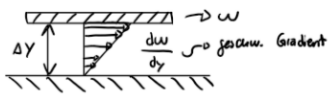


Zusammenfassung – Fluiddynamik SEP

Viskosität - Strömung zwischen zwei Platten



$$\tau = \eta \frac{w}{\delta y} \quad | \quad F_\tau = \tau \cdot A$$

η = dynamische Viskosität [Pa·s]

Generelle Viskosität

Dynamische Viskosität

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{\tau}{du/dy} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

Kinematische Viskosität

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

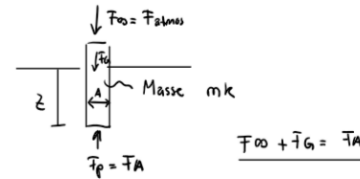
Hydrostatische Grundgleichung

$$p(z) = p_0 + \rho \cdot g \cdot z$$

$$F_{\text{Btm}} + F_G - F_P = 0$$

$$\rho_{\text{fl}} \cdot A \cdot (V \cdot g) \quad p(z) \cdot A = (p_0 + \rho \cdot g \cdot z) \cdot A$$

Archimedischer Auftrieb



$$F_{\text{G}} + F_{\text{G}} = F_A$$

U-Rohr Gleichung: $p_1 = p_2 + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$

Kontinuitätsgleichung

$$V(t) \rightarrow \text{Volumen, zeitabhängig} \quad [\text{m}^3]$$

$$\dot{V}(t) = Q \rightarrow \text{Volumenstrom} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\dot{m}(t) = \frac{dm}{dt} = \frac{\rho \cdot \delta V}{\delta t} = \rho \cdot Q \quad [\text{kg/s}]$$

$$Q = w \cdot A \rightarrow w \rightarrow \text{mittlere Geschw.} \quad [\text{m/s}]$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2$$

$$\rho_1 \cdot w_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot w_2 \cdot A_2$$

Bernoulli - Gleichung

$$\underbrace{\frac{(w_2)^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + g \cdot z_2}_{\text{Energie 1}} = \underbrace{\frac{(w_1)^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + g \cdot z_1 + w_{t12} - \varphi_{12}}_{\text{Energie 2}}$$

$$w_{t12} = \text{Veränderte techn. Arbeit} \quad [\text{W/kg}]$$

Turbine

$$w_{t12} < 0 \quad (\text{negativ})$$

Pumpe

$$w_{t12} > 0 \quad (\text{positiv})$$

Notiz:

Es kann immer mit einem positiven w_{t12} gerechnet werden

-> Lösung wird halt negativ rauskommen, bei einer Turbine (bei w_{t12})

Rohrreibungsverluste φ_{12}

$$\varphi_{12} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \rightarrow \varphi_{12} = \zeta \cdot \frac{w^2}{2}$$

-> λ über Moody-Diagramm bestimmen

Im Notfall
-> $\lambda = 0,03$ verwenden

Reynoldszahl

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\eta} = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad [-]$$

η dynamische Viskosität
 ν kinematische Viskosität

$Re \lesssim 2300 \rightarrow$ laminare Strömung // $Re \gtrsim 2300 \rightarrow$ turbulente Strömung

Mehrere Rohrreibungsquellen (mehrere Zetas)

$$\varphi_{12} = \underbrace{\zeta_E \cdot \frac{(w_E)^2}{2}}_{\text{Reibung durch Länge vernachlässigt}} + \underbrace{\zeta_K \cdot \frac{(w_K)^2}{2}}_{\text{Reibung durch Länge vernachlässigt}} + \underbrace{\lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2}}_{\text{Reibung durch Länge vernachlässigt}} + \underbrace{\zeta_A \cdot \frac{(w_A)^2}{2}}_{\text{Reibung durch Länge vernachlässigt}}$$

Wichtig:

- Immer die Geschwindigkeit (w) verwenden, welches beim gewählten Zeta (auch bei den Lambdas -> Rohrreibung) wirkt -> Beispiel Rohrnetz!
- Analog den entsprechenden Massenstrom verwenden, um die Leistung zu berechnen!

Energiesatz für inkompressible reibungsbehaftete Strömungen

$$\text{Energieform: } \frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + g \cdot z_2 = \frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + g \cdot z_1 - \varphi_{12} \quad \text{spezifische Dissipation}$$

$$\text{Druckform: } \underbrace{\frac{\rho}{2} \cdot w_2^2 + p_2}_{\text{Dynamischer Druck}} + \underbrace{\rho \cdot g \cdot z_2}_{\text{statischer Druck}} = \underbrace{\frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 + p_1}_{\text{statischer Druck}} + \underbrace{\rho \cdot g \cdot z_1}_{\text{statischer Druck}} - \underbrace{\Delta p_T}_{\text{totaler Druckverlust}}$$

$$\text{Höhenform: } \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 - h_v \quad \text{Verlusthöhe}$$

Abgegebene Leistung $P_{12} \rightarrow w_{t12}$

$$P_{12} = \dot{m} w_{t12} = \rho \cdot Q \cdot w_{t12} = \rho \cdot A_{12} \cdot w_{t12} \cdot w_{12}$$

