\pi}\frac{m}{s}\Big[+0{,}5\cdot 10^{-6} - 2{,}5\cdot 10^{-6} + 0{,}333\cdot 10^{-6} - 1{,}667\cdot 10^{-6}$$
$$+ 0{,}15\cdot 10^{-6} + 0{,}5\cdot 10^{-6} \Big] = 4{,}3 \frac{m}{s}$$

Windrichtung:



$$\beta = \arctan\left(\frac{|v|}{|u|}\right) = 22{,}7°$$

$$\Rightarrow \varphi = 180° - \beta = 157{,}3° \text{ (WNW)}$$

Windgeschw.: $|V|_{AKW} = (v^2+u^2)^{\frac{1}{2}} = 11{,}2 \frac{m}{s}$

c) gilt $\psi_{AKW} \simeq \psi_{Pek}$?

$$\psi_{AKW} = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m^2}{s}\Big[-1 \arctan\left(\frac{10^6}{10^6}\right) - 5\,\frac{1}{2}\ln\left((10^6)^2+(10^6)^2\right)$$

$$+ 1 \arctan\left(\frac{-1{,}5\cdot 10^6}{-1{,}5\cdot 10^6}\right) + 5\,\frac{1}{2}\ln\left((-1{,}5\cdot 10^6)^2+(-1{,}5\cdot 10^6)^2\right)$$

$$+ 0{,}5 \arctan\left(\frac{-3\cdot 10^6}{10^6}\right) + 5\,\frac{1}{2}\ln\left((-3\cdot 10^6)^2+(10^6)^2\right)\Big]$$

$$\Psi_{AKW} = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m^2}{s}\left[-0{,}785 - 70{,}810 + 0{,}785 + 72{,}838 - 0{,}625 + 74{,}834\right] = 1{,}213 \cdot 10^8 \frac{m^2}{s}$$

$$\Psi_{Pek} = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m^2}{s}\Big[-1\arctan\left(\frac{2\cdot 10^6}{-0{,}5\cdot 10^6}\right) - 5\,\frac{1}{2}\ln\left((2\cdot 10^6)^2+(-0{,}5\cdot 10^6)^2\right)$$

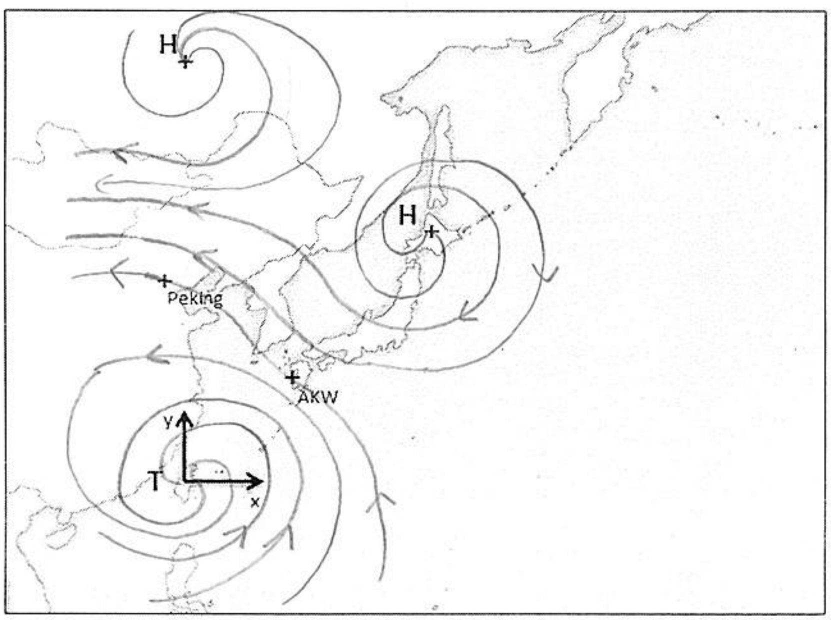
$$+ 1\arctan\left(\frac{-0{,}5\cdot 10^6}{-3\cdot 10^6}\right) + 5\,\frac{1}{2}\ln\left((-0{,}5\cdot 10^6)^2+(-3\cdot 10^6)^2\right)$$

$$+ 0{,}5\arctan\left(\frac{-2\cdot 10^6}{-0{,}5\cdot 10^6}\right) + 5\cdot\frac{1}{2}\ln\left((-2\cdot 10^6)^2+(-0{,}5\cdot 10^6)^2\right)\Big]$$

$$\Psi_{Pek} = \frac{10^7}{2\pi}\frac{m^2}{s}\left[1{,}326 - 72{,}695 + 0{,}165 + 74{,}639 + 0{,}663 + 72{,}695\right] = 1{,}222 \cdot 10^8 \frac{m^2}{s}$$

$\Rightarrow \Psi_{AK} \approx \Psi_{Pek} \Rightarrow$ Peking wird getroffen werden

d)



e)

Kürzeste Strecke AKW – Peking: $s = \sqrt{(x_{AKW} - x_{Pek})^2 + (y_{AKW} - y_{Pek})^2}$

$s = 1{,}803 \cdot 10^6 m$

Annahme $|v|_{AKW} \approx const. \Rightarrow t = \frac{s}{|v|_{AKW}} = \frac{1{,}803 \cdot 10^6 m}{11{,}2 \frac{m}{s}}$

$t = 160.982\, s \approx 45\, h$