

Fahrzeugmechatronik I

Aktoren



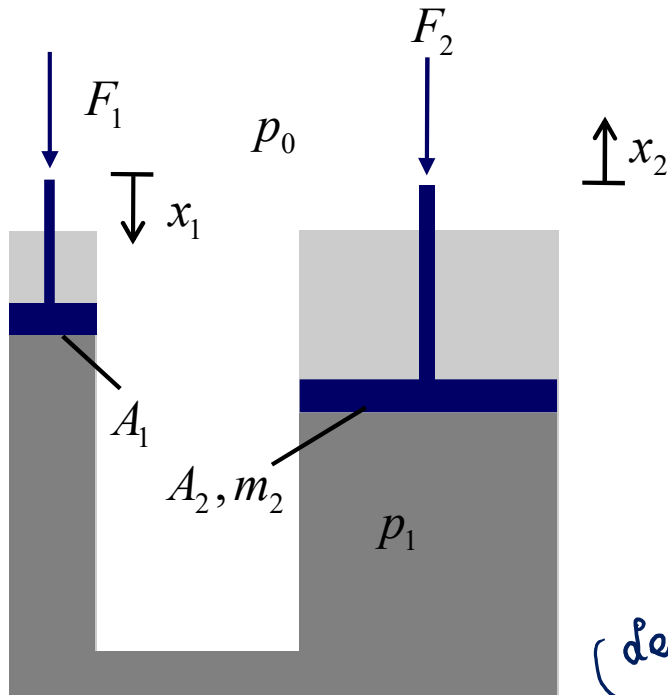
Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller

M.Sc. Osama Al-Saidi

Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin

Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Translatorische Energiewandlung



Kontinuitätsgleichung

$$\dot{V} = A_1 \dot{x}_1 = A_2 \dot{x}_2 \Rightarrow \frac{\dot{x}_2}{\dot{x}_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

Geschw.-
übersetzung
hydraul.
Getriebe

Statisches GG

$$F_1 = \Delta p A_1 \quad \text{mit} \quad \Delta p = p_1 - p_0$$

$$F_2 = \Delta p A_2$$

$$\Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad \text{Kraftübersetzung}$$

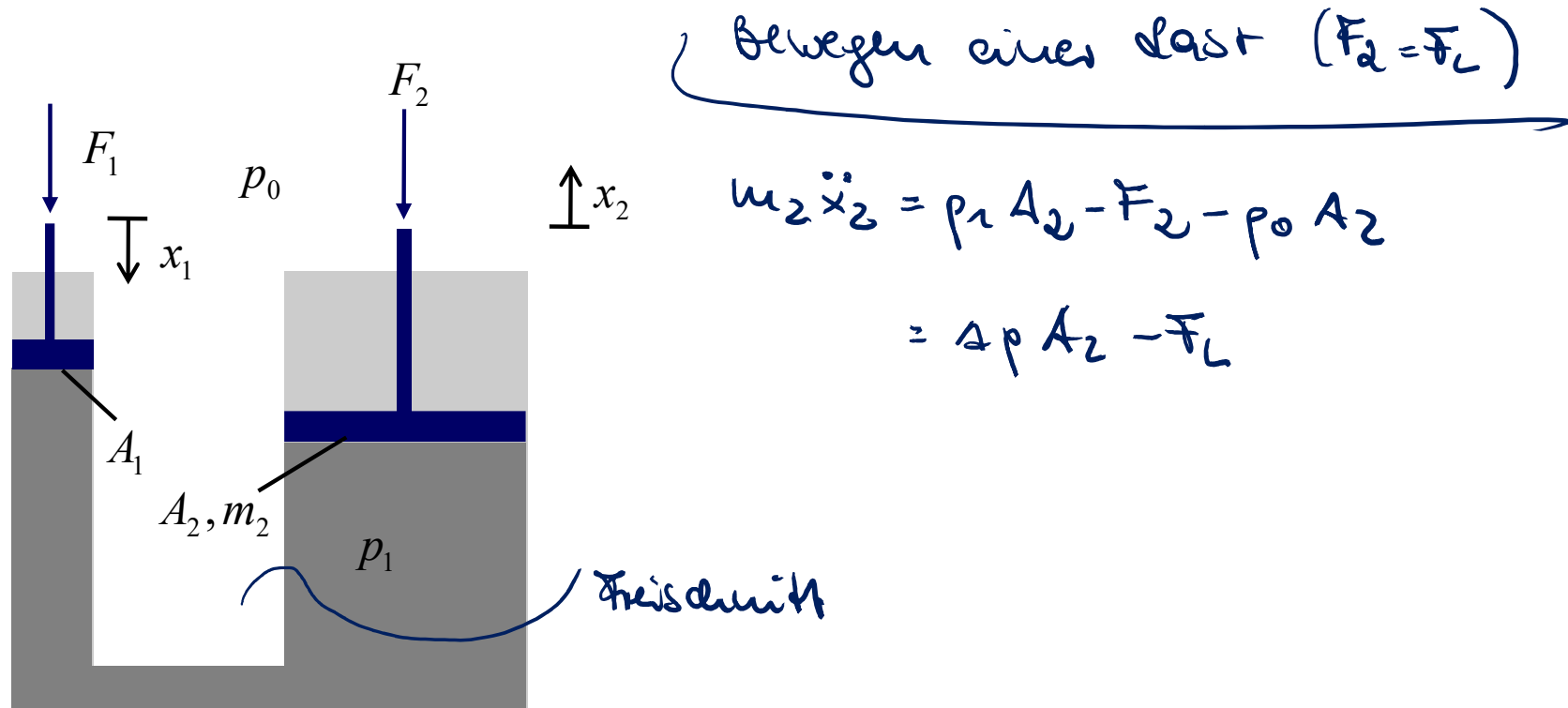
hydraul.
Getriebe

Leistungsbeitrag (ohne Verluste)

$$P = F_1 \dot{x}_1 = F_2 \dot{x}_2 = \Delta p \dot{V}$$

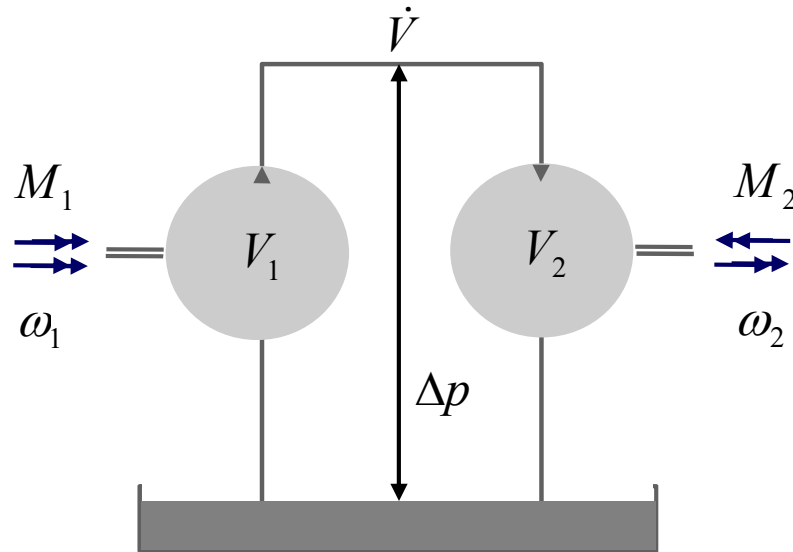
Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Mathematisches Modell des Schubmotors



Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Rotatorische Energiewandlung



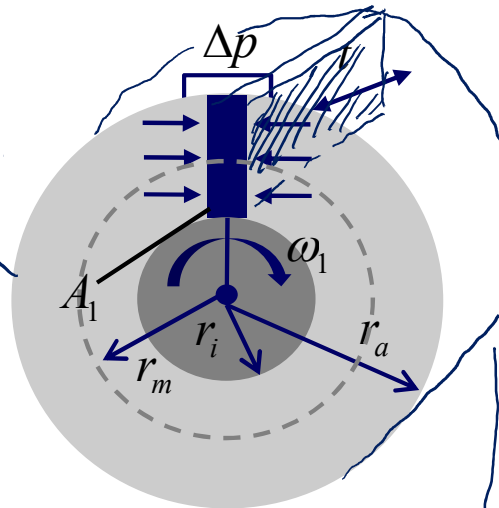
Kontinuitätsgleichung

$$V_1 = t (\pi r_a^2 - \pi r_i^2) = t \pi (r_a + r_i)(r_a - r_i)$$

$$= \pi (r_a + r_i) A_1 = 2 A_1 \pi r_m$$

$\nwarrow \nearrow$
 $\hat{=} 360^\circ$

V_1 : theoretisches bzw.
geometrisches
Förder Volumen
oder
Schneidervolumen



$$dV_1 = A_1 r_m d\varphi_1$$

$$\dot{V}_1 = A_1 r_m \omega_1 = A_1 r_m d\varphi_1 / dt$$

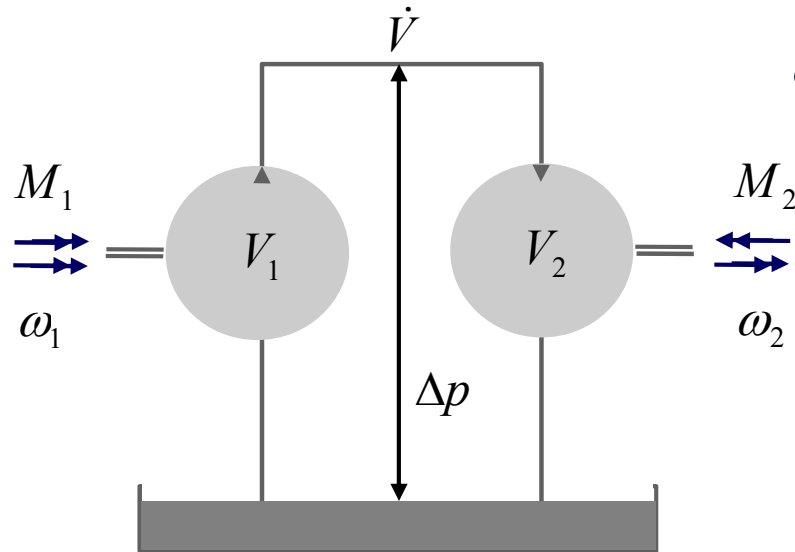
$$\dot{V}_1 = n_1 V_1 \quad \text{Mit } \dot{V}_1 = \dot{V}_2 \text{ folgt}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Drehzahlübersetzung des
hydraul. Getriebes

Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Rotatorische Energiewandlung

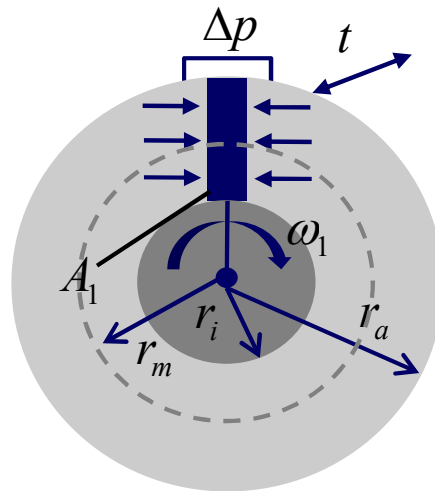


Leistungsbilanz (ohne Verluste)

$$\eta_1 \omega_1 = \eta_2 \omega_2$$

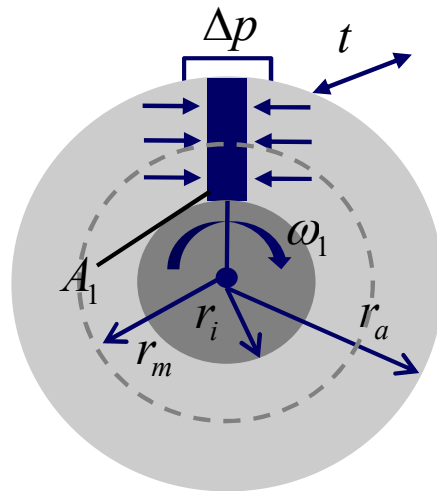
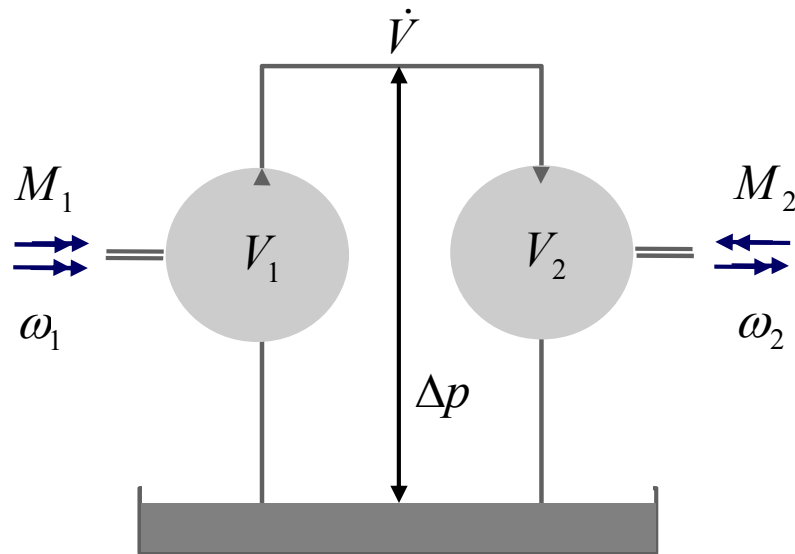
$$\frac{\Delta p V_1}{2\pi} \omega_1 = \Delta p V_2 \omega_2$$

$$\Delta p \dot{V}_1 = \Delta p \dot{V}_2 = \Delta p \dot{V}$$



Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Rotatorische Energiewandlung



