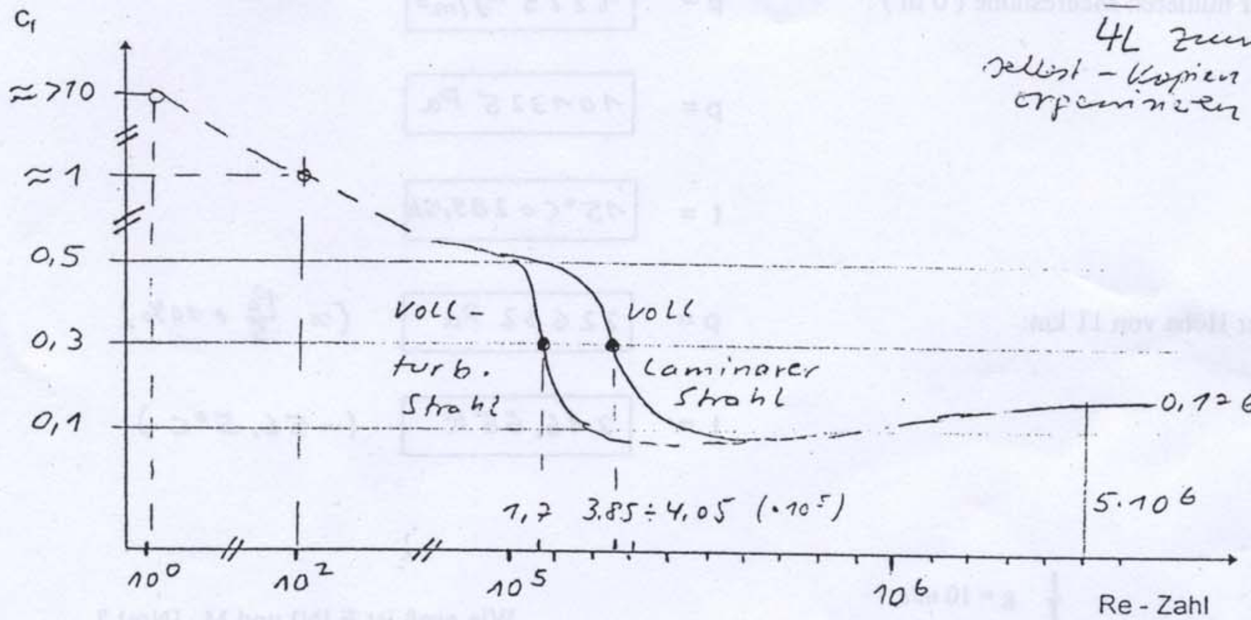
Bitte zurück an

HM - Fak. 03 (aus altem Übungsskript)

Skizzieren Sie den Widerstandsbeiwert einer Kugel für die voll laminar und voll turbulente Anströmung mit Angabe der Zahlenwerte für die jeweiligen Grenzwerte.

4L zum selbst - Kopien ergänzen



Wie stehen bei einer Modell-Hauptausführung im Wasserkanal im Maßstab 1:9 die Geschwindigkeiten v_M zu v_H im Verhältnis, wenn man einerseits die FROUDE-Zahl, andererseits das REYNOLDS - Ähnlichkeitsgesetz einhalten will ?

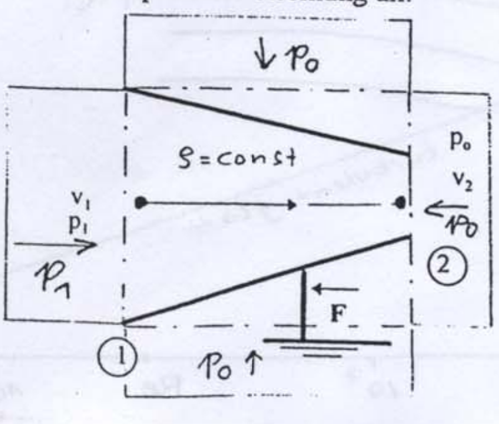
$$Re_H = \frac{v_H \cdot l_H}{\nu_H} = \frac{v_M \cdot l_M}{\nu_M} = Re_M \qquad \nu_H = \nu_M = \nu_W$$

$$\text{Reynolds-Ä.: } \frac{v_H}{v_M} = \frac{l_M}{l_H} = \frac{1}{9}$$

$$Fr_H = \frac{v_H}{\sqrt{g \cdot l_H}} = \frac{v_M}{\sqrt{g \cdot l_M}}$$

$$\text{Froude Ä.: } \frac{v_H}{v_M} = \sqrt{\frac{l_H}{l_M}} = \sqrt{\frac{9}{1}} = 3$$

Gegeben ist die skizzierte Düse. Geben Sie die drei Erhaltungssätze für reibungsfreie, inkompressible Strömung an.



Massenerh. $\dot{m}\left[\frac{kg}{s}\right] = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$

Energierh. $\frac{\rho}{2} v_1^2 + p_1 = \frac{\rho}{2} v_2^2 + p_2 \quad (H_1 = H_2)$

Impulserh.: $\dot{m}(v_1 - v_2) + p_{1\,rel} \cdot A_1 = F_{Wx}$

$\varphi_{1,2} = 0°$

$p_{2\,rel} = 0$

$F_{Wy} = 0$

Geben Sie folgende Werte (mit Einheiten) der Normatmosphäre an:

in der mittleren Meereshöhe (0 m) :

$\rho = \boxed{1{,}225\ kg/m^3}$

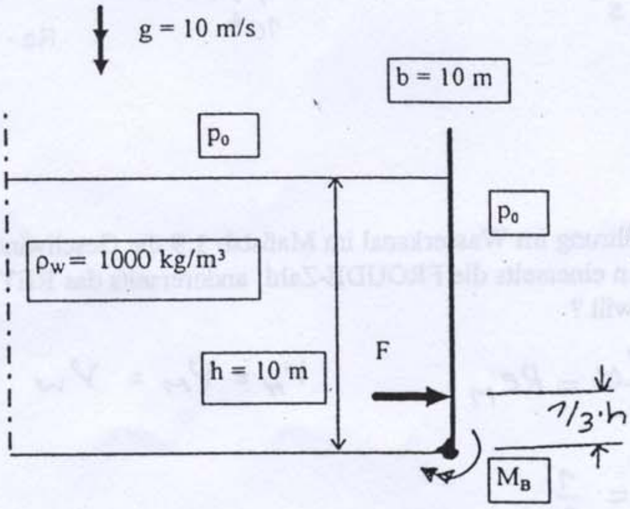
$p = \boxed{101325\ Pa}$

$t = \boxed{15°C = 288{,}15 K}$

in der Höhe von 11 km:

$p = \boxed{22632\ Pa}$ $(\approx \frac{p_0}{5} + 10\%)$

$t = \boxed{216{,}65 K}$ $(-56{,}5°C)$



Wie groß ist F [N] und M_B [Nm] ?

$|F| = \rho g h_s \cdot A$; $h_s = 5 m$

$A = b \cdot h = 100 m^2$

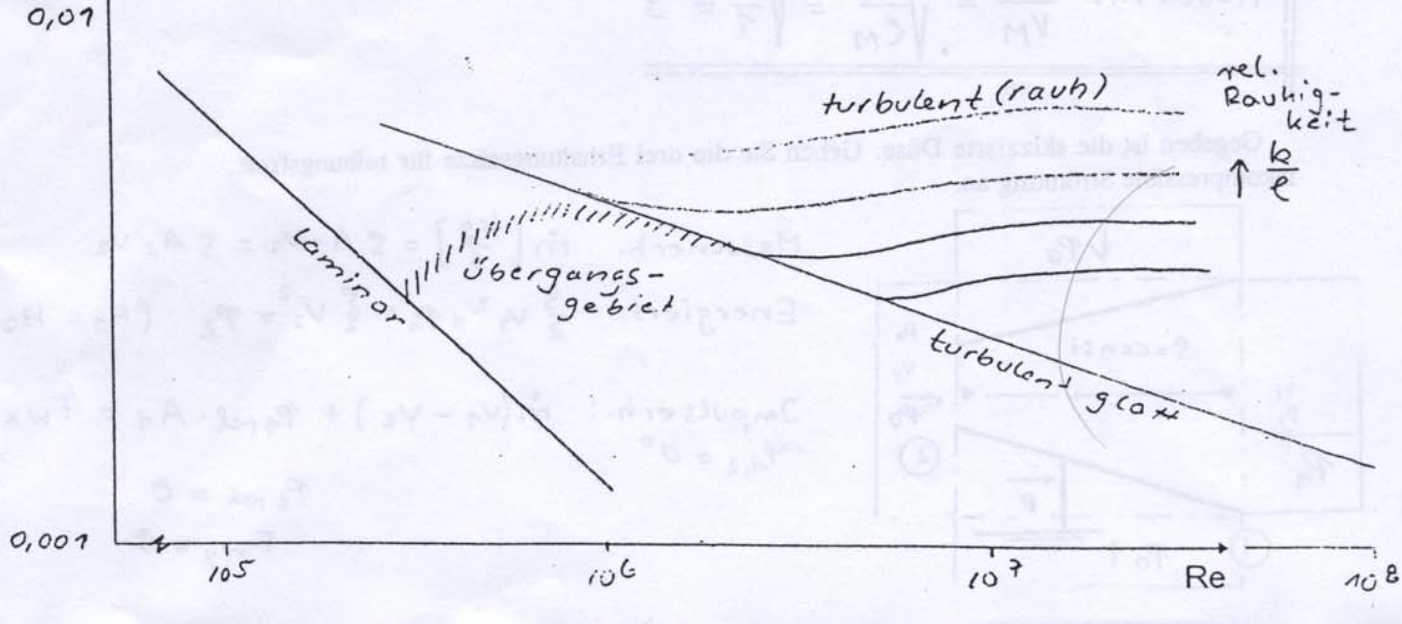
$|F| = 10^3 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^2$ $\|$ $|F| = 5 \cdot 10^6 N$

$\vec{M}_B = |F| \cdot \frac{h}{3} = 5 \cdot 10^6 \cdot \frac{10}{3}$

$\| M_B = \frac{5}{3} \cdot 10^7 Nm$

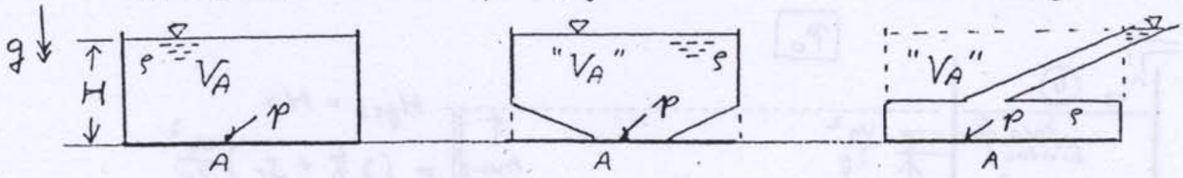
$= 1{,}6\bar{6} \cdot 10^7 Nm$

Skizzieren Sie das sogenannte Plattendiagramm (Reibungswiderstand einer ebenen Platte c_f = f (Re,rel.Rauhigkeit)) für laminare und turbulente Strömung.

