

$$\text{Drehzahlmessung}$$

$$f_0 = \frac{U_n}{\Phi_1 \cdot n \cdot 2\pi}$$

$$\text{Induktionsgesetz}$$

$$U_{ind} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{d\Phi}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} : U_{ind} = -\sin(\omega_0 \cdot n \cdot t) \omega_0 \cdot n$$

$$= U_m \cdot \sin(\omega_0 \cdot n \cdot t)$$

$$= -\frac{d}{dt} \int \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \cdot d\vec{A} :$$

Magnetisch-induktiver Durchflussmesser (MID)

$$\text{Gleichgewicht}$$

$$\vec{F}_L + \vec{F}_F = 0 \quad U_E = -V \cdot B \cdot d = U_{12}$$

$$\vec{F}_L = q(\vec{V} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$

$$U_{21} = -U_{12} = -U_E = V \cdot B \cdot d$$

$$\text{Volumenstrom}$$

$$V = \frac{U_{21}}{B} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D$$

$$V = \frac{1}{4} \cdot A \cdot D$$

$$\text{Massenstrom}$$

$$m = p \cdot \frac{U_{21}}{B} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D$$

$$m = p \cdot V \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Empfindlichkeit } E:$$

$$\frac{dU_{21}}{dV} = \frac{4 \cdot B}{\pi \cdot D} \quad \frac{dU_{21}}{dV} = B \cdot D$$

$$\frac{dU_{21}}{dm} = \frac{4 \cdot B}{\pi \cdot g \cdot D}$$

$$\text{Magnetresistor Effekt}$$

$$\text{ohne Magnetfeld: } R_0 = \frac{S \cdot l_0}{A_0} \cdot \frac{S \cdot l_0}{b \cdot d}$$

$$\text{mit Magnetfeld: } R(B_0) = \frac{S \cdot l_0}{d \cdot b \cdot d} = R_0 \cdot (1 + \chi^2 \cdot B^2 / k_e^2)$$

$$k_e: \text{Gesetzmäßigkeitskonstante}$$

$$\text{Magnetfeldstärke: } B = \sqrt{\frac{R_0 \cdot E}{4 \pi \cdot \mu_0}}$$

$$\tan \Theta_H = \mu \cdot B \cdot k_e \quad i \cdot \cos \Theta_H = \frac{l_0}{R_0} \quad i \cdot \cos \Theta_H = \frac{b_0}{d_0}$$

$$\text{Abstand: } z = \left(\frac{b_0 \cdot m \cdot \mu \cdot k_e}{2 \pi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_0}{d_0} - 1 