Statisches GG

$$M_1 = \sigma_m \Delta p A_1 = \Delta p \frac{V_1}{2\pi}$$

$$M_2 = \frac{\Delta p V_2}{2\pi}$$

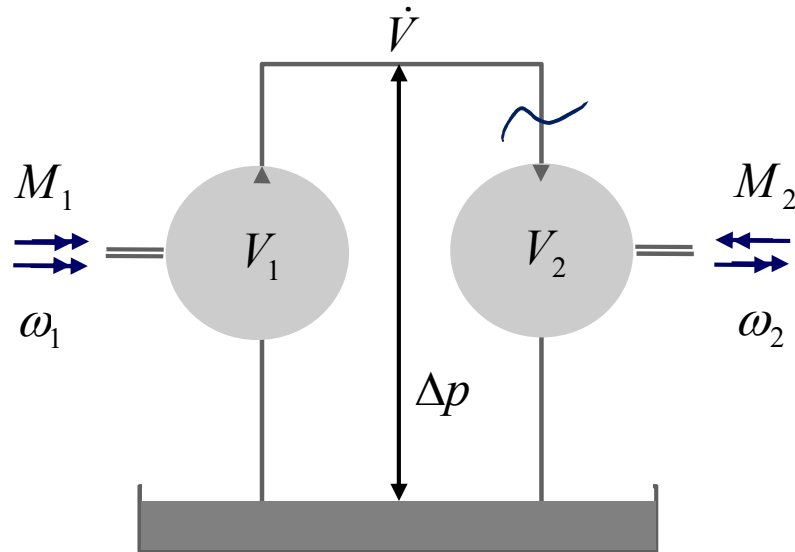
hieraus folgt

$$\boxed{\frac{M_1}{M_2} = \frac{V_1}{V_2}}$$

Momentenübertragung des
hydraul. Getriebe

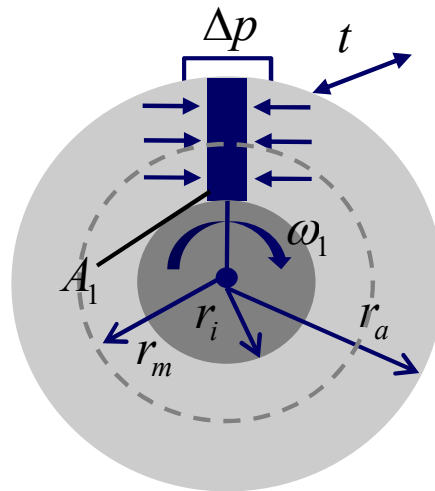
Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Mathematisches Modell des Drehmotors



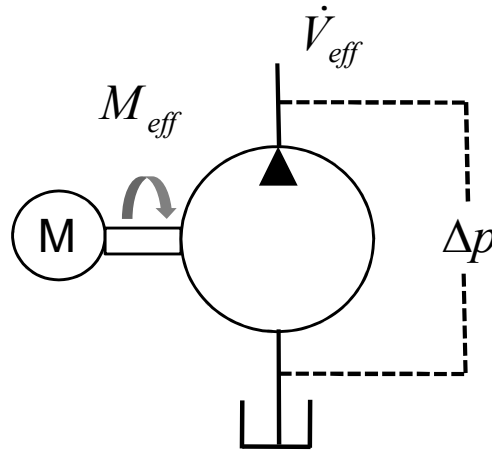
Bewegungsgleichung bei
last ($M_2 = M_L$)

$$J_M \dot{\omega}_2 = -M_L + \frac{V_2 \Delta p}{2\eta}$$



Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Wirkungsgrad der rotator. Energiewandlung



Gleit- und Flüssigkeitsreibung

$$\eta_{eff} > \eta_{theo} = \frac{\Delta p V}{2\pi} \Rightarrow \eta_{hm} = \frac{\eta_{theo}}{\eta_{eff}}$$

Leerdege

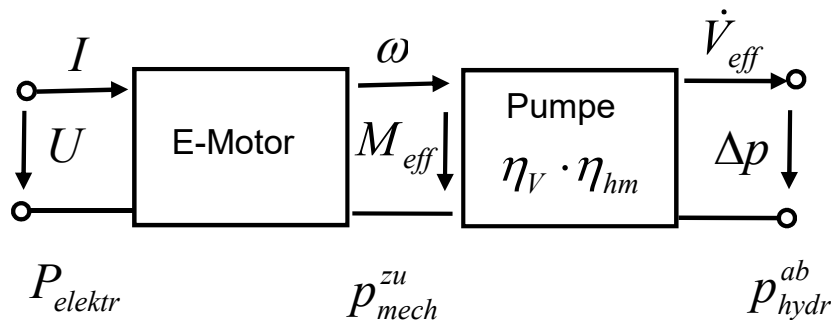
$$\dot{V}_{eff} < \dot{V}_{theo} = V n \Rightarrow \eta_v = \frac{\dot{V}_{eff}}{\dot{V}_{theo}}$$

Leistungsbilanz Pumpe

$$\dot{V}_{eff} \Delta p = \eta_v \eta_{hm} M_{eff} \omega$$

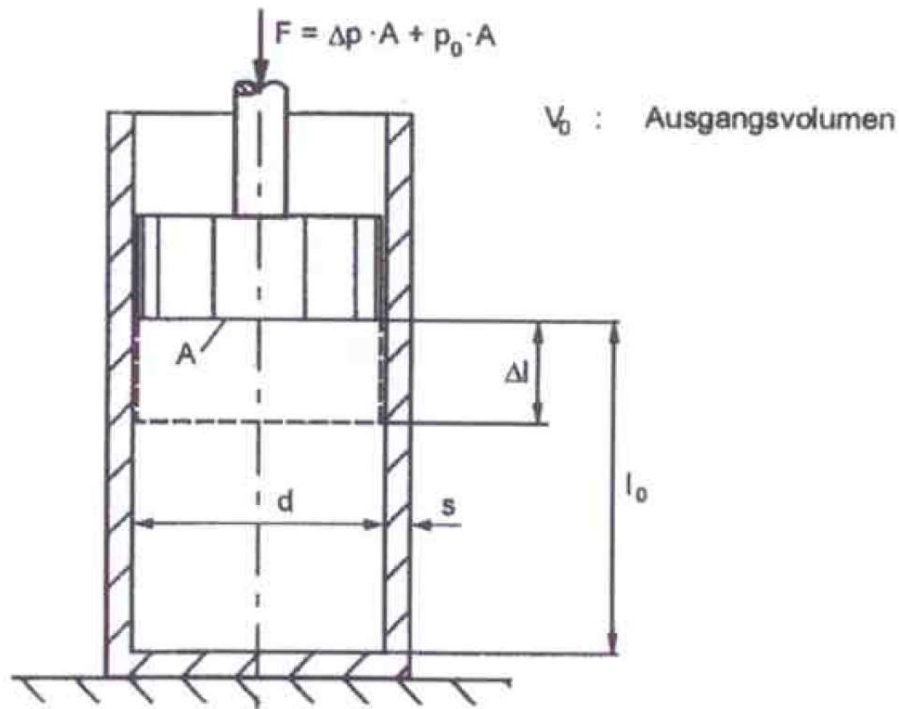
$P_{hydr.}^{ab}$

P_{mech}^{zu}



Grundgleichungen hydraulischer Wandler

Kompressibilität des Fluids (hydr. Kapazität)