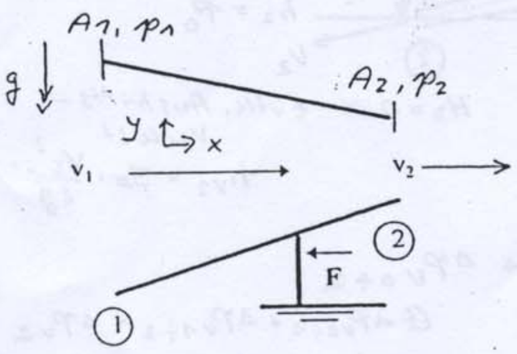


Erläutern Sie das Pascal'sche (hydrostatische) Paradoxon: V_A: (Schein-) Volumen

In allen Fällen ist $p = \rho g H$ der Druck am Boden gleich $V_A = A \cdot H$



Gegeben ist die skizzierte Düse. Geben Sie die drei Erhaltungssätze für reibungsfreie, inkompressible Strömung an.



$\rho_1 = \rho_2 = \rho$: inkompressibel

Massenerhaltung: $\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \dot{m}$

Energieerhaltung: $\rho g H_1 + p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = \rho g H_2 + p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 + \Delta p_{v1 \div 2}$ hier $= 0$

Impulserhaltung: $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$

nach rechts $\overrightarrow{F_{Wx}} = \rho A_1 v_1^2 - \rho A_2 v_2^2 + p_1 A_1 - p_2 A_2 = \overleftarrow{F}$ nach links

$F_{Wy} = 0$

Ein Zeppelin hat den c_w-Wert von 0,06 bei einer Querschnittsfläche von 100 m².
Er fährt mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h. Die Luftdichte beträgt 1 kg/m³.
Wie groß ist der aerodynamische Widerstand und die benötigte Antriebsleistung?

$W = \frac{\rho}{2} v^2 A_{Bezug} \cdot c_W$

$v = 90\ km/h : 3{,}6 = 25{,}0\ \frac{m}{s}$

$900 : 36$
72
180
$\underline{180}$

$\rho = 1$; $v = 25$; $A = 100$; $c_w = 0{,}06$

$W = \frac{1}{2} \cdot 625 \cdot 100 \cdot 0{,}06$

$= \frac{1}{\cancel{2}} \cdot 625 \cdot \cancel{6}^{3} = 1875$

$\boxed{W = 1875\ [N]}$ Widerstandskraft

bitte wenden!

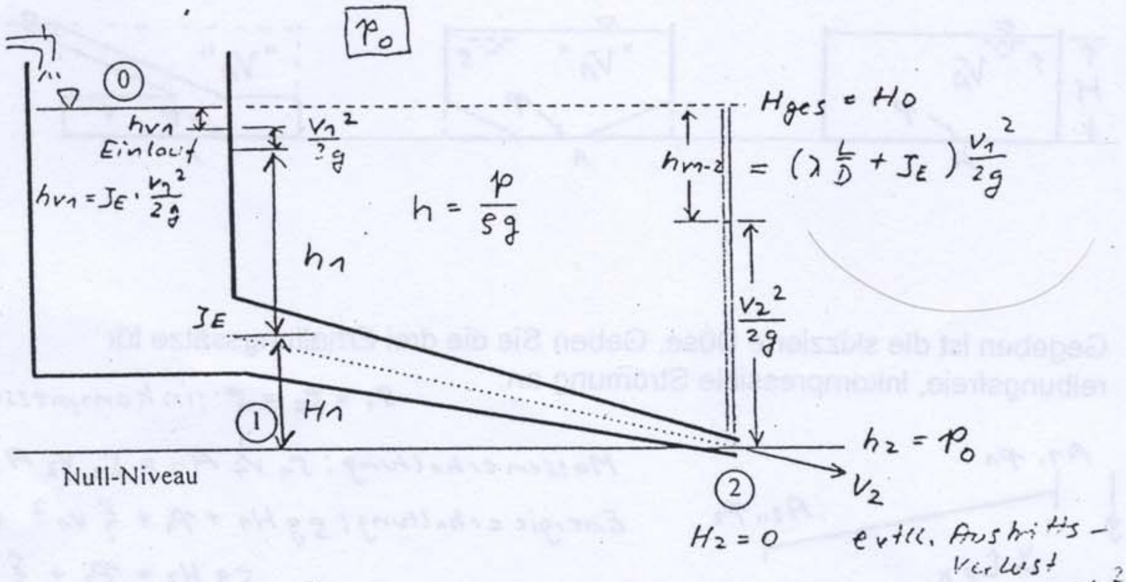
$P = W \cdot v$

$P = 1875 \cdot 25$
9375
3750
$\underline{46875}$

$P = 46875\ [W]$
$P_{A} = 46{,}9 \approx 47\ [kW]$

nicht gefragt: Ann. $\eta_{Propeller} = \frac{3}{4} = 0{,}75 \rightarrow \boxed{P_{mot} \approx \frac{4}{3} \cdot 47 = 63\ [kW] \hat{=} 85\ [PS]}$

Zeichnen Sie in den skizzierten Behälter mit Rohr die örtlichen Energie-Niveau-Höhen an den bezeichneten Stellen bei verlustbehafteter Strömung ein.



$h_{v2} = J_A \cdot \frac{v_2^2}{2g}$

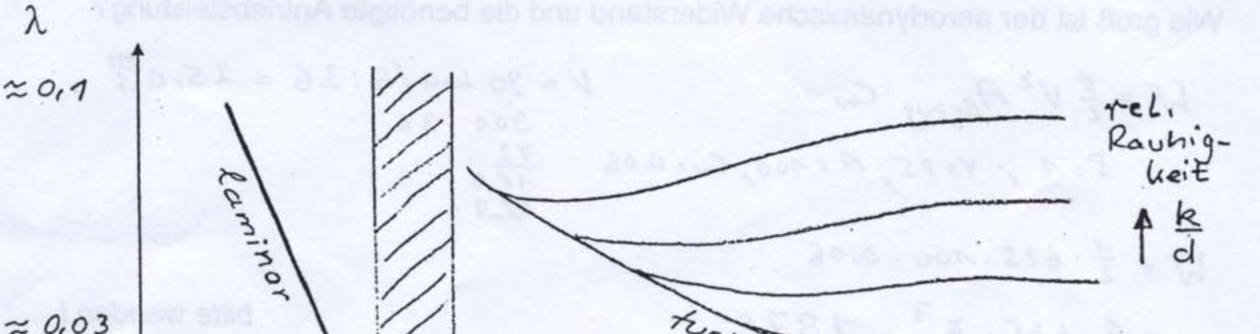
war so nicht gefragt

K' Gl. $\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$

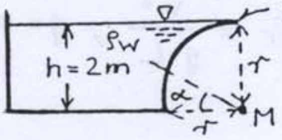
B' Gl. $H_1 + \underbrace{\frac{p_1}{\rho g}}_{h_1} + \frac{v_1^2}{2g} = \cancel{H_2}^{0} + \underbrace{\frac{p_2}{\rho g}}_{h_2} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta p_{V\,0 \div 2}$

$\triangleq \Delta p_{V0\div1} + \Delta p_{V1\div2} + \Delta p_{V2}$

Skizzieren Sie den Rohrreibungskoeffizienten λ als Funktion von Re-Zahl und Rauhheit und geben Sie die kritische Re- Zahl an.



Schätzen Sie mit $g \approx 10\ m/s^2$ und $\pi \approx 3$ die horizontale Kraft F_h, die vertikale Kraft F_v und die resultierende Kraft F auf den Viertelkreiszylinder ab. Zeichnen Sie die Wirkungslinie der Kraft ein.



$$F_h = p_m \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot b \cdot h$$

$$F_h = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \approx 20\,000\ N$$

$$\boxed{F_h \approx 2 \cdot 10^4\ N}$$

$$F_v = \rho \cdot g \cdot V_{ol}$$

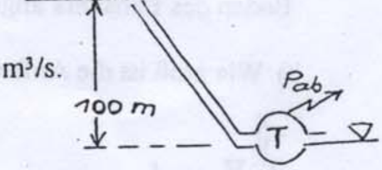
$$F_v = \rho \cdot g\,(V_{ol\,\square} - V_{ol\,\triangle}) = \rho \cdot g \cdot b \cdot (h \cdot r - \frac{\pi}{4} \cdot r^2) = 1000 \cdot 10\,(4-3)$$

$$\boxed{F_v = 1 \cdot 10^4\ N}$$

$$F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = 10^4 \cdot \sqrt{2^2 + 1^2} \qquad \boxed{F \approx \sqrt{5} \cdot 10^4\ N}$$

$$\tan\alpha = \frac{F_v}{F_h} = \frac{1}{2} \quad (\rightarrow \alpha = 26{,}6^\circ)$$

Schätzen Sie die Leistung eines Wasserturbinen-Kraftwerkes ab.



Gütegrad der Anlage : $\eta = 0.8$; $\rho = 1000\ kg/m^3$; Volumenstrom $\dot{V} = 100\ m^3/s$.

