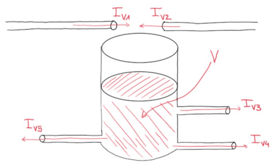
Hydraulik

Volumenbilanz

$$\boxed{\frac{dV}{dt} = \dot{V} = \sum \dot{V}_i}$$

$\dot{V} = \left[\frac{m^3}{s}\right]$



$\dot{V} = I_{v1} + I_{v2} - I_{v3} - I_{v4} - I_{v5}$

$$\boxed{\dot{V} = A \cdot \dot{h}}$$

Hydrostatische Druckgleichug

$$\boxed{p = p_a + \rho \cdot g \cdot h}$$

Druck $p\,[Pa]$ (Pascal)

Umgebungsdruck (wenn nichts Angegeben $= 0$) $p_a\,[Pa]$

Dichte (in der Regel Angegeben für Wasser $= 1000 kg/m^3$) $\rho\,[kg/m^3]$

Gravitationskonstante $9.81 m/s^2$ $g\,[m/s^2]$

Höhe $h\,[m]$

Kapazitive Beziehung (Druck & Volumen)

$$\boxed{V = C_v \cdot \Delta p_c}$$

Volumen $V\,[m^3]$

Hydraulische Kapazität $C_v\,[m^3/Pa]$

Druckdifferenz $\Delta p\,[Pa]$

$$\boxed{C_v = \frac{\Delta V}{\Delta p_c} = \frac{A \cdot \cancel{h}}{\rho \cdot g \cdot \cancel{h}} = \frac{A}{\rho \cdot g}}$$

Restistive Beziehung (laminare Strömung)

$$\boxed{I_v = G_v \cdot \Delta p_R = \frac{\Delta p_R}{R_v}} \qquad \boxed{G = \frac{I_v}{h_2 - h_1}}$$

Volumenstrom $I_v\,[m^3/s]$

Leitwert $G_v\,\left[\frac{m^2}{Pa \cdot s}\right]$

Widerstand $R_v\,\left[\frac{Pa \cdot s}{m^3}\right]$

$$\boxed{R_v = \frac{1}{G_v}}$$

Abschätzung des Leitwert:

(1) $\dot{V} = -I_v$

(2) $I_v = G_v \cdot \Delta p_R$

(3) $\Delta p_R = \Delta p_c$

(4) $\Delta p_c = \rho \cdot g \cdot h$

(5) $h = \frac{V}{A}$ (5) $V = A \cdot h \Rightarrow \dot{V} = A \cdot \dot{h}$

(2) $\Rightarrow G_v = \frac{I_v}{\Delta p_R} \overset{(1)}{=} \frac{-\dot{V}}{\Delta p_R} = \frac{-A \cdot \dot{h}}{\Delta p_R} \overset{(3)}{=} \frac{-A\dot{h}}{\Delta p_c} \overset{(4)}{=} -\frac{A \cdot \dot{h}}{\rho \cdot g \cdot h}$

$\Leftrightarrow G_v = -\frac{A}{\rho \cdot g} \cdot \frac{\dot{h}}{h}$

Turbolente Strömung

$$\boxed{I_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_R}} \qquad \boxed{\Delta p_R = \left(\frac{I_v}{k}\right)^2}$$

Strömungsfaktor k

Kapazitive Zeitkonstante

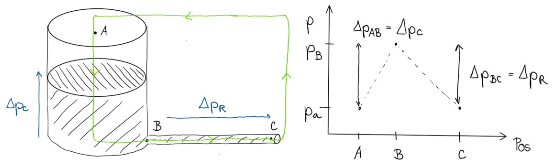
$$\boxed{T_c = R_v \cdot C_v}$$

Zeitkonstante $T\,[s]$

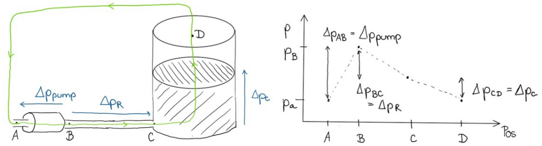
(kann auch in einer Grafik bestimmt werden)