Def. Kompressibilität κ_{Fe}

$$\kappa_{Fe} = -\frac{1}{V_0} \frac{\partial V}{\partial p}$$

Def. Kompressionsmodul

$$E_{Fe} = \frac{1}{\kappa_{Fe}} = -V_0 \frac{\partial p}{\partial V} = -V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

Für eine Volumenexpansion gilt

$$\Delta V_2 = -\Delta V = \frac{V_0 \Delta p}{E_{Fe}} \quad \text{bzw.} \quad \Delta l = \frac{V_0}{E_{Fe} A^2} \Delta p$$

$\frac{1}{\text{Cylind.}}$

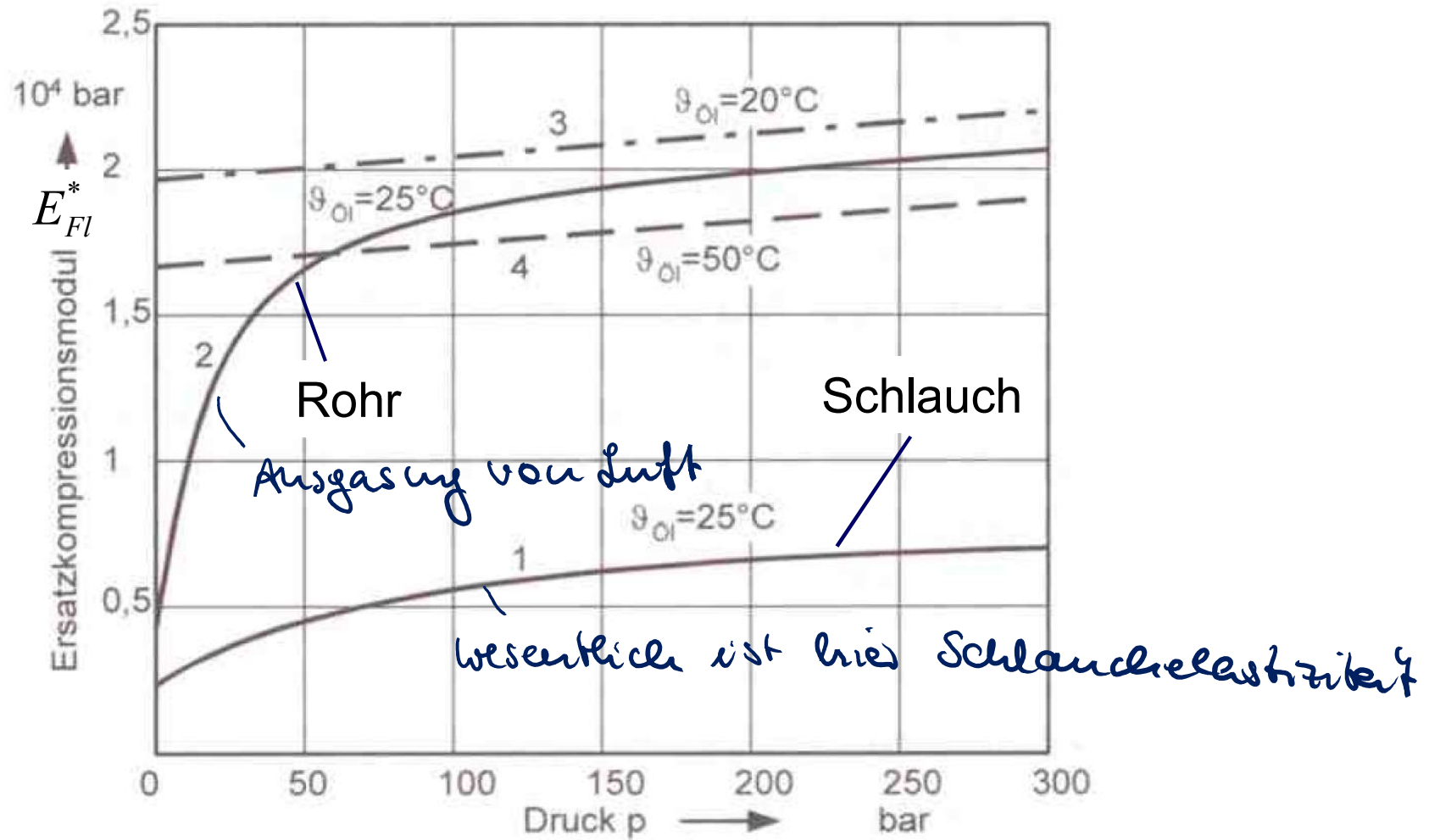
Bei Berücksichtigung der Wandung gilt

$$\Delta V_2 = \frac{V_0 \Delta p}{E_{Fe}^*} \quad \text{mit} \quad E_{Fe}^* = \frac{E_{Fe} E_w}{E_{Fe} + E_w}$$