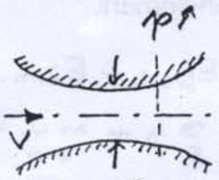
$$P_{th} = \dot{m} \cdot g \cdot h = \rho \cdot \dot{V} \cdot g \cdot h = 10^3 \cdot 10^2 \cdot 10 \cdot 10^2$$

$$\boxed{P_{th} = 10^8\ [W]}$$

$$P_{ab,Welle} = \eta \cdot P_{th} \qquad P_{ab} = 0{,}8 \cdot 10^8\ [W]$$

$$\boxed{P_{ab} = 80{,}0\ [MW]}$$

Wann und wo können beim Durchströmen eines Venturi-Rohres mit Wasser Oberflächenbeschädigungen durch Kavitation auftreten. Physikalische Begründung !



Im engsten Querschnitt wird zuerst der kritische Druck erreicht, bei dem mit $p_e = p_t = p_{kav}$ die Kavitation einsetzt.

Oberflächenerosion durch Kavitation tritt durch den Druckanstieg hinter dem engsten Querschnitt auf, da hier die Dampfblasen "kollabieren" bzw "implodieren"

Welches Ähnlichkeitsgesetz ist bei der Modellübertragung eines Schiffes einzuhalten?

i.a. FROUDE - Gesetz $Fr_M = Fr_H$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad \text{oder} \quad Fr = \frac{v^2}{g \cdot L} \; ; \; g = \text{const}$$

$$\rightarrow \frac{v_M}{\sqrt{L_M}} = \frac{v_H}{\sqrt{L_H}}$$

Welcher Temperaturverlauf liegt der Normatmosphäre bis zur Stratosphäre zugrunde?

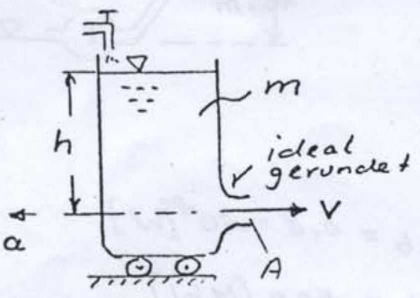
In der Troposphäre gilt nach Norm $0 \le H \le 11\,km$

Linearer Verlauf $T(H) = T_0 - \underbrace{\frac{dT}{dH}}_{-0{,}0065\,°/m \,=\, -6{,}5\,°/km} \cdot (H - H_0)$

$H_0 = 0$: $T_0 = 288{,}15\,K\ (\hat{=}\ 15°C)$

a) Wie groß ist die Geschwindigkeit beim Austritt eines Wasserstrahls aus einem bis zur konstant bleibenden Höhe h gefüllten Behälter, wenn der Ausfluß mit der Fläche A ideal rund seitlich am Boden des Behälters angeordnet ist.

b) Wie groß ist die Anfangsbeschleunigung, wenn die Masse des gefüllten Behälters gleich m ist.



Keine Reibung angenommen

Toricelli : $\underline{v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$

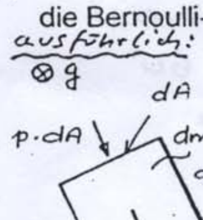
$$\left.\begin{array}{l}\text{Newton :} \quad F = m \cdot a \\ \text{Impulss. :} \quad F = \dot{m} \cdot v\end{array}\right\} m \cdot a = \dot{m} \cdot v \qquad \text{Kont.: } \dot{m} = \rho A v$$

$$m \cdot a = \rho \cdot v \cdot A \cdot v = \rho A v^2$$

$$\underline{\underline{a = \frac{1}{m} \cdot \rho \cdot A \cdot 2gh}}$$

a) Leiten Sie aus dem Energieerhaltungssatz <u>oder</u> der Kräftebilanz am Volumenelement die Bernoulli-Gleichung ρ/2 v² + p = const ab.

<u>ausführlich:</u> $\otimes g$



Newton:

$$dF = dm\frac{dv}{dt} = p\,dA - (p+dp)\,dA = -dp\,dA = -dp\frac{1}{\rho}\frac{dm}{ds}$$

$dm = \rho\, dA \cdot ds$; $dA = \frac{1}{\rho}\frac{dm}{ds}$ | $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{ds} v$

einsetzen

$$dm\frac{dv}{ds} v = -\frac{dp}{\rho} \cdot \frac{dm}{ds}$$

$$v\,dv = -\frac{1}{\rho}\,dp \quad | \int \quad | \cdot \rho$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{\rho}{2} v^2 + p = \text{const}}$$

$E_{ges} = E_{pot} + E_{kin} + E_{Druck} + E_{inn.} = \text{const}$

$$E_{ges} = \underbrace{mgz}_{=0} + \frac{m}{2} v^2 + \frac{m}{\rho} p + \underbrace{mu}_{=0} = \text{const.}$$

$\ldots \quad | \cdot \frac{\rho}{m}$

$$\rightarrow \boxed{\frac{\rho}{2} v^2 + p = \text{const.}}$$

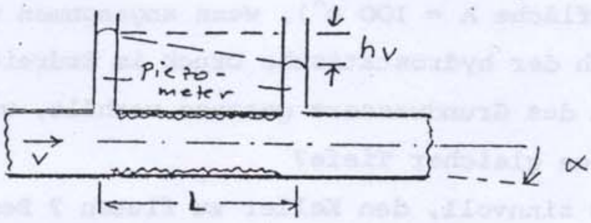
b) Was wurde bei dieser Ableitung vorausgesetzt?

stationäre, inkompressible (ρ = const), verlust-/reibungslose Strömung
Strömung
(keine Änd. der inneren Energie)
$\Delta z = 0$
(horizontale Strö.)
(keine techn. Arbeit)

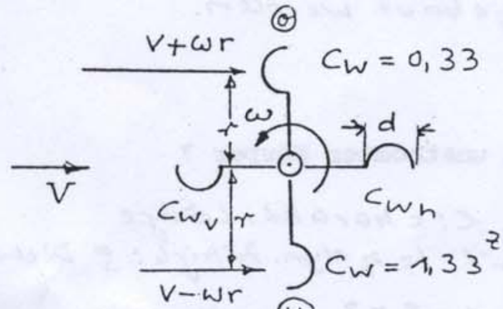
Welche Neigung muß ein langes Rohr haben, um den Verlust infolge Rohrreibung auszugleichen?

$$\tan\alpha = \frac{h_v}{L}$$

Neigung



Wie kann die Entstehung der Drehbewegung eines Schalenkreuz-Anemometers erklärt werden?



$C_{wv} = C_{wh}$!

Moment: $\overset{\curvearrowleft +}{M}$

$W_o \cdot r - W_u \cdot r = \overset{\curvearrowleft +}{M}$

z.B.: $\overset{\curvearrowleft +}{M} = +\frac{\rho}{2}(v-\omega r)^2 \cdot \frac{d^2\pi}{4} \cdot 1{,}33 - \frac{\rho}{2}(v+\omega r)^2 \cdot \frac{d^2\pi}{4} \cdot r \cdot 0{,}33$

a) Wie ist allgemein ein Beiwert definiert?

Fluidmech.: $C_F = \dfrac{F}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A_B}$

C_F Kraftbeiwert [1] $\quad \frac{\rho}{2} v_\infty^2 = q_\infty$ [Pa] Staudruck
F Kraft [N]
ρ Dichte [kg/m³]
v_∞ Geschwindigkeit der Anströmung [m/s]
A_B Bezugsfläche [m²]

b) Worin liegt der Unterschied im Widerstandsbeiwert bei

1. Reibung

$$c_f = \frac{W_R}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2\, O}$$

O benetzte Oberfläche

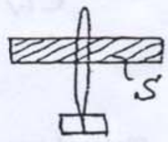
2. Straßenfahrzeug

$$c_W = \frac{W}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A_{proj}}$$

A_{proj}: projizierte Fläche (von vorne)

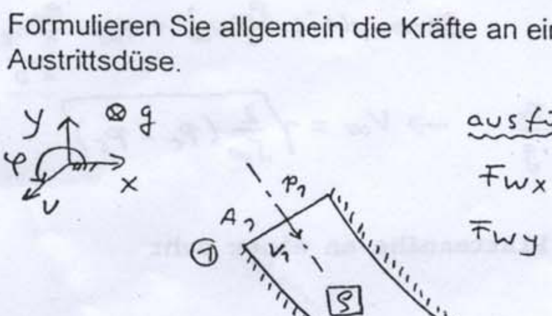
3. Luftfahrzeug

$$c_W = \frac{W}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2\, S}$$



S: proj. Flügelfläche (von oben)
"clean wing"

Formulieren Sie allgemein die Kräfte an einem durchströmten Rohrkrümmer mit Austrittsdüse.



ausführlich: $\dot V = v_1 A_1 = v_2 A_2$

$F_{Wx} = \dot V \rho (v_1 \cos\varphi_1 - v_2 \cos\varphi_2) + p_1 A_1 \cos\varphi_1 - p_2 A_2 \cos\varphi_2$

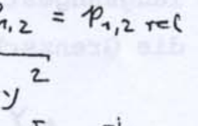
$F_{Wy} = \dot V \rho (v_1 \sin\varphi_1 - v_2 \sin\varphi_2) + p_1 A_1 \sin\varphi_1 - p_2 A_2 \sin\varphi_2$

$p_{1,2} = p_{1,2\,rel}$ i.a.

$|F_W| = \sqrt{F_{Wx}^2 + F_{Wy}^2}$

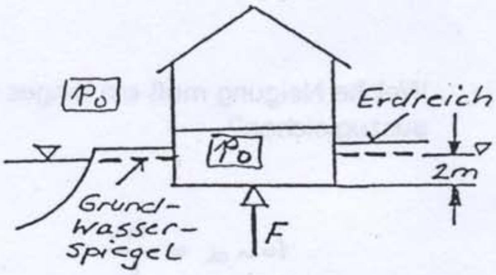
$\tan\alpha = \dfrac{F_{Wx}}{F_{Wy}}$

z.B.



Aufgrund starker Regenfälle steigt das Grundwasser bis auf 2m über Unterkante Kellerboden (vgl. Skizze).

a) Wie groß ist die Kraft F auf den Kellerboden (Kellerfläche $A = 100\ m^2$), wenn angenommen wird, daß sich der hydrostatische Druck im Erdreich im Bereich des Grundwassers genauso verhält, wie in einem See gleicher Tiefe?



b) Wäre es sinnvoll, den Keller zu fluten ? Begründen Sie Ihre Antwort.

