

$$F = A \cdot \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta z} \quad \text{Dynamische Viskosität } \eta = \text{Pa} \cdot \text{s} = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{s} \right]$$

$$\text{Kinematische Viskosität } \nu = \frac{\eta}{\rho} = \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Druckkraft } d\vec{F}_{\text{Druck}} = -p \cdot dA \cdot \vec{n}$$

$$\text{Druckspannung } \vec{\sigma}_{\text{Druck}} = -p \cdot \vec{n}$$

$$\text{Schubkraft } d\vec{F}_{\text{Schub}} = \eta \cdot dA \cdot \frac{\Delta u}{\Delta y} \cdot \vec{t}$$

$$\text{Schubspannung } \tau_{\text{Schub}} = \eta \cdot \frac{\Delta u}{\Delta y} \cdot \vec{t}$$

$$\text{Reynoldszahl } Re = \frac{\rho \cdot w \cdot D}{\eta} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$p(z) = p_0 + \rho_{\text{fluid}} \cdot g \cdot z \quad \text{Normaldruck } p_0 = \text{bar} \quad (1 \text{ bar})$$

$$\vec{F}_{\text{Pres}} = [p(z_s) - p_e] \cdot A = \rho \cdot g \cdot z_s \cdot A$$

$$\vec{F}_{\text{Px}} = \rho \cdot g \cdot z_s \cdot A \cdot \cos(\alpha) = p_s \cdot A_x$$

$$\vec{F}_{\text{Pz}} = \rho \cdot g \cdot z_s \cdot A \cdot \sin(\alpha) = p_s \cdot A_z$$

Alle 10m Steigt druck um 1bar!

$$P(1000\text{m}) = 10 \text{ bar}$$

Pumpe

$$\Delta P_p = \frac{W_{p, \text{Netz}} \cdot \eta_p}{\dot{V}_F} = \frac{\eta_p \cdot \Delta P_{\text{Netz}}}{\Delta P_{p,v}}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

$$\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Energiestrom } \dot{E} = \dot{Q} = p \cdot \dot{V}$$

$$\text{Impulsstrom } \dot{p} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{s}} \right) \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$F_x = \dot{p}_x = \rho \cdot u \cdot \dot{V} \quad \text{Leistung } PS \cdot 0,735 = \text{kW}$$

$$\left(\text{N} \right) \left(\frac{\text{Ns}}{\text{s}} \right) \left(\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Rohrströmung

Lange gerade Rohrleitung

$$\Delta P_{\text{vi}} = \xi_i \cdot \frac{\rho \cdot v_i^2}{2} = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_i}{A_i^2} \cdot \dot{V}_i^2$$

$$\xi_{\text{Ri}} = \lambda_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \quad \text{länge}$$

$$\text{Durchmesser}$$

$$\text{Blasius } \lambda = \frac{0,316}{\sqrt{Re}} \quad \text{Rohrreibungsbeiwert } \lambda$$

$$\text{Prandtl } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8$$

$$\text{Colebrook } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log \left(\frac{2,47}{d} + \frac{18,7}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\text{Kármán } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log \left(\frac{2,47}{d} \right)$$

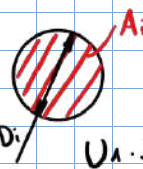
$$\text{Dichte } \rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{V Strömung } v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$\text{Durchmesser } D = \text{m}$$

$$\text{Dyn. Viskosität } \eta = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$\text{Kin. Viskosität } \nu = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$



$$A_i = \frac{D_i^2 \cdot \pi}{4}$$

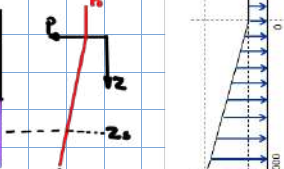
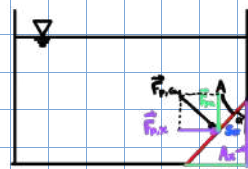
$$v_1 \cdot D_1^2 = v_2 \cdot D_2^2$$

$$v_2 = v_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$\dot{V}_1 = v_1 \cdot A_1$$

$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \frac{1}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\sum_i \dot{m}_i = \frac{\Delta M}{\Delta t}$$