$$\text{mit } E_w = \frac{E \cdot s}{d}$$

Grundgleichungen hydraulischer Wandler

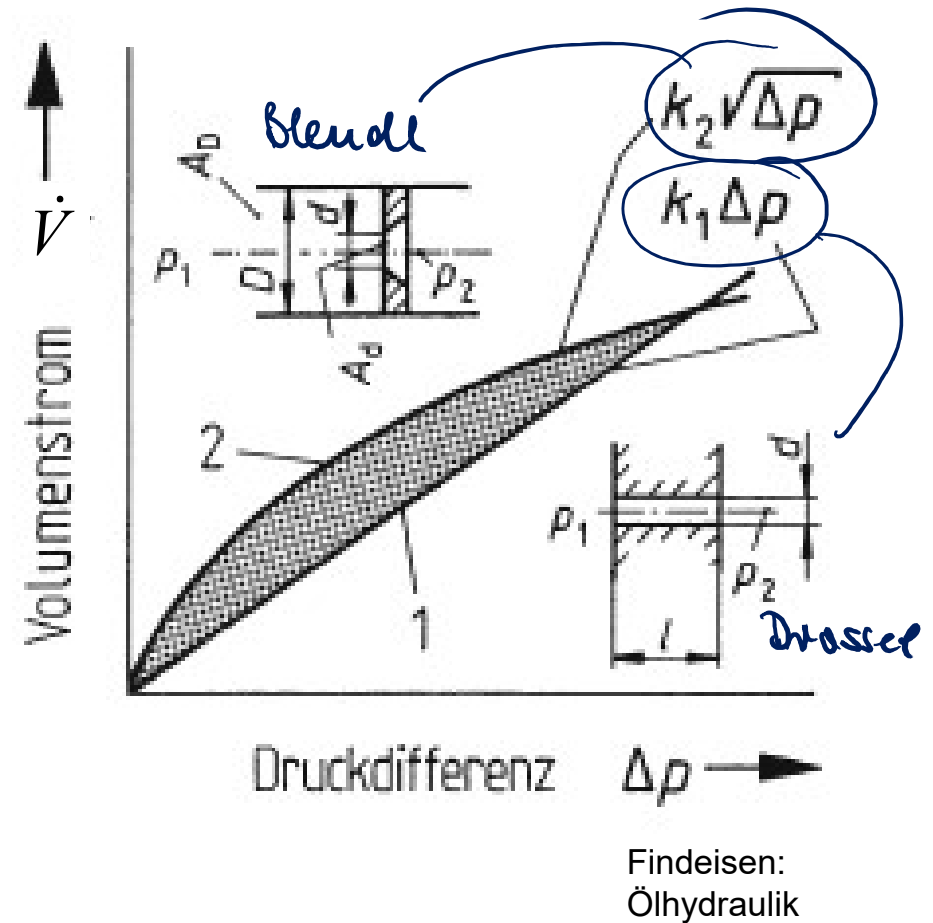
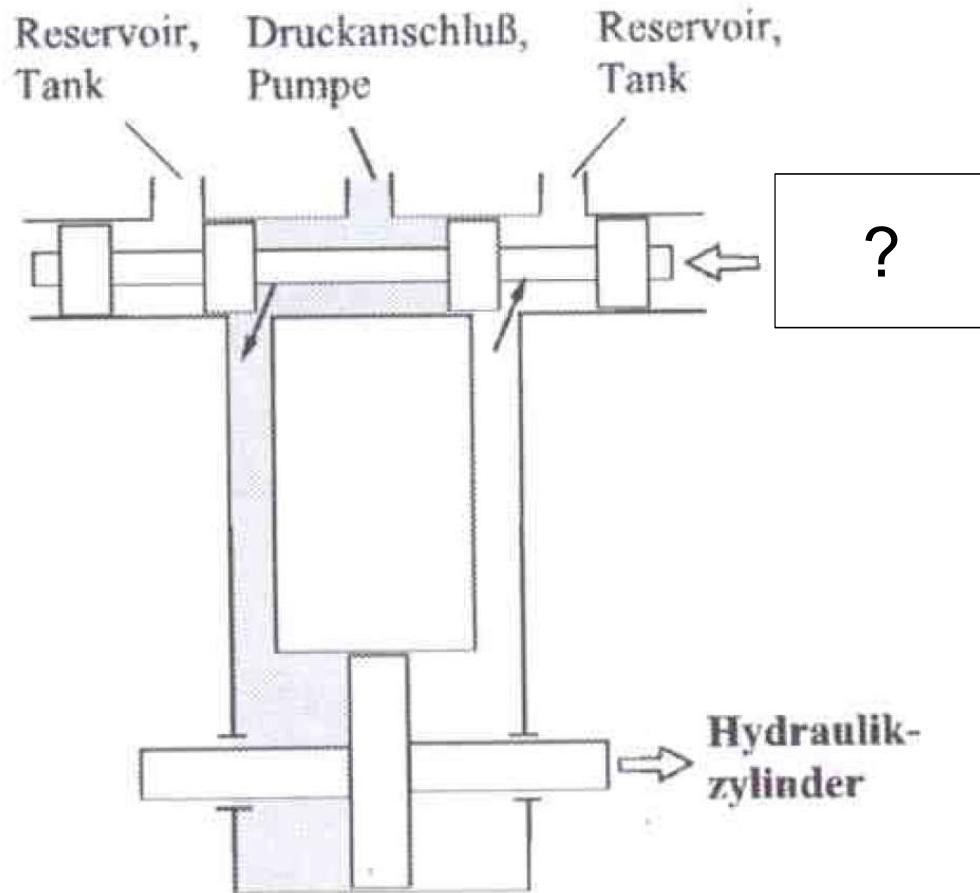
Kompressibilität des Fluids



Grundgleichungen hydraulischer Steller

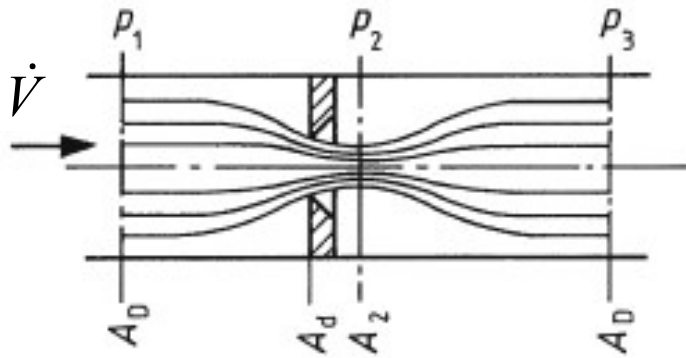
Durchflussgesetz bei Ventilquerschnitten

Beispiel: Schieberventil



Grundgleichungen hydraulischer Steller

Durchflussgesetz der Blende



Nach Bernoulli gilt

$$\frac{\rho}{2} v_1^2 + p_1 = \frac{\rho}{2} v_2^2 + p_2$$

$v_1 \ll v_2$

Somit

$$p_1 - p_2 = \Delta p_{12} = \frac{\rho}{2} v_2^2$$

bzw.

$$v_2 = A_2 \sqrt{\frac{2 \Delta p_{12}}{\rho}} \quad \text{mit} \quad \alpha_D = \frac{A_2}{A_0}$$

folgt

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \alpha_D A_0 \sqrt{\frac{2 \Delta p_{12}}{\rho}} \\ &= \underbrace{\alpha_D A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}}}_{k_2} \sqrt{\Delta p_{12}} \end{aligned}$$

mit

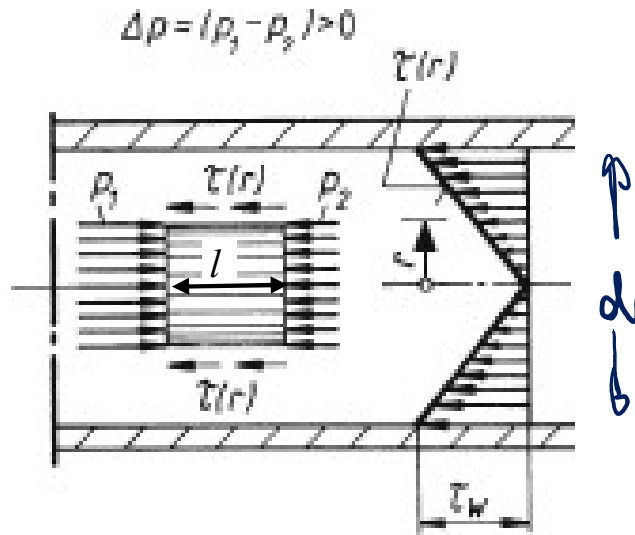
$$\alpha_D \in [0,6 \dots 0,8]$$

scharfgerichtet

abgerundet

Grundgleichungen hydraulischer Steller

Durchflussgesetz der Drossel



Kräfte - Geben

...