Lsg: a) $F = p_{hydr} \cdot A = \rho g h = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 100$ ‖ $F = 1{,}962 \cdot 10^6\ N$ $= 1962\ kN$ $\approx 200\ to$

b) ja! Da die Kräfte auf die Kellermauern sehr groß sind, können diese zur Kompensation von F abgebaut werden.

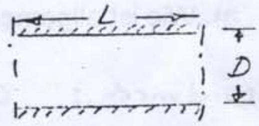
Wie sind folgende Größen definiert:

Reynoldszahl, Rohrreibungszahl, Widerstandsbeiwert umströmter Körper ?

Lsg: $Re = \frac{v \cdot \ell}{\nu} = \frac{v \cdot \ell}{\eta/\rho}$; v: Geschwindigkeit, ℓ: charakt. Länge
ν: kinem. Zähigkeit (= η dyn. Zähigk.: ρ Dichte)

$\lambda = \frac{\Delta p_V}{L/D \cdot \frac{\rho}{2} \bar{v}^2}$ z.B. Δp_V und Staudruck $\frac{\rho}{2} \bar{v}^2$ aus Messung

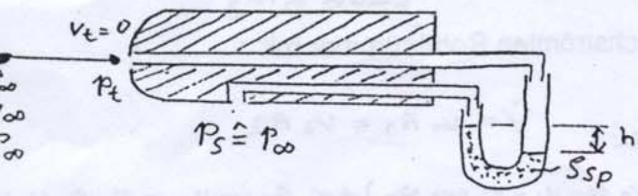
oder $\lambda = 4 c_f$ mit $\Delta p = 4 c_f \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} \bar{v}^2$
└ Reibungsbeiwert bez. auf O
$O = D \cdot L \cdot \pi$



oder Formeln z.B. $\lambda_{lam.} = 64/Re$; $\lambda_g = \frac{0{,}3164 \ldots}{\sqrt[4]{Re}}$

$c_W = \frac{W}{\frac{\rho}{2} v^2 A}$; W[N] ; $\frac{\rho}{2} v^2$ Staudruck; A Bezugsfläche
Auto A_{proj} v. vorne, Flgz: Proj. f. d. Flügel usw.

Skizzieren Sie ein Prandtl - Rohr und geben Sie an, wie man damit die Anströmgeschwindigkeit bestimmt (inkompressible Strömung) !

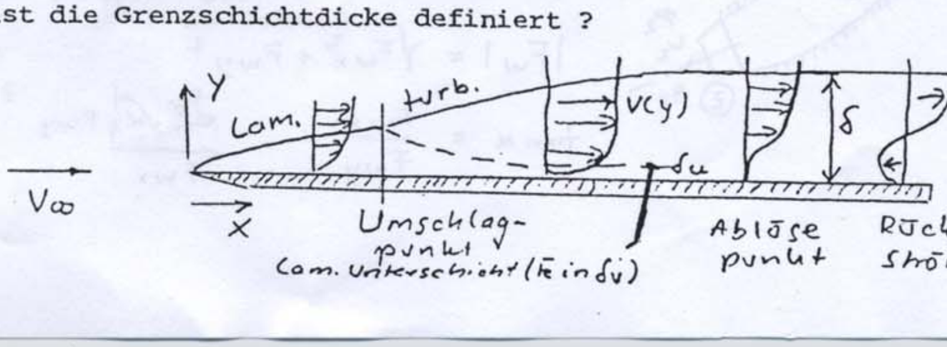


Bernoulli: $\frac{\rho_\infty}{2} v_\infty^2 + p_\infty = \underbrace{\frac{\rho_\infty}{2} v_t^2}_{=0} + p_t$

$h_{sp} = \frac{p_t - p_s}{\rho_{sp} \cdot g}$ $\rightarrow v_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho_\infty}(p_t - p_s)}$

Skizzieren Sie die Strömungsverhältnisse in Plattennähe an einer sehr langen, längsangeströmten ebenen Platte !

Wie ist die Grenzschichtdicke definiert ?

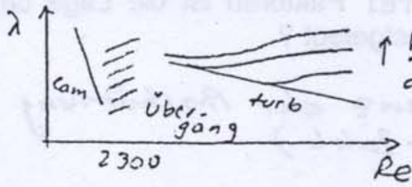


$\delta \overset{def}{=} \frac{V(y)}{V_\infty} = 0{,}99$

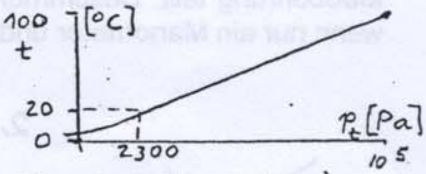
Die Rohrreibungszahl λ ist von 2 Größen abhängig. Welche Größen sind dies ?

Re - Zahl

$\frac{k}{d}$ rel. Rauhigkeit



Unter welcher Voraussetzung tritt Kavitation auf ?

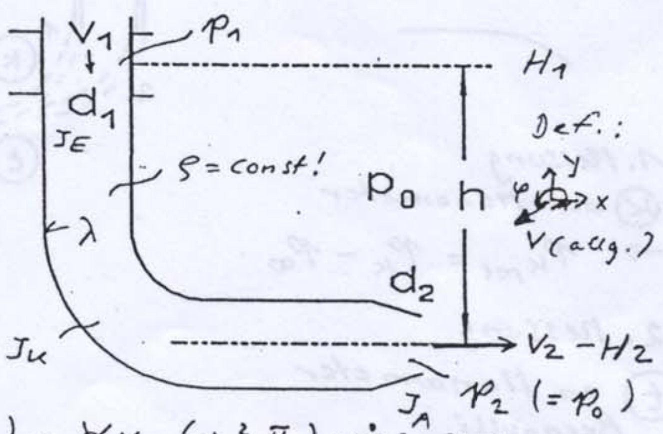


Wenn der aktuell vorhandene Druck p den Kavitationsdruck (Dampfdruck) erreicht, bzw. unterschreitet

$$p \leq p_t = p_{kav} \quad (z.B.\ 2300\ Pa\ \text{bei}\ t = 20°C)$$

Absolutdruck !

Formulieren Sie die 3 Erhaltungssätze, mit denen sich die Kräfte am gezeichneten Rohrstück mit den gegebenen Größen bei reibungsfreier Flüssigkeits-Strömung berechnen lassen.



(ausführliche Lösung)

Massenerhaltung $\cancel{\varrho} V_1 \left(d_1^2 \frac{\pi}{4}\right) = \cancel{\varrho} V_2 \left(d_2^2 \frac{\pi}{4}\right) = \dot{V}\ [m^3/s]$

Energieerhaltung $\varrho g H_1 + p_1 + \frac{\varrho}{2} V_1^2 = \varrho g H_2 + \underbrace{p_2}_{=p_0} + \frac{\varrho}{2} V_2^2 + \Delta p_{V1 \div 2}$

$$H_1 - H_2 = h$$

$\varphi_1 = 270°$

$\varphi_2 = 0°$

$$\Delta p_{V1\div 2} = \left(\lambda \frac{L}{D} + J_E + J_K + J_A\right) \frac{\varrho}{2} V_1^2$$

Impulserhaltung :

$$F_{Wx} = \dot{V} \cdot \varrho (V_1 \cdot \cos\varphi_1 - V_2 \cos\varphi_2) + p_1 \left(d_1^2 \frac{\pi}{4}\right) \cos\varphi_1 - p_2 \left(d_2^2 \frac{\pi}{4}\right) \cos\varphi_2$$

$$F_{Wy} = \dot{V} \cdot \varrho (V_1 \cdot \sin\varphi_1 - V_2 \cdot \sin\varphi_2) + p_1 \left(d_1^2 \frac{\pi}{4}\right) \sin\varphi_1 - p_2 \left(d_2^2 \frac{\pi}{4}\right) \sin\varphi_2$$

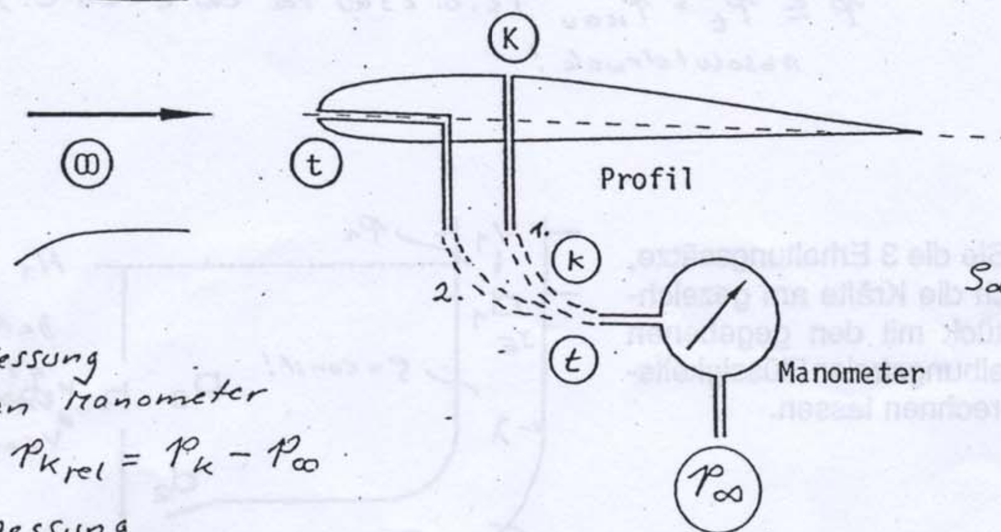
$|F_W| = \sqrt{F_{Wx}^2 + F_{Wy}^2} = |F|$; $\tan\measuredangle = \frac{\text{Sin - komp } F_W}{\text{cos - komp. } F_W}$

Durch welche drei Faktoren ist die Lage des Umschlagpunktes der Grenzschicht an einer ebenen Platte festgelegt ?

1. Turbulenz der Anströmung (v. Re-Zahl)
2. Gestaltung der Vorderkante
3. Relative Rauhigkeit am Anfang der Platte

Das gezeichnete Profil ist im Windkanal so aufgehängt, daß die Strömung sich an der vorderen Meßbohrung teilt. Bestimmen Sie den Druckbeiwert c_p an der dicksten Stelle des Profils oben, wenn nur ein Manometer und Schläuche zur Verfügung stehen.