Maschensatz

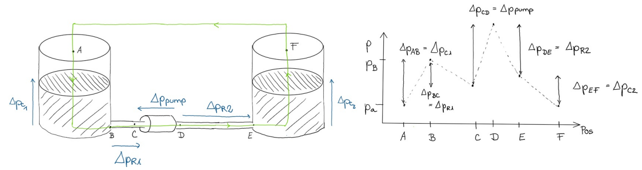
$$\boxed{\sum \Delta p = 0}$$



$\Delta p_R - \Delta p_c = 0$

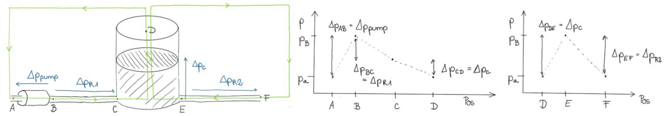


$-\Delta p_{pump} + \Delta p_R + \Delta p_c = 0$



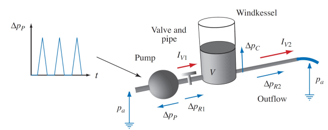
$-\Delta p_{c1} + \Delta p_{R1} - \Delta p_{pump} + \Delta p_{R2} + \Delta p_{c2} = 0$

Hydraulisches Windkessel



(Hydraulischer Windkessel)

Maschensätze: $\left| \begin{aligned} -\Delta p_{pumpe} + \Delta p_{R1} + \Delta p_c &= 0 \\ \Delta p_{R2} - \Delta p_c &= 0 \end{aligned} \right|$



Bilanz: $\dot{V} = I_{v1} - I_{v2}$

Abfluss: $\frac{\Delta p_{R2}}{R_2}$

Elektrik

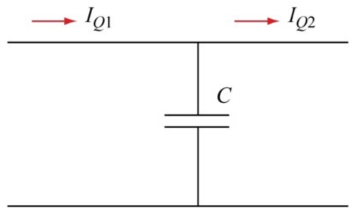
$$\boxed{\dot{U} = R \cdot \dot{I}_Q}$$

Ladungsbilanz

$$\boxed{\frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = \sum I_{Qi}}$$

$$\dot{Q} = \left[\frac{C}{s}\right]$$

$$\boxed{\dot{Q} = \dot{U} \cdot C}$$



$$\dot{Q} = I_{Q1} - I_{Q2}$$

Kapazitive Beziehung (Kondensator)

$$\boxed{Q = C \cdot U_c}$$

$$\boxed{\dot{Q} = C \cdot \dot{U}_c}$$

Ladung	$Q[C]$ (Coulomb)
Kapazität	$C[F]$ (Farrad) $1\mu F = 0.000001 F = 1 \cdot 10^{-6} \mu F$
Spannung	$U_c[V]$

Resistive Beziehung (Widerstand):

$$\boxed{U_R = R \cdot I_Q}$$

$$\boxed{R = \frac{U_R}{\dot{Q}}}$$

Widesstan	$R[\Omega]$
Strom	$I_Q[A]$

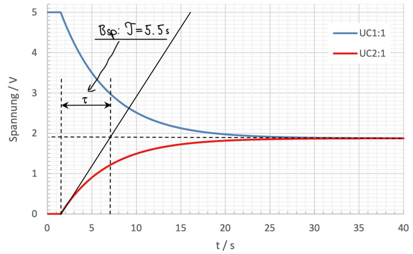
nicht immer korrekt Abhängig von $\dot{Q}$