Fließleitung

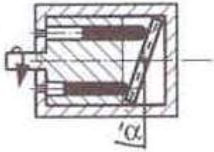
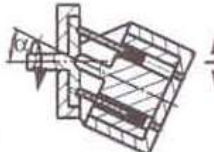
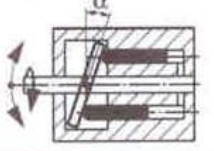

η - Viskosität

Ergebnis

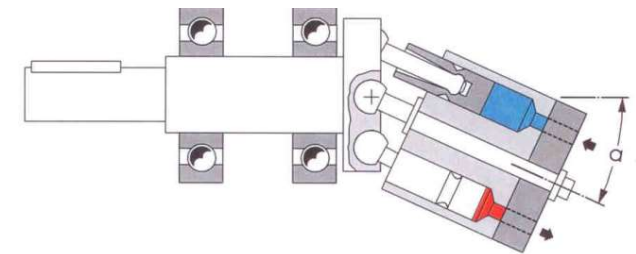
$$\dot{V} = \frac{\pi d^4}{128 \eta l} \Delta p$$

$R_{2,1}$

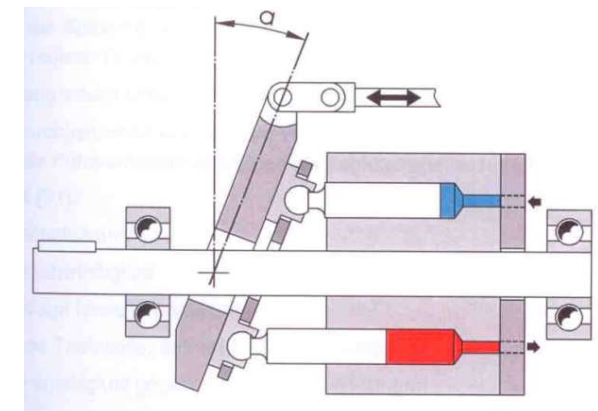
Ausführungsformen hydraulischer Wandler Pumpen / Motoren (Verdrängereinheiten)

Schematische Darstellung	Merkmale	Ausführung	Schluckvolumen in cm ³	Drehzahlbereich in min ⁻¹	Arbeitsdruck in bar
<p>Schrägscheibenmotor</p> 	universell einsetzbar, sehr guter Wirkungsgrad, Wirkungsgrad in weiten Bereichen, von Druck, Drehzahl und Drehmoment wenig abhängig, für hohe Anforderungen geeignet, typischer Schnellläufer	Konstantmotor Verstellmotor	25 – 800	750 – 8000	400
<p>Schrägachsenmotor</p> 	wie Schrägscheibenmotor, für niedrige Drehzahlen geeignet, hohes Anfahrmoment	Konstantmotor Verstellmotor	25 – 800	– 8000	400
<p>Taumelscheibenmotor</p> 	universell einsetzbar, sehr guter Wirkungsgrad, nicht so hohe Drehzahlen wegen der Unwucht der Taumelscheibe möglich	Konstantmotor	– 100	– 3000	100
<p>Radialkolbenmotor (innenbeaufschlagt)</p> 	universell einsetzbar, sehr guter Wirkungsgrad, für hohe Anforderungen geeignet	Konstantmotor Verstellmotor	5 – 7000	500 – 3000	350

Schrägachsenmotor



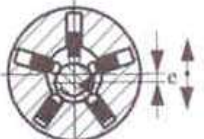

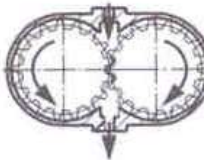

Taumelscheibenmotor



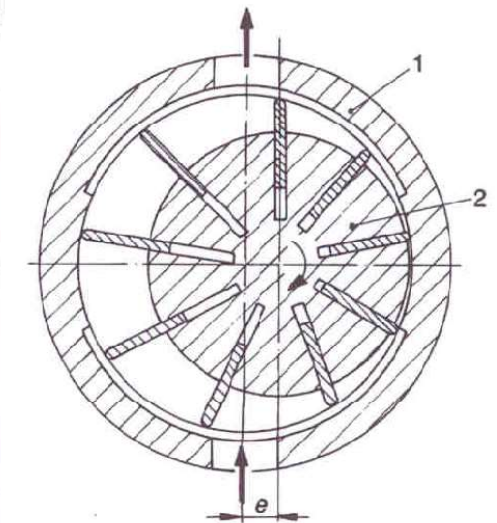
Ausführungsformen hydraulischer Wandler Pumpen / Motoren (Verdrängereinheiten)



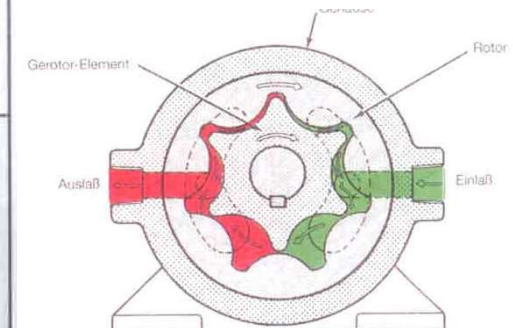
Ausführungsformen hydraulischer Wandler Pumpen / Motoren (Verdrängereinheiten)

Schematische Darstellung	Merkmale	Ausführung	Schluckvolumen in cm ³	Drehzahlbereich in min ⁻¹	Arbeitsdruck in bar
Radialkolbenmotor (außenbeaufschlagt) 	universell einsetzbar, sehr guter Wirkungsgrad, besonders für kleine Drehzahlen und hohe Drehmomente geeignet, typischer Langsamläufer	Konstantmotor Verstellmotor	5 – 7000	– 2000	200
Flügelzellenmotor 	mittlerer Leistungsbereich, geräuscharm	Konstantmotor Verstellmotor	5 – 2000	– 3000	200
Zahnradmotor 	mittlerer Leistungsbereich, einfache Bauweise, Wirkungsgrad in weiten Bereichen von Druck, Drehzahl und Drehmoment unabhängig	Konstantmotor	5 – 300	200 – 3000	280
Zahnringmotor 	geräuscharm, mittlerer Leistungsbereich, für kleine Drehzahlen und hohe Drehmomente geeignet	Konstantmotor	50 – 900	10 – 1000	250