2 Messungen machen!



offen lassen

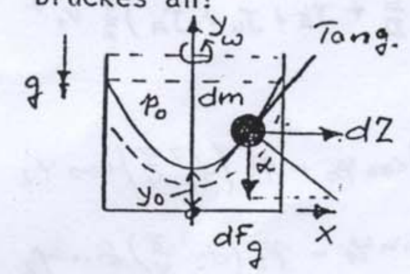
$$\rho_\infty = \frac{p_\infty}{R T_\infty}$$ wird nicht gebraucht! (sonst T_∞ messen)

1. Messung
(K) an Manometer
$\rightarrow p_{K_{rel}} = p_K - p_\infty$

2. Messung
(t) an Manometer
Bernoulli
$\frac{\rho_\infty}{2} V_\infty^2 = p_t - p_\infty$ $(V_t = 0!)$; Aus beiden Messungen folgt $c_{p_K} = \dfrac{p_K - p_\infty}{\frac{\rho_\infty}{2} V_\infty^2}$

Skizzieren Sie die Verhältnisse bei einer rotierenden Flüssigkeit!

Geben Sie die mathematische Form der Oberfläche und Flächen gleichen Druckes an!



$$\tan\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{dZ}{dF_g} = \frac{dm \cdot \omega^2 x}{dm \cdot g}$$

$$dy = \frac{\omega^2}{g} x\,dx$$

$$y = \frac{\omega^2}{2g} x^2 + y_0$$

entspr.

$$p_{rel} = p - p_0 = \rho g \left(\frac{x^2 \omega^2}{2g} + y_0 \right)$$

Rotationsparaboloide

Eine Rohrleitung mit L = 100 m und dem Durchmesser D = 1m wird verlustbehaftet ($\lambda = 0{,}01$) von Wasser mit einer Geschwindigkeit von v = 1m/s durchströmt. Wie groß ist der Druckverlust Δp_v ?

$$\Delta p_v = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} v^2 = 0{,}01 \cdot \frac{100}{1} \cdot \frac{1000}{2} \cdot 1^2$$

$$\boxed{\Delta p_v = 500\ Pa}$$

Geben Sie die Widerstandsbeiwerte c_w der aufgelisteten Körper bei horizontaler Anströmung mit Luft ($\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ m²/s) bei den gegebenen Geschwindigkeiten und einem Durchmesser der Projektionsfläche von jeweils 0,3 m an.

	v = 5 m/s	v = 50 m/s	
Kugel	≈ 0,5	≈ 0,1	
Senkrechte Kreisscheibe	1,1	1,1	≈ unabhängig von Re
Halbkugel	vorne offen 1,33 hinten " 0,33	1,33 0,33	
Aktuelles Pkw-Modell l = 1 m	≈ 0,33	≈ 0,30	z. B.

Nebenrechnung:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \qquad Re_5 = \frac{5 \cdot 0{,}3}{15} 10^6 = 10^5$$

$$\hookrightarrow Re_{50} = 10^6$$

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \qquad Re_{l_5} = \frac{5 \cdot 1}{15} 10^6 = 3{,}3 \cdot 10^5 \ ; \ Re_{l_{50}} = 3{,}3 \cdot 10^6$$

Wie sind folgende Kennzahlen definiert:

$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$ l: char. Länge ; ν: kin. Zähigkeit

$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}$ v: Strömungsgeschw.

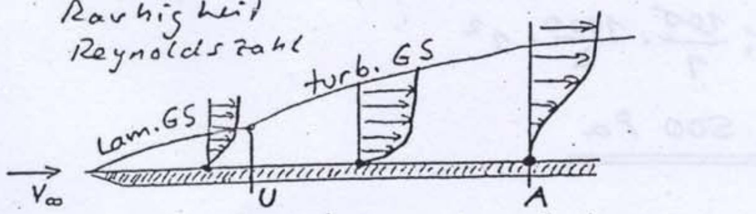
$Ma = \frac{v}{a}$ a: Schallgeschw. g: Erdbeschl.

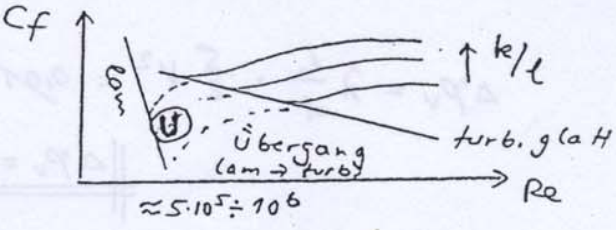
$Sr = \frac{v}{l/t}$ t: Zeit

"Eu" $= \frac{\Delta p}{\rho v^2} \;\hat{=}\; c_p = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} v^2}$ Δp: Druckdiff.

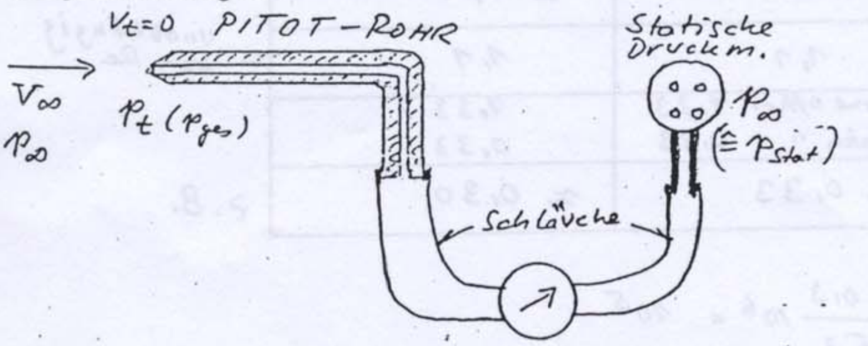
Wodurch ist die Lage des <u>U</u>mschlagpunktes und <u>A</u>blösepunktes gekennzeichnet (ebene Platte) ?

Eingangskante
Rauhigkeit
Reynoldszahl
Turbulenz der Anströ





An einem Pkw oder Flugzeug kann der Druck im Staupunkt <u>absolut</u> gemessen werden. Welche weitere Druckmessung ist nötig, um die Anströmgeschwindigkeit zu berechnen. Geben Sie die nötige Gleichung an.



Bernoulli-Gl.:

$$p_\infty + \frac{\rho}{2} V_\infty^2 = p_t + \cancel{\frac{\rho}{2} V_t^2}$$

$$V_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_t - p_\infty)}$$

oder PRANDTL-Rohr $\Delta p = p_{dyn} = p_{ges} - p_{stat}$

Warum und wie muß der abgelesene barometrische Druck eines Quecksilberbarometers korrigiert werden ? Geben Sie die Näherungslösung für eine abgelesene Länge der Quecksilbersäule von 752,5 mm bei einer Temperatur von 20°C an.
Wie groß ist der korrigierte Druck in (hPa) ?

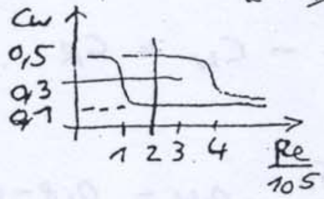
- In der Regel sind Hg-Manometer bei 0°C geeicht
- $p_{korr}(mmHg) = p(T(°C)) - \frac{T(°C)}{8}$ (Näherung)
- $p_{korr}(mmHg) = 752{,}5 - \frac{20}{8} = 752{,}5 - 2{,}5 = 750\ mm\ Hg$
- $p_{korr}(hPa) = 750 * \frac{4}{3} = 1000\ hPa$

Eine Kugel mit dem Durchmesser d = 2 cm wird von Wasser ($\nu = 10^{-6}$ m²/s) umströmt. Bei welchen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 wird $c_{W1} \equiv 0{,}5$ bzw. $c_{W2} \equiv 0{,}1$ gemessen ? Wie groß ist dabei der jeweilige Druckbeiwert des Heckbasisdruckes c_{p1} bzw. c_{p2} ? (Näherungswerte in den Teilfragen sind ausreichend !)

- $Re\,(c_{w_1}=0{,}5) \approx 1\cdot 10^5 = \frac{v_1 \cdot d}{\nu} \rightarrow v_1 = \frac{1\cdot 10^{5}}{2\cdot 10^{-2}}\cdot 1\cdot 10^{-6}$

$Re\,(c_{w_2}=0{,}2) \approx 4\cdot 10^5 = \frac{v_2 \cdot d}{\nu}$

$v_2 = \frac{4\cdot 10^{5}}{2\cdot 10^{-2}}\cdot 1\cdot 10^{-6} = 20$



$\underline{\underline{v_1 \lesssim 5\ \frac{m}{s}}}$

$\underline{\underline{v_2 \gtrsim 20\ \frac{m}{s}}}$

- $c_{p1} \leq -0{,}22$ 1 $c_{p2} \gtrsim -0{,}22$ (bis positiv!)

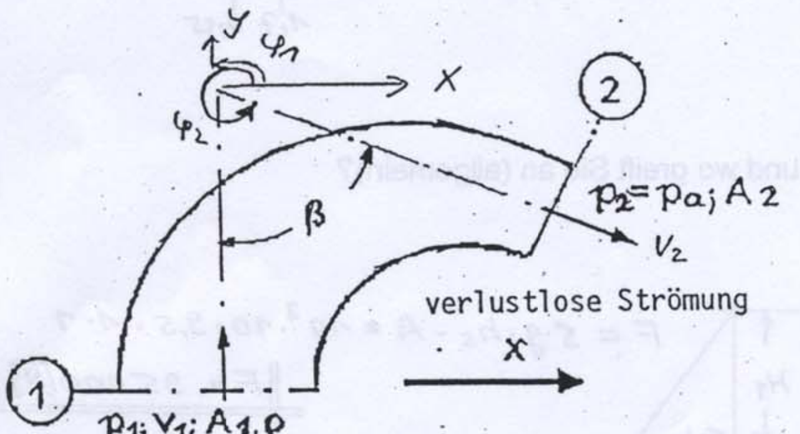
Wie groß ist Temperatur (°C) und Druck (hPa) in 0 und 11 km Höhe bei Normatmosphäre und wie heißt diese untere Schicht?