Kapazitive Zeitkonstante

$$\boxed{\tau = R \cdot C}$$

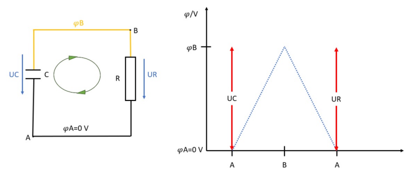
Zeitkonstante $\quad \tau[s]$

(kann auch in einer Grafik bestimmt werden)

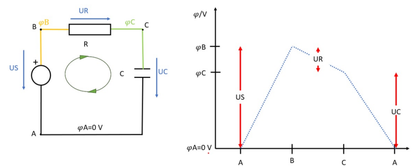


Maschensatz

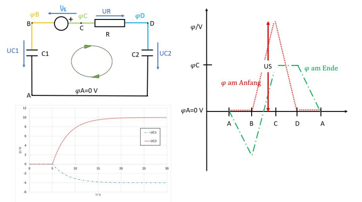
$$\boxed{\sum U = 0}$$



$$-U_c + U_R = 0$$

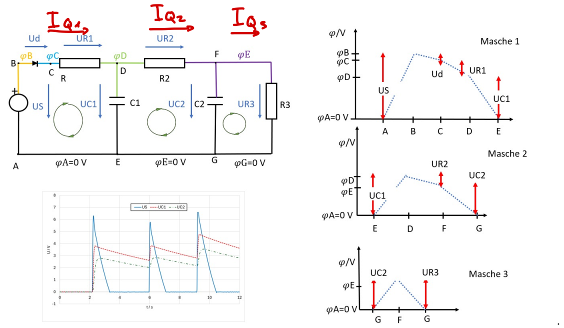


$$-U_S + U_R + U_c = 0$$



$$-U_{C1} - U_S + U_R + U_{C2} = 0$$

Elektrischer Windkessel



$$\left| \begin{aligned} -U_S + U_d + U_{R1} + U_{C1} &= 0 \\ -U_{C1} + U_{R2} + U_{C2} &= 0 \\ -U_{C2} + U_{R3} &= 0 \end{aligned} \right|$$

Diode

$$\boxed{I_Q = \text{if } UR1 > 0 \text{ then } UR1/R1 \text{ else } 0}$$

Laden - Entladen eines Kodensators

Laden: $\boxed{U_c(t) = U_S \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}$

Entladen: $\boxed{U_c(t) = U_{c0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}$

(Anfangsspannung)

Grösse, System	Hydraulik	Elektrodynamik
Menge	Volumen (V) $[m^3]$	elek. Ladung (Q) $[C]$ [Columb]
Potential, Potentialdiff	Druck (P) $[Pa]$ [Pascal] Druckdi-ferenz (ΔP) $[\Delta Pa]$	elek. Potenzial (φ) $[V]$ Spannung (U) $[V]$
Strom	Volumenstrom (I_V) $\left[\frac{m^3}{s}\right]$	elek. Strom, Ladungsstrom (I_Q) $[A]$
Wiederstandselement, Wiederstands-, Leitwert Speicherelement	Rohr (R_V), (G_V) Gefäss, Tank	Widerstandselement (R), (G) $[\Omega]$ Kondensator
Niveau	Druck (p) $[Pa]$ Höhe (h) $[m]$	elek Potential (φ) $[V]$

	Hydraulik	Elektrizität
Menge	(Fluid-)Volumen	elektrische Ladung
Transport	Volumenstrom	Ladungsstrom
Niveau	Druck	elektrisches Potential
Niveauunterschied	Druckunterschied	Spannung
Speicher	Gefäss	Kondensator
Leitung	Schlauch, Rohr	Leiter, Widerstandselement
Pumpe	Pumpe	Batterie, Generator
Ventil	Ventil	Diode

Induktivität

Induktive Druckdifferenz in hydraulischem System:

$$\boxed{\Delta p_L = L \cdot \frac{dI}{dt}}$$

induktive Druckdifferenz Δp_L [Pa]

hydr. Induktivität L $\left[\frac{Pa \cdot s^2}{m^3}\right]$

Volumenstrom $\frac{dI}{dt}$ $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