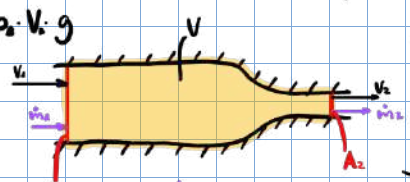


$$p(z) = p_0 + \rho \cdot g \cdot z$$

$$\text{Gewicht } F_G = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g$$

Turbine

$$\Delta P_T = \frac{W_{T, \text{Netz}}}{\eta_T \cdot \dot{V}_T} = \frac{\Delta P_{T,v}}{\eta_T}$$



$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \quad v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad U_i \cdot A_i = \text{const} \quad \text{Kontinuitätsgleichung}$$

Vergleichsdurchmesser

$$D_H = 4 \cdot \frac{A}{U}$$

$$Re < 2300 = \text{Laminar} \rightarrow \lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\Delta P_v = \Delta P_p$$

$$\text{Spezifische Dissipation } \bar{e}_v = \frac{\Delta P_v}{\rho}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

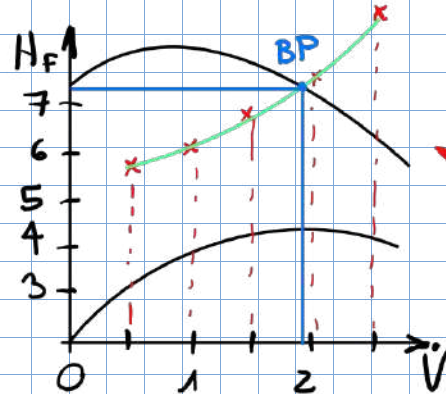
$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$\frac{\rho \cdot v_i^2}{2} + \rho \cdot g \cdot H_i + p_i + \Delta P_p = \frac{\rho \cdot v_e^2}{2} + \rho \cdot g \cdot H_e + p_e + \Delta P_v$$

Anlagenkennlinie:

$$\Delta P_p = \rho \cdot g \cdot H + \Delta P_v$$



$\dot{V}$	H_F
0.5	5.17
1.0	5.68
1.5	6.53
2.0	7.71
2.5	9.24

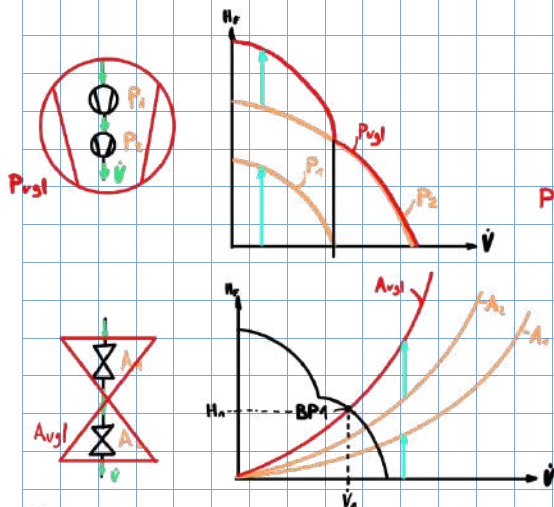
Wenn Volumenstrom Unbekannt:
Anlagenkennlinie nach H_F umstellen
Verschiedene Werte für $\dot{V}$ einsetzen
Punkte in Diagramm einzeichnen
Schnittpunkt = Betriebspunkt

Anlagenkennlinie

$$\Delta P_p = \rho \cdot g \cdot (H_1 - H_2) + c_2 \cdot \dot{V}^2$$

Hohe Drücke (Vertikales Addieren)

Serienschaltung ↓



Pumpen H_F = Förderhöhe

$$\dot{W}_{P,F} = \eta_P \cdot \dot{W}_{Pumpe}$$

$$P_{mech} \left(\frac{J}{s} \right) = \Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right) \cdot \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$V = \frac{4 \cdot \dot{V}}{D^2 \cdot \pi}$$

Druckdifferenz $\Delta P_{p,0el} = \rho_{0el} \cdot g \cdot H_F$

Kupplungsleistung $P_{Kupplung} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_F \cdot \dot{V}}{\eta_P} [W]$

Maximaler Volumenstrom?
Energiesatz → Druckverlustterm
Geschw ohne verluste → Toricelli
Re + k/d im Moody Diagram eintragen
λ-Wert herausfinden
Volumenströme berechnen