Troposphäre

ISA: 0 km: $T = 15\,°C$ $p_0 = 1013{,}25$ hPa (≈ 1000 hPa)

11 km: $T = -56{,}5\,°C$ $p_{11} = 226{,}32$ hPa (≈ 225 hPa) $\approx \frac{1}{4}p_0 - 10\%$

Berechnen Sie die Kraft in x-Richtung auf den gezeichneten Krümmer unter Verwendung der Erhaltungssätze und der angegebenen Größen .



Massenerhaltung : $v_1 A_1 = v_2 A_2 = \dot V$
$\rho = const$

Energieerhaltung : $p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 + \cancel{\Delta p_{1\div 2}}$ 0
(wird für Fwx nicht gebraucht)

Impulserhaltung nur in x-Ri

$F_{Wx} = \dot V \rho\,(v_1 \cancel{\cos\varphi_1} - v_2 \cos\varphi_2) + p_1 A_1 \cancel{\cos\varphi_1} - p_2 A_2 \cos\varphi_2$ $p_{2rel} = 0$

$\varphi_1 = 90°$

$\varphi_2 = 360 - \beta$

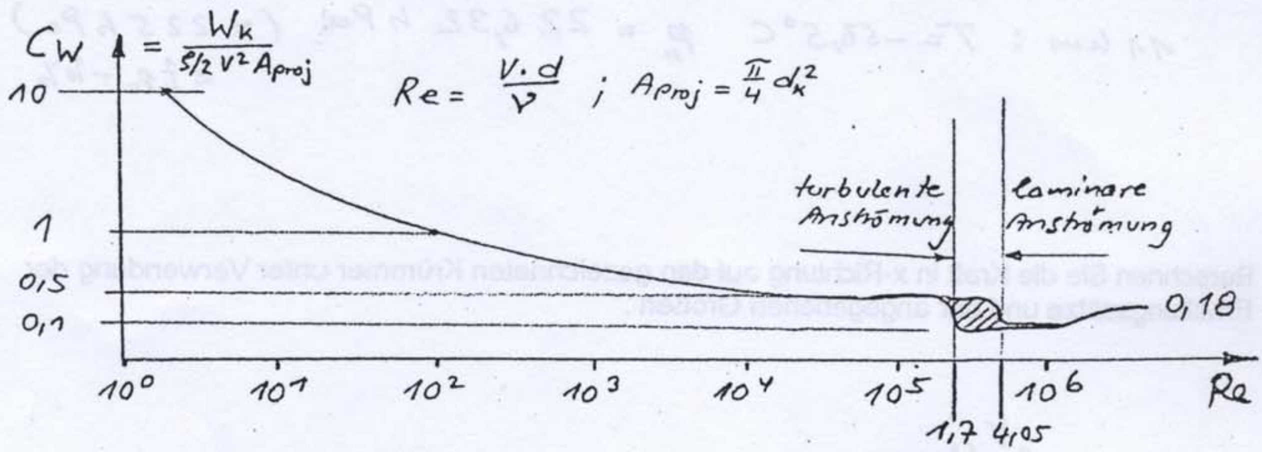
Ein kleiner Geländewagen hat $c_W = 0{,}4$ und $A_{Proj} = 2\ m^2$; er fährt konstant horizontal 180 km/h, die Dichte der Luft ist $\rho = 10/8\ kg/m^3$ und der Antriebsstrang bringt 125 kW auf die Straße. Wie groß ist der auf A_{Proj} bezogene Rollwiderstandsbeiwert ?

$$P_{Ges} = P_{Aero} + P_{Roll} = \frac{\rho}{2} V^3 \cdot A_{Proj} \, (c_W + c_R)$$

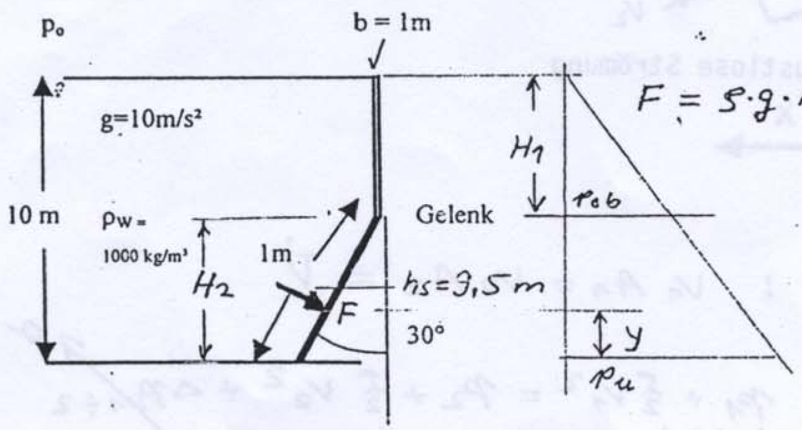
$$\frac{2 \cdot P_{Ges}}{\rho \cdot V^3 A_{Proj}} - c_W = c_R$$

$$\frac{8 \cdot \cancel{2} \cdot 125\cancel{000}}{10 \cdot \cancel{50^3} \cdot \cancel{2}} - 0{,}4 = 0{,}8 - 0{,}4 \qquad \boxed{c_R (A_{Proj}) = 0{,}4}$$

Erläutern Sie das Diagramm für den Kugel-Widerstand als Funktion der Re - Zahl.



Wie groß ist die resultierende Kraft und wo greift Sie an (allgemein)?



$$F = \rho \cdot g \cdot h_S \cdot A = 10^3 \cdot 10 \cdot 9{,}5 \cdot 1 \cdot 1$$

$$\boxed{F = 95000 [N]}$$

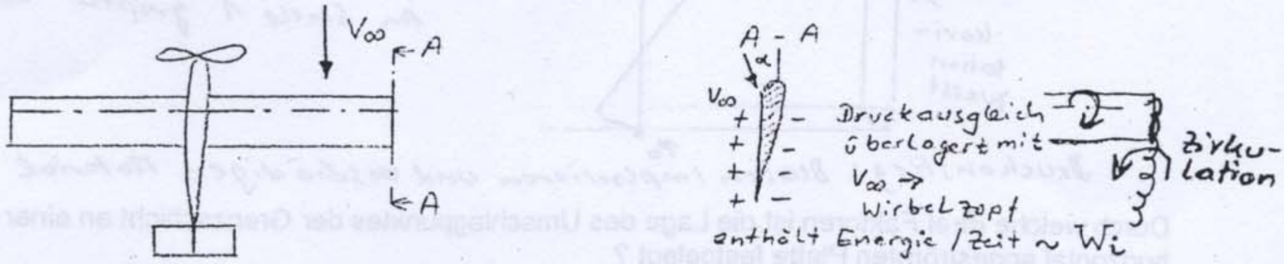
$$\text{allg.:} \quad y = \frac{H_2}{3} \cdot \frac{p_u + 2 \cdot p_{ob}}{p_u + p_o} = 0{,}43\ m \ (\text{zusätzlich})$$

zusätzlich: $H_2 = 0{,}866\ m$ $\qquad p_u = \rho g \cdot 10 = 10^5\ Pa$

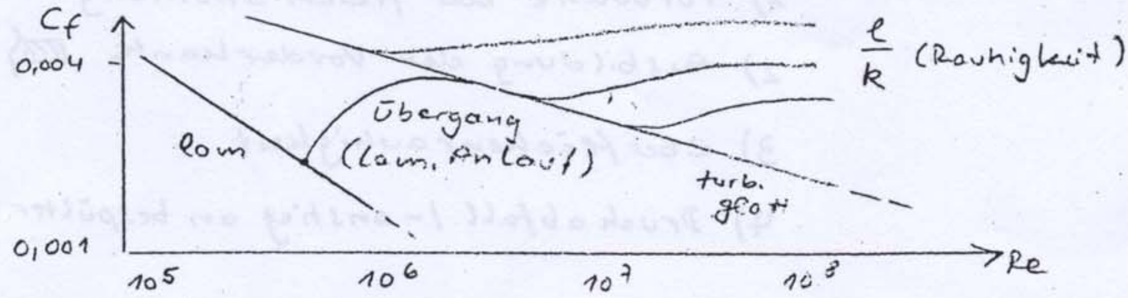
$H_1 = 9{,}134\ m$ $\qquad p_{ob} = \rho g\,(10 - 0{,}866) = 91340\ Pa$

$$y = 0{,}289 \, \frac{\cancel{\rho g} \cdot 10 + 2 \cdot \cancel{\rho g} \cdot 9{,}134}{\cancel{\rho g}\, 10 + \cancel{\rho g}\, 9{,}134}$$

Erklären Sie die Entstehung des induzierten Widerstandes am Beispiel eines Rechteckflügels.



Erläutern Sie das Diagramm für den Reibungswiderstand einer Platte als Funktion der Re - Zahl.



Schätzen Sie die theoretische Leistung eines Wasserturbinen-Kraftwerkes ab, dessen Niveaudifferenz zwischen oberen und unteren Reservoir 100 m beträgt.
Dichte = 1000 kg/m³ ; Volumenstrom = 100 m³/s.

$$P_{th} = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{Nutz} \qquad H_{Nutz} = H_{geod} - h_{Verl}$$

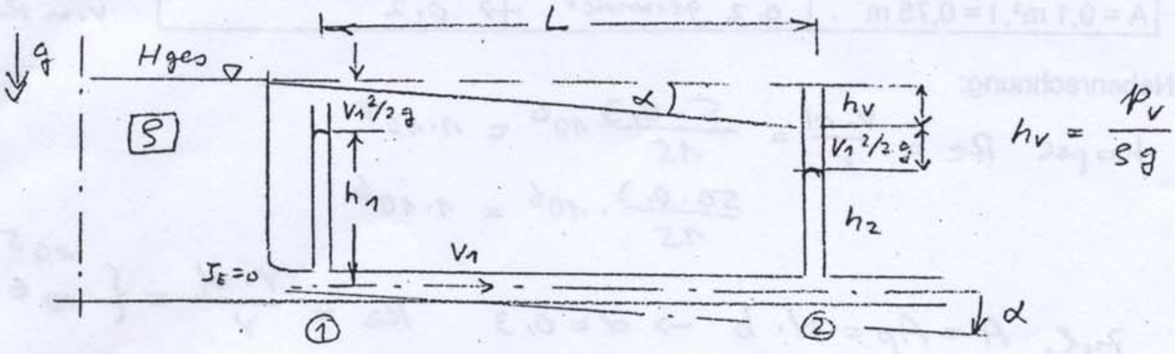
Ann. ≈ 0

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

$$\underline{\underline{P_{th}}} = 100 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 100 = 10^8\ [W]$$

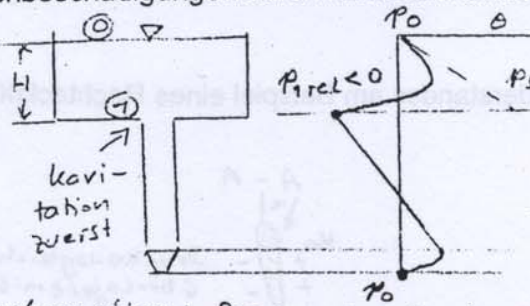
$$\underline{\underline{P_{th} = 10^5\ [kW] = 100\ MW}}$$

Welche Neigung muß ein langes Rohr haben, um den Verlust infolge Rohrreibung auszugleichen?



$$\tan\alpha = \frac{h_v}{L} \; ; \; \alpha = \arctan \frac{h_v}{L}$$

Wann und wo können beim Ausströmen von Wasser aus einem Behälter durch ein vertikales Rohr Oberflächenbeschädigungen durch Kavitation auftreten ? Wieso ?