Elekt. Spannung an einer Spule:

$$\boxed{U_{Spule} = U_{RL} + U_L}$$

$$\boxed{U_L = L \cdot \frac{dI}{dt}}$$

Änderungsrate $\frac{dI}{dt}$ $\left[\frac{A}{s}\right]$

elekt Induktivität L [H] (Henry)

Induktive Zeitkonstante:

$$\boxed{T = \frac{L_V}{R_V}} \qquad \text{elek.: } \boxed{T = \frac{L}{R}}$$

→ kann grafisch bestimmt werden

→ Bei exponentiell 37% des Anfangswert

Schwingungsperiode LC- oder RLC-System:

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Schwingungsperiode T [s]

ges R_L und L in Elektro

$$U_{RL} + U_L = U_S - U_{Rext}$$

$$R_L \cdot I_a + L \cdot \frac{dI}{dt} = U_S - U_{Rext} \quad \Big| \quad R_L: \text{ Punkt suchen wo } \dot{I}_a = \frac{dI}{dt} = 0$$

$$R_L \cdot I_a = U_S - U_{Rext}$$

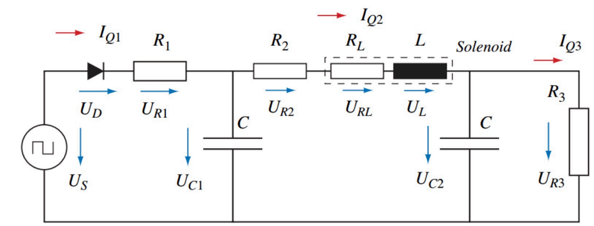
$$R_L = \frac{U_S - U_{Rext}}{I_a}$$

$$R_L \cdot I_a + L \cdot \frac{dI}{dt} = U_S - U_{Rext} \quad \Big| \quad L: \text{ Punkt suchen wo } I_a = 0$$

$$L \cdot \frac{dI}{dt} = U_S - U_{Rext}$$

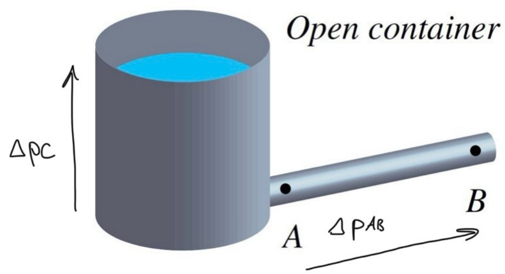
$$L = \frac{U_S - U_{Rext}}{\dot{I}_a}$$

Maschensätze



$$\begin{aligned} -U_S + U_d + U_{R1} + U_{C1} &= 0 \\ -U_{C1} + U_{R2} + U_{Spule} + U_{C2} &= 0 \\ U_{RL} + U_L &= U_{Spule} \\ -U_{C2} + U_{R3} &= 0 \end{aligned}$$

Hydraulisch – Induktiv – Resistiv



$$\begin{aligned} \Delta p_C - \Delta p_{AB} &= 0 \\ \Delta p_{AB} &= \Delta p_L + \Delta p_R \end{aligned}$$

Δp_L = Induktive Druckdifferenz

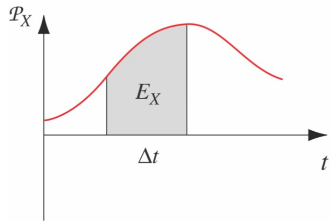
Δp_R = Resistive Druckdifferenz

$$\Delta p_R = R_V \cdot I_V$$

$$\Delta p_{AB} = \Delta p_L + \Delta p_R = L \cdot \dot{I}_V + R_V \cdot I_V$$

Energie

Energieumsatz



$$E_x = \int_{t_0}^{t_1} P_x(t)\, dt$$

$$E_x = \int_{t_0}^{t_1} I_E(t)\, dt$$

Energie	E [J]/[W·s]
Leistung	P [W]/[J/s] (Watt oder Joule·Sekunde)
Energiestrom	I [W]/[J/s]

Änderungsrate von Energie
⟹ Energiestrom oder Leistung!