Zeta Wert herausfinden

3. Widerstandsziffer der Anlage (Zeta_A) ohne Ventil herausfinden:

$$B_{A1} \quad \Delta p_{p,1} = \xi_A \cdot \frac{\rho \cdot c_1^2}{2} \rightarrow \Delta h_{p,1} = \xi_A \cdot \frac{\dot{V}_1^2}{2 \cdot g \cdot A^2}$$

$$\xi_A = \frac{2 \cdot g \cdot A^2 \cdot \Delta h_{p,1}}{\dot{V}_1^2}$$

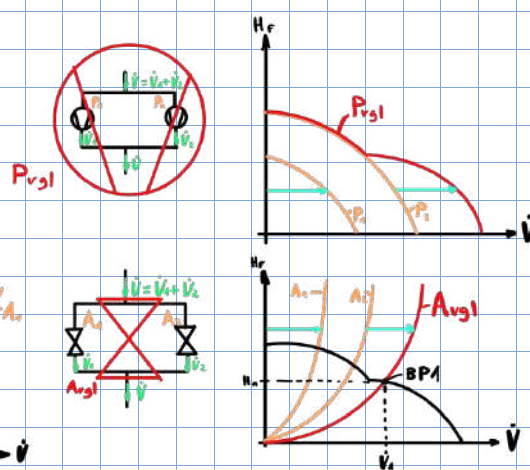
4. Widerstandsziffer des Ventils (Zeta_V) herausfinden:

$$B_{A2} \quad \Delta h_{p,2} = (\xi_A + \xi_V) \cdot \frac{\dot{V}_2^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \rightarrow \xi_V = \Delta h_{p,2} \cdot \frac{2 \cdot g \cdot A^2}{\dot{V}_2^2} - \xi_A$$

$$\Delta P_p = \rho \cdot g \cdot (H_1 - H_2) + \frac{\rho}{2} \left[\sum_i \left(\frac{\xi_i}{S_i} + \lambda_i \frac{D_i}{L_i} \right) \cdot \dot{V}^2 \right]$$

Hohe Volumenströme

Parallelschaltung (Horizontales Addieren) ←



$$10^6 = 1'000'000$$

$$10^{-4} = 0.0001$$

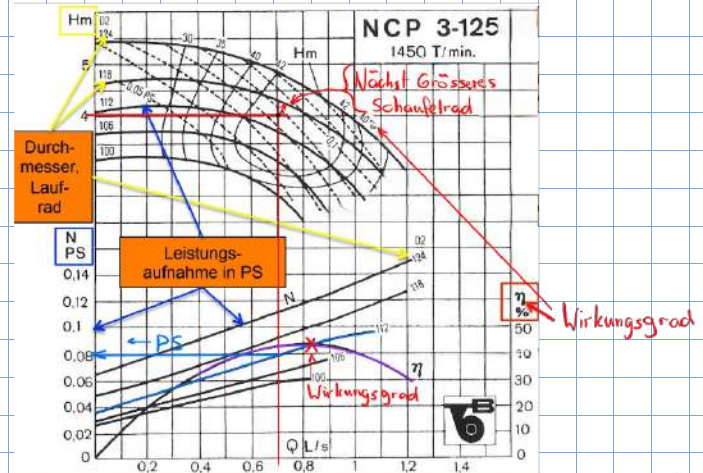
$$\text{Toricelli: } v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

→ Re

λ	V	Re	f-Methode

$$0 = 1.74 - 2 \cdot \log \left(\frac{2.5}{d} + \frac{18.7}{Re \sqrt{\lambda}} \right) - \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

λ	
0,015	0,16
0,013	-0,458
0,015	0,0187



$$P_1 + \rho \cdot g \cdot H_1 + \frac{\rho \cdot \dot{V}_1^2}{2} + \Delta P_p = P_2 + \rho \cdot g \cdot H_2 + \frac{\rho \cdot \dot{V}_2^2}{2} + \Delta P_v$$

Vergleichspunkte sinnvoll wählen

$$\text{Diffusor } \xi_D = (1 - \eta_D) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]$$

$$|F_s| = \sqrt{F_E^2 + F_A^2}$$

$$\vec{F}_W = V \cdot \dot{m} = \Delta P \cdot A$$