$p_{stat} = \rho g H \quad (v_1 = 0!)$

An Stelle 1 "größter" Unterdruck

Druckanstieg: Blasen implodieren und beschädigen Material

Durch welche drei Faktoren ist die Lage des Umschlagpunktes der Grenzschicht an einer ebenen, horizontal angeströmten Platte festgelegt ?

1) Turbulenz der freien Strömung

2) Ausbildung der Vorderkante

3) Oberflächenrauhigkeit

4) Druckabfall / -anstieg an bespülter Fläche

Geben Sie die Widerstandsbeiwerte c_w der aufgelisteten Körper bei horizontaler Anströmung mit Luft ($\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ m²/s) bei den gegebenen Geschwindigkeiten

	v = 5 m/s	v = 50 m/s	
Kugel, d= 0,3 m glatte Oberfläche	≈ 0,5	≈ 0,1	
Senkrechte Kreisscheibe A = 0,1 m²	≈ 1,1	≈ 1,1	unabhängig von Re-Zahl
Zylinder, A = 0,3 m² Querangeströmt b=1m	≈ 1,1	≈ 0,4	A = b · d
Quader, A = 0,1 m², l = 0,75 m	0,85 scharfk. / 0,2 gerundet	→ 0,85 / → 0,2	fast unabh. von Re

Nebenrechnung:

Kugel $Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{5 \cdot 0{,}3}{15} 10^6 = 1 \cdot 10^5$

$\frac{50 \cdot 0{,}3}{15} \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^6$

Zyl. $A = A_P = d \cdot b \rightarrow d = 0{,}3 \qquad Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \begin{cases} 10^5 \\ 10^6 \end{cases}$

Quader $h = \sqrt{A} \approx 0{,}316 \qquad \frac{h}{l} = \frac{0{,}316}{0{,}75} = 0{,}42\ldots$

Eine quadratische Platte (a=10cm) wird im Wasserkanal mit v = 3,6 km/h angeströmt. Berechnen Sie die Reynoldszahl und den Widerstand bei laminarer Strömung ($c_f = 1{,}328\,Re^{-1/2}$).

$$V = 3{,}6\ \frac{km}{h} = 1\ m/s\ ;\quad \underline{\underline{Re}} = \frac{v \cdot a}{\nu} = \frac{1 \cdot 0{,}1}{10^{-6}} = \underline{\underline{10 \cdot 10^4}}$$

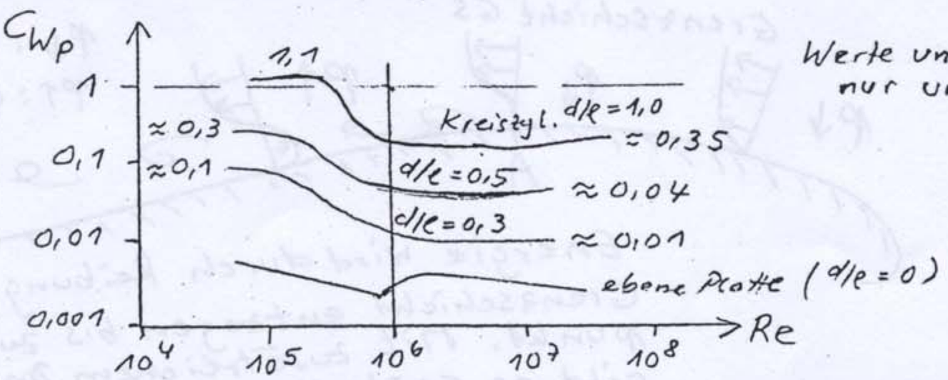
$$c_f = 1{,}328 \cdot Re^{-1/2} = 1{,}328 \cdot \left(10 \cdot 10^4\right)^{-1/2} = \frac{1{,}328}{\sqrt{10} \cdot 100}$$

$$W = \frac{\rho}{2} V^2 O\, c_f \qquad O = 2 \cdot 0{,}1^2 = 0{,}02\ m^2$$

$$\underline{\underline{c_f = 0{,}0042 \approx 4 \cdot 10^{-3}}}$$

$$W = 500 \cdot 1^2 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}0042 \qquad \underline{\underline{W \approx 0{,}042\ N}}$$

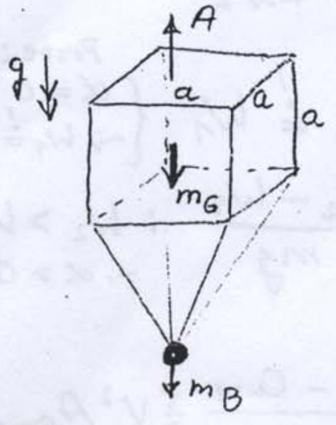
Skizzieren Sie das Diagramm für den Widerstandsbeiwert c_W für zweidimensionale elliptische Körper mit der relativen Dicke d/l = 0; 0.3; 0.5 und 1 als Funktion der Re - Zahl.



Werte und Kurven nur ungefähr

Ein quaderförmiger Heißluftballon (Kantenlänge a, Masse 500 kg) schwebt in ca. 2 km Höhe (Umgebungsdruck 800 hPa; Temperatur außen 6 °C, Temperatur innen 37 °C, Gaskonstant 287 J/kgK) stationär. Berechnen Sie die Außenluftdichte ρ_A, den Druck p_i und Dichte ρ_i im inneren des Ballons sowie dessen Kantenlänge a.

$$p_i = p_a = 80000\ Pa\ ;\quad \underline{\underline{\rho_i}} = \frac{p_i}{R \cdot T_i} = \frac{80000}{287 \cdot 310} \approx \underline{\underline{0{,}9\ \frac{kg}{m^3}}}$$



$$\underline{\underline{\rho_a}} = \frac{p_a}{R \cdot T_a} = \frac{80000}{287 \cdot 279} \approx \underline{\underline{1\ \frac{kg}{m^3}}}$$

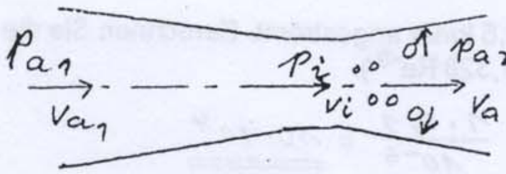
$$A = g \cdot m_G + g \cdot m_B$$

$$\rho_a \cdot \cancel{g} \cdot V_B = \cancel{g} \cdot \rho_i \cdot V_B + \cancel{g} \cdot m_B$$

$$V_B = a^3 = \frac{m_B}{\rho_a - \rho_i} = \frac{500}{1 - 0{,}9} = \frac{500}{0{,}1} = 5000$$

$$\underline{\underline{a = \sqrt[3]{5000} \approx 17{,}1\ m}}$$

Wann und wo können beim Durchströmen von Wasser durch ein Venturirohr Oberflächenbeschädigungen durch Kavitation auftreten? Geben Sie den Grund für die Entstehung dieser Beschädigung an.



p_t = temp. abhängiger Dampfdruck

Wenn $p_i \le p_t$ dann Kavitation

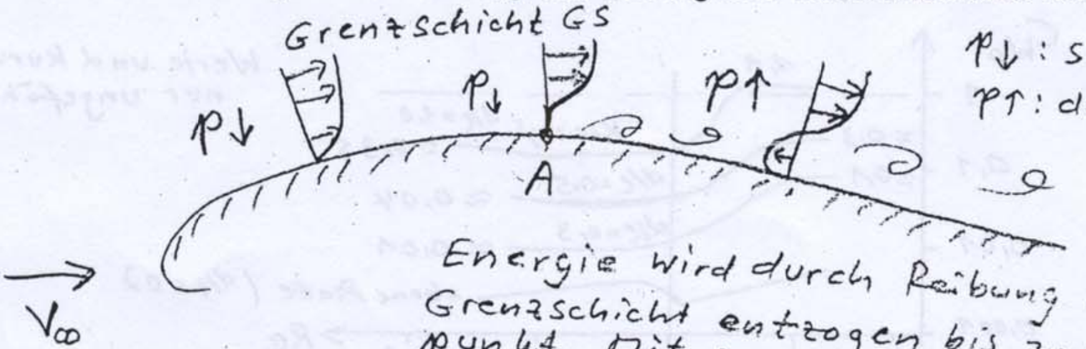
d.h. Entstehung von Dampfblasen

Bei Druckanstieg kommt es u.U. zur Superkavitation durch

Implosion der Blasen, $p\uparrow$

Wassermoleküle schießen $\perp$ zu V und beschädigen Material

Welche Voraussetzungen sind notwendig, um Ablösung beim Überströmen eines Körpers auszulösen?