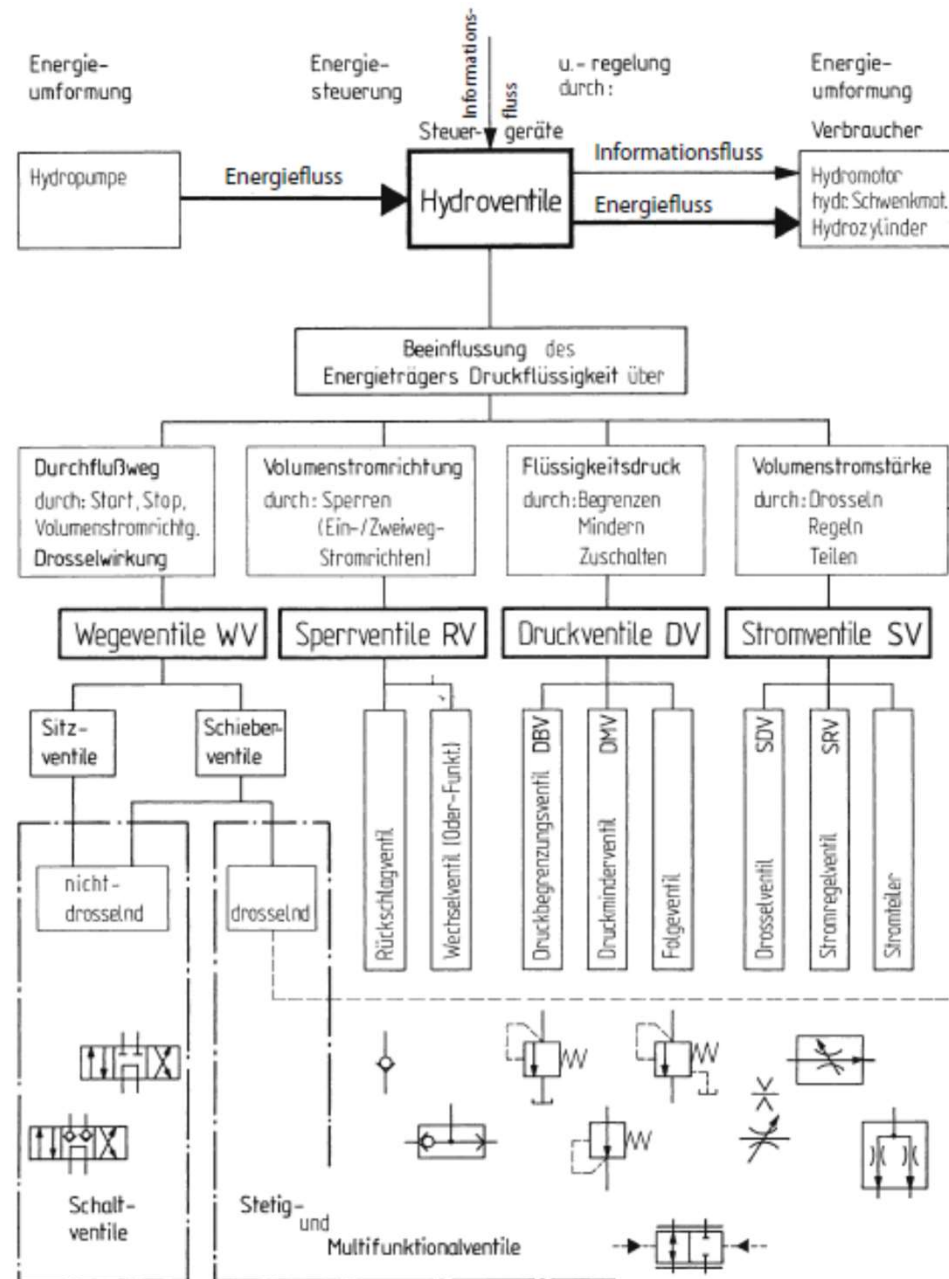
Flügelzellenmotor



Zahnringmotor

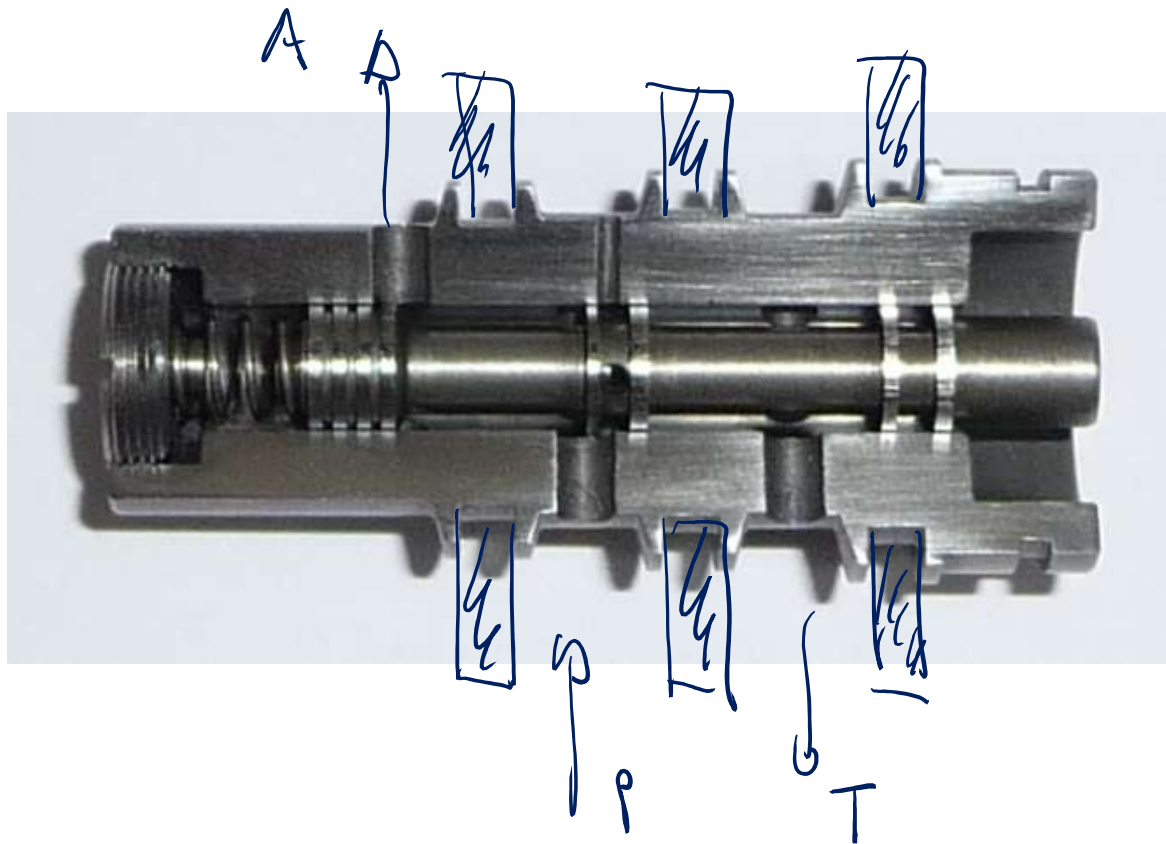


Ausführungsformen hydraulischer Steller Ventile



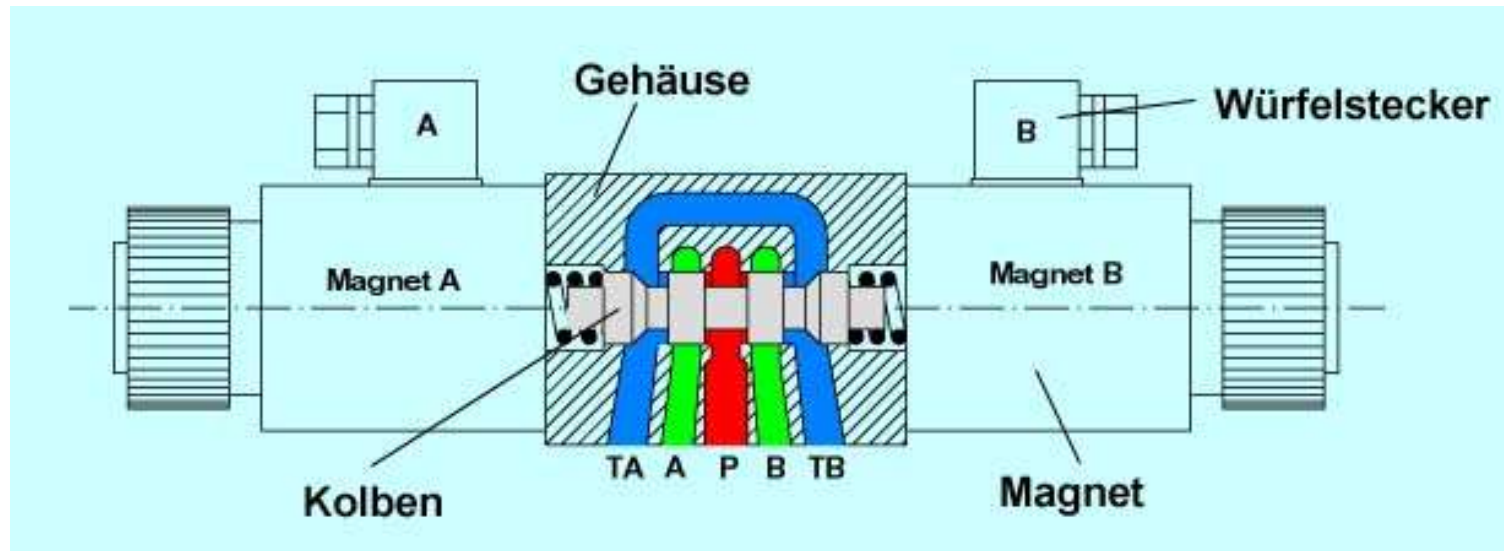
Ausführungsformen hydraulischer Steller Ventile