Verlustleistung $P_{12} \rightarrow \varphi_{12}$

$$P_R = \dot{m} \cdot \varphi_{12}$$

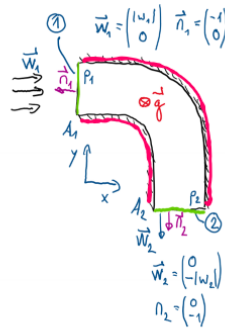
-> wirkenden Massenstrom nehmen

Impulssatz ohne Umgebungseinflüsse

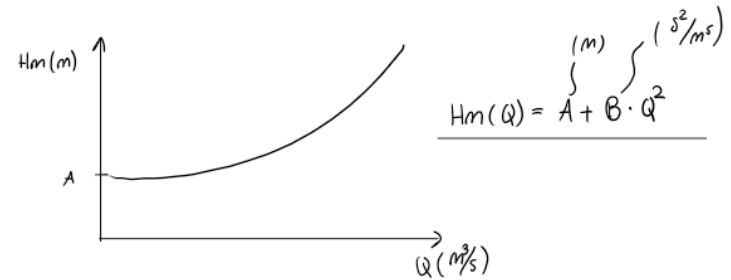
X-Richtung: $\iint_A (g w_x) \cdot \vec{w} \cdot \vec{n} \, dA = F_{Kx} - \iint_A p n_x \, dA - R_x$ $\int_{\text{off}} = 0$

Beispiel: $\rightarrow \underbrace{g \cdot w_1}_{\substack{\text{g} \cdot w_1 \\ -w_1}} (\vec{w}_1 \cdot \vec{n}_1) \cdot A_1 + g w_{2x} (\vec{w}_2 \cdot \vec{n}_2) \cdot A_2$
 $= -(p \cdot n_{1x} \cdot A_1 + p_2 n_{2x} \cdot A_2) - R_x$
 $- g w_1^2 \cdot A_1 = -(p_1 \cdot n_{1x} \cdot A_1) - R_x$
 $R_x = p_1 \cdot A_1 + g \cdot w_1^2 \cdot A_1$

Y-Richtung: $\iint_A (g w_y) \cdot \vec{w} \cdot \vec{n} \, dA = F_{Ky} - \iint_A p n_y \, dA - R_y$

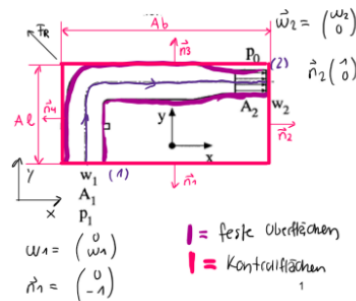


! = starr Oberflächen
 ! = freie Flächen



Impulssatz mit Umgebungseinflüssen

$\iint_A (g w_y) \cdot \vec{w} \cdot \vec{n} \, dA = F_K - \iint_A p n_y \, dA - R_y$
 $g w_{1y} (\vec{w}_1 \cdot \vec{n}_1) \cdot A_1 + g w_{2y} (\dots) \cdot A_2 =$
 $-(p_0 \cdot n_{2y} \cdot A_6 + n_{1y} \cdot p_0 \cdot (A_6 - A_1) + p_1 \cdot n_{1y} \cdot (A_1)) - R_y$



Anlagenkennlinien

Bernoulli-Gleichung in Höhenform

$\frac{(w_2)^2}{2g} + \frac{p_2}{g \cdot \gamma} + z_2 = \frac{(w_1)^2}{2g} + \frac{p_1}{g \cdot \gamma} + z_1 + H_m - H_v$ [m]

Manometrische Förderhöhe:

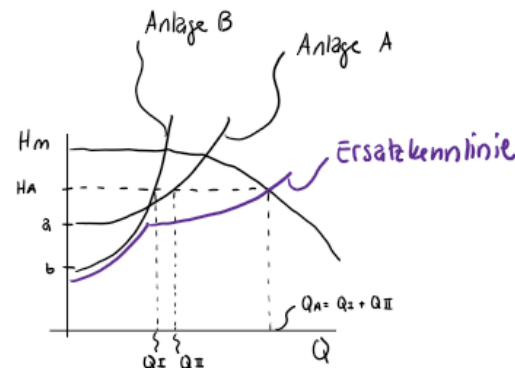
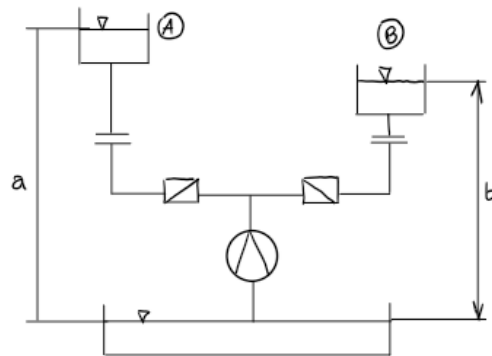
$H_m = \frac{w_2^2}{g}$ [m]

Verlusthöhe:

$H_v = \frac{\rho \cdot l}{g}$ [m]

$\rightarrow w^2 = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 = \left(\frac{Q \cdot 4}{d^2 \cdot \pi}\right)^2 = \frac{Q^2 \cdot 16}{d^4 \cdot \pi^2}$

Verzweigte Druckleitungen Pumpen



$H_A = H_I = H_{II}$

$Q_A = Q_I + Q_{II}$

(Volumenströme werden addiert)