Wirkungsgrad Energie

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{Zugeführte Energie}}$$

$$\eta = \frac{P_{erwünscht}}{P_{available}}$$

Kennzahl η [ ]

Leistung:

$$P_{elektrisch} = U \cdot I_Q$$

$$P_{hydraulisch} = \Delta p_{Druck} \cdot I_V$$

Energiestrom:

$$I_{E,elektrisch} = U \cdot I_Q$$

$$I_{E,hydraulisch} = p_{Druck} \cdot I_V$$

gespeicherte Energie:

$$E_{elektrisch} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_C^2$$

$$E_{hydraulisch} = \frac{1}{2} \cdot C_V \cdot (\Delta p_c)^2 \quad ((p_2)^2 - (p_1)^2)$$

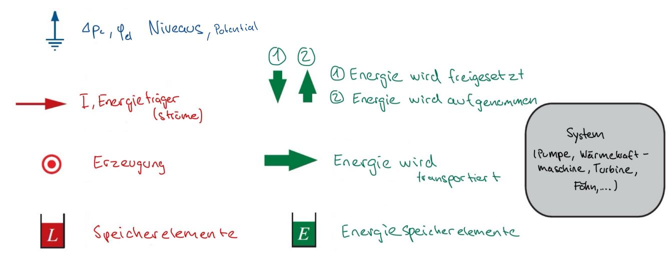
$$E_{Spule} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_Q^2$$

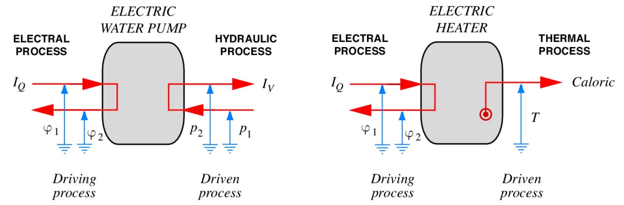
Energiebilanz

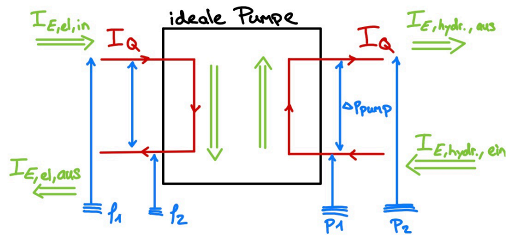
$$\frac{dE}{dt} = \dot{E} = \sum I_{E_i}$$

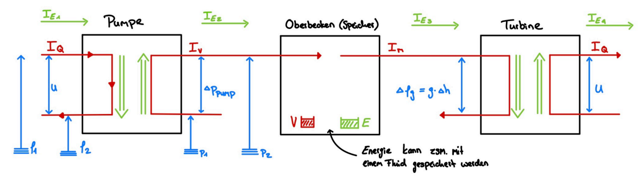
Energieänderung

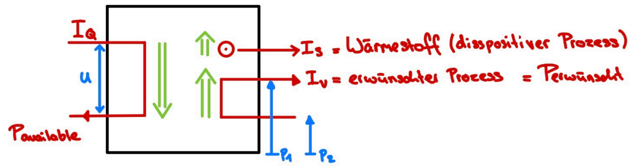
$$\Delta E = \sum_i E_{e,i} \quad \text{oder} \quad E(t_2) - E(t_1)$$











Thermo

Bilanzgleichung

$$\boxed{\frac{dS}{dt} = \dot{S} = \sum I_{S,i} + \Pi_S \, , \quad \Pi_S \geq 0}$$

Entropieänderungsrate $\dot{S}$ [W/K]

Wärmestoffstrom oder Entropiestrom I_S [W/K]