Beispiel: 3/2-Wegeventil

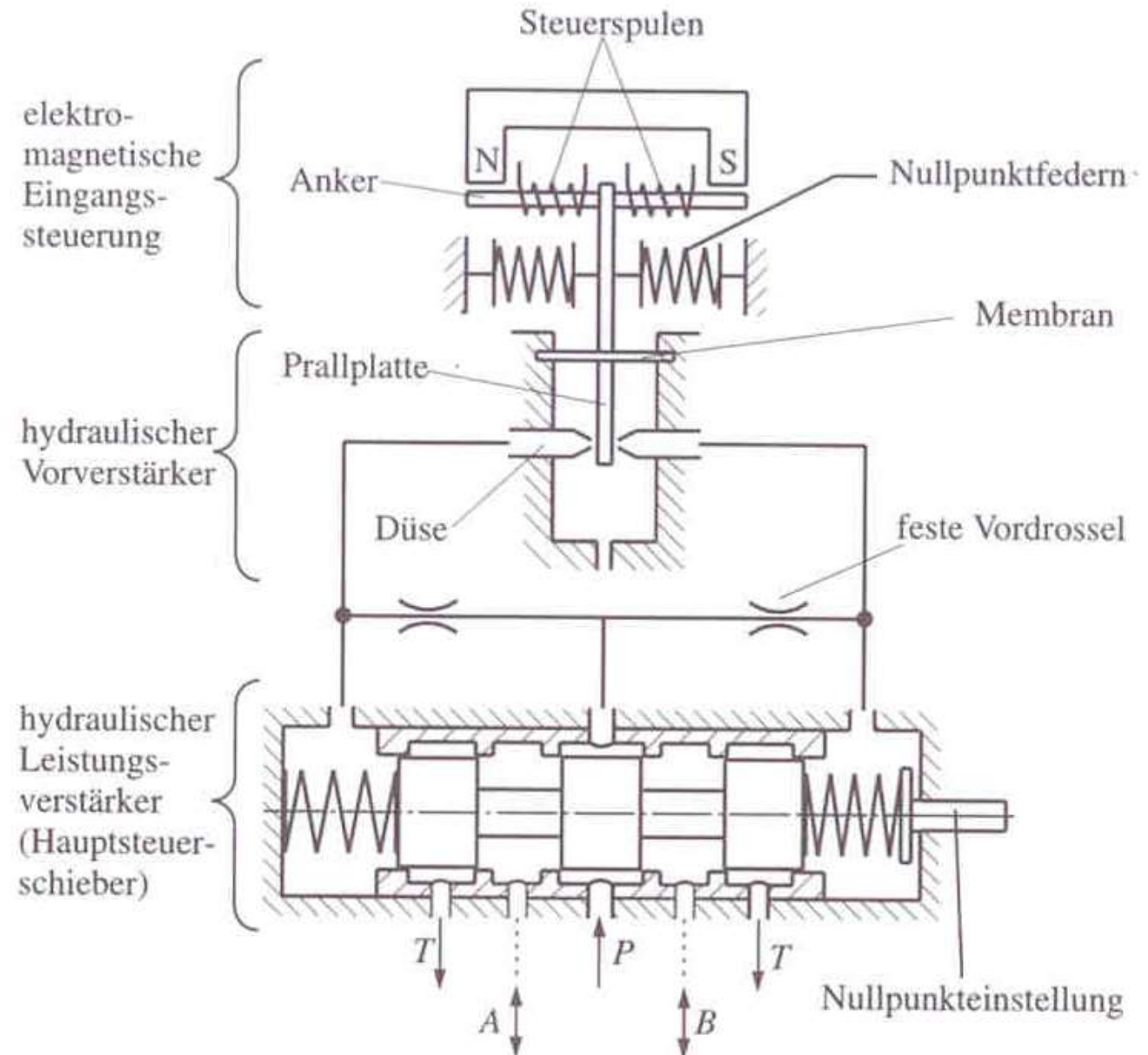


Ausführungsformen hydraulischer Steller Ventile

Beispiel: 4/3-Wegeventil



Ausführungsformen hydraulischer Steller Ventile



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!