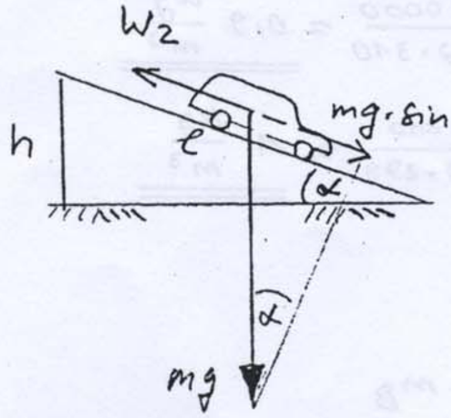


$p\downarrow$: stabilisiert GS

$p\uparrow$: destabilisiert GS

Energie wird durch Reibung in der Grenzschicht entzogen bis zum Ablösepunkt. Mit zusätzlichem Druckanstieg gibt es Strö'-/GS-Ablösung

Zwei sonst vollständig identische Pkws unterscheiden sich nur im c_W – Wert. Welches Gefälle müsste eine Straße für das aerodynamisch schlechtere Fahrzeug besitzen, damit beide bei gleicher Geschwindigkeit gleichweit fahren (allgemein)?



$$W_1 = \frac{\rho}{2} V^2 A_{proj} \cdot c_{w1} \qquad (c_{w2} > c_{w1})$$

$$W_2 = \frac{\rho}{2} V^2 A_{proj} \cdot c_{w2}$$

V gleich

$$W_2 - mg \sin\alpha \overset{!}{=} W_1$$

Probe: $\alpha = 0 \rightarrow W_1 \overset{!}{=} W_2$

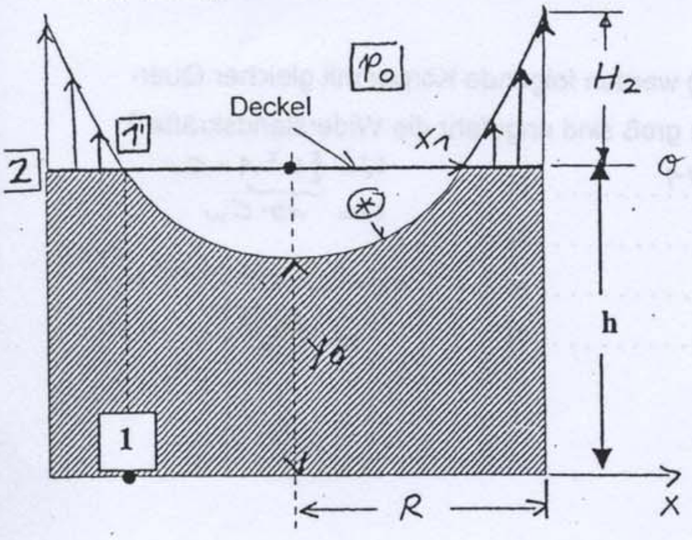
$$\sin\alpha = \frac{W_2 - W_1}{mg} \quad ; W_2 > W_1 \text{ f. } \alpha > 0$$

oder

$$\sin\alpha = \frac{c_{w2} - c_{w1}}{mg} \frac{\rho}{2} V^2 A_{proj}$$

$$\sin\alpha = \frac{h}{\ell} \approx \alpha \,[rad]$$

Zeichnen Sie die Druckverteilung der Flüssigkeit auf den Deckel des rotierenden Gefäßes ein. Wie groß ist der Druck an der Stelle 1 ?



(*) Gleichung des "Fluidspiegels"

$$y = y_0 + \frac{\omega^2}{2g} x^2$$

$$p_2 - p_1 = \rho g (H_2 - 0); \quad p_1 = p_0$$

oder

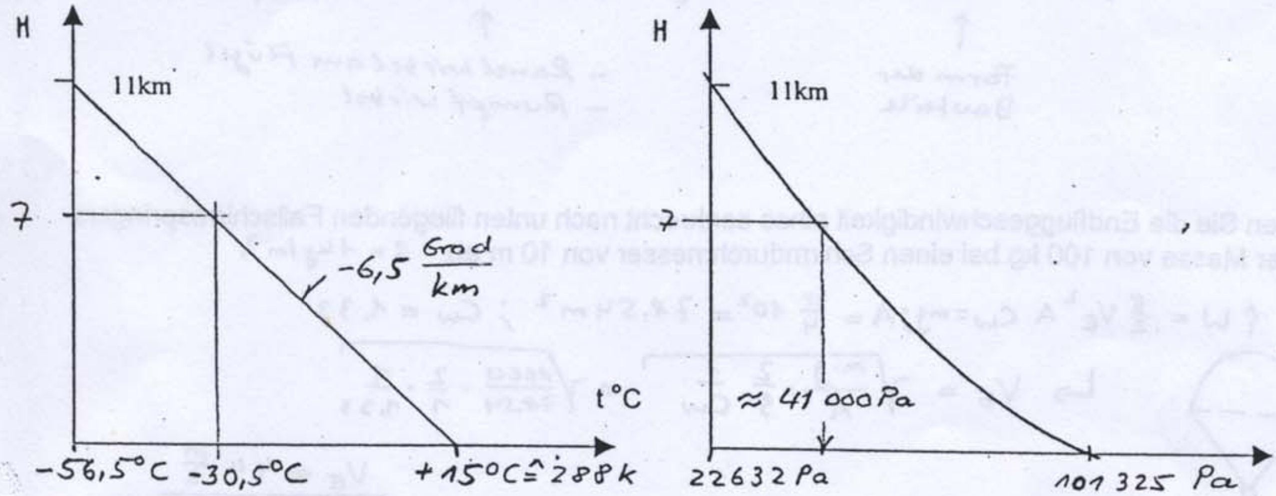
$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} \omega^2 (R^2 - x_1^2)$$

Am Boden in $\boxed{1}$

$$p_{1B} = \rho \cdot g \cdot h$$

Druck verläuft in Rot.paraboloid-flächen gleich

Tragen Sie die Temperatur- und Druckverteilung der Troposphäre an einem Normtag über der Höhe auf und geben Sie Näherungswerte für die Höhe von 7 km an.



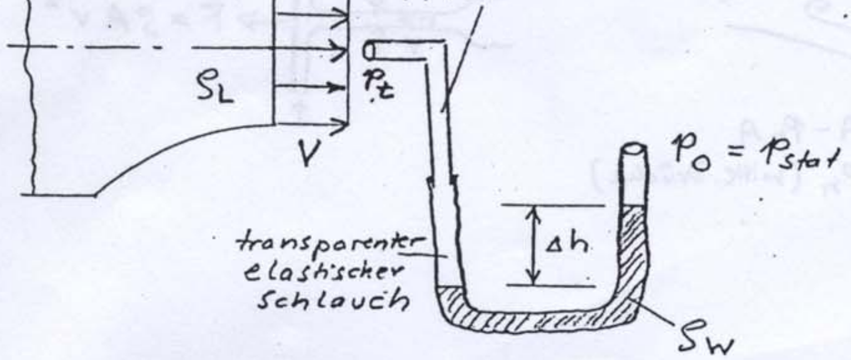
Wie kann mit Hilfe eines 90° abgewinkelten Rohres, eines transparenten elastischen Schlauches und Wasser die Geschwindigkeit eines Luftstrahles beim Austritt aus einer Düse ins Freie gemessen werden ?

Geben Sie v = f (ρ_{Wasser}, Δh; ρ_{Luft}) an .

Bernoulli $p_t + \frac{\rho_L}{2} \underbrace{v_t^2}_{0 = v_t} = p_0 + \frac{\rho_L}{2} v^2$

$$p_t - p_0 = \rho_W \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{\rho_L} \cdot \rho_W \cdot g \cdot \Delta h}$$



In einem Wasserkanal ($\nu = 1 \cdot 10^6$ m²/s, $\rho = 1000$ kg/m³) werden folgende Körper mit gleicher Querschnittsfläche A = 0,01 m² bei $v = \sqrt{2}$ m/s getestet. Wie groß sind ungefähr die Widerstandskräfte ?

$W = \frac{\rho}{2} v^2 A \cdot c_w$

$W = \underbrace{10 \cdot c_w}$

a) Senkrecht stehende Kreisplatte W_a = 10 – 11 N

b) Nach hinten offene Halbkugel W_b = 3,3 N

c) Kugel W_c = ≈ 5 N

d) Mittelklasse-Pkw W_d = ≈ 3 N

$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = 1{,}6 \cdot 10^5$ unterkrit

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 0{,}113$

Erläutern Sie die einzelnen Anteile am Strömungswiderstand eines mit 300 km/h fliegenden Flugzeugs.

↳ inkompress. Strö !

$W_{ges} = W_{Druck} + W_{Reibung} + W_{induziert} + W_{Interferenzen}$

W_{Druck}: Form der Bauteile

$W_{induziert}$:
- Randwirbel am Flügel
- Rumpfwirbel

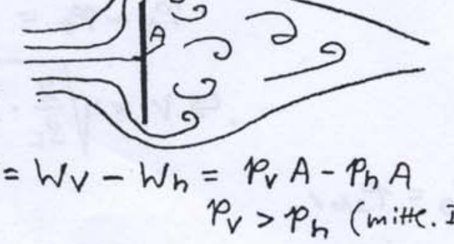
Schätzen Sie die Endfluggeschwindigkeit eines senkrecht nach unten fliegenden Fallschirmspringers mit einer Masse von 100 kg bei einen Schirmdurchmesser von 10 m ab. $\rho = 1\,kg/m^3$.

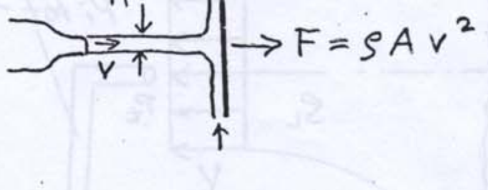
$\uparrow W = \frac{\rho}{2} V_E^2 A\, c_W = mg; A = \frac{\pi}{4} 10^2 = 78{,}54\,m^2 \; ; c_W = 1{,}33$

$\hookrightarrow V_E = \sqrt{\frac{m \cdot g}{A} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{1}{c_W}} = \sqrt{\frac{1000}{78{,}54} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{1}{1{,}33}}$

$\underline{\underline{V_E \approx 4{,}4 \frac{m}{s}}}$

Erläutern Sie den Unterschied der bei Kraftberechnung zwischen
a. Vollständiger Umströmung einer senkrechten Platte und
b. Anströmung durch einen dünnen Fluidstrahl





$W = W_V - W_h = p_V A - p_h A$

$p_V > p_h$ (mittl. Drücke)