Entropieproduktionsrate Π [W/K]

Energie

$$\boxed{P_{diss} = T \cdot \Pi_S} \qquad \boxed{\Pi_S = \frac{P}{T}} \qquad \Delta °C = \Delta K$$

Temperatur T [K] (Kelvin) (°C + 273)K

Energierate P_{diss} [W]

Spezifische Entropie

$$\boxed{s = \frac{S}{m}}$$

Spezifische Entropie eines Stoffes $s\left[\frac{J}{K \cdot kg}\right]$

Wärmestoff oder Entropie S [J/K]

Masse m [kg]

Entropiekapazität

$$\boxed{K_S = m \cdot k_S}$$

Entropiekapazität, Material $K_S\left[\frac{J}{K^2}\right]$

spezifische Entropiekapazität $k_S\left[\frac{J}{kg \cdot K^2}\right]$

Entropie und Temperatur

$$\boxed{\dot{S} = m \cdot k_S \cdot \dot{T}}$$

Änderungsrate - Temperatur $\dot{T}$ [K/s]

spezifische Entropiekapazität

$$\boxed{k_S = \frac{c}{T}}$$

spezifische Energiekapazität $c\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

Spontane Energiestrom

$$\boxed{I_S = G_S (T_1 - T_2)} \qquad \boxed{G_S = \frac{P_{el}}{T_1(T_1 - T_2)}}$$

(wenn $\dot{S} = 0$)

Entropieleitfähigkeit G_S [W/K²]

	Hydraulik	Elektrizität	Thermodynamik
Menge	(Fluid-)Volumen V (m^3)	Ladung Q (C)	Wärme(stoff) oder Entropie S (J/K)
Transport	Volumenstrom I_V (m^3/s)	Ladungsstrom I_Q (A)	Wärme(stoff)strom oder Entropiestrom I_S (W/K)
Produktion	-	-	Entropieproduktionsrate Π_S (W/K)
Niveau	Druck p (Pa)	el. Potential φ_{el} (V)	Temperatur T (K)
-unterschied	Druckunterschied Δp (Pa)	Spannung $U = \Delta\varphi_{\mathrm{el}}$ (V)	Temperaturunterschied ΔT (K)
Speicher	Gefäss, hydraulische Kapazität C_V (m^3/Pa)	Kondensator, elektrische Kapazität C (F)	Material, Entropie-Kapazität K_S (J/K^2)
Leitung	Schlauch, Rohr, hydraulischer Leitwert G_V (m^3/s/Pa)	Leiter elektrischer Widerstand R (Ohm)	Wärmeleiter, Entropie-Leitwert G_S (W/K^2)
Pumpe	Pumpe	Generator	Wärmepumpe

Zeitkonstante

$$\boxed{\tau = \frac{K_S}{G_S} = \frac{m \cdot k_S}{G_S}}$$

Gespeicheste Energie:

$$\boxed{E = m \cdot c \cdot T} \qquad \boxed{\dot{E} = T \cdot \dot{S}}$$

Die Formel $\dot{S} = \Pi_S + I_S$ beschreibt die Änderung der Entropie ($\dot{S}$) in einem System. Hier ist die vereinfachte Erklärung:

1. $\dot{S}$: **Gesamte Entropieänderung**
   - Das ist die gesamte Änderung der Entropie im System, also die Summe aus internen Prozessen und externen Einflüssen.
2. Π_S: **Entropieproduktion im System**
   - Entsteht durch irreversible Prozesse wie Reibung, Wärmeleitung oder viskose Effekte.
   - Diese Entropieproduktion ist immer **positiv** oder null, da Entropie laut dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht abnehmen kann.
3. I_S: **Entropieaustausch mit der Umgebung**
   - Entropie, die das System von außen durch Wärmeübertragung erhält oder abgibt.
   - Kann positiv (Zufuhr von Wärme) oder negativ (Abgabe von Wärme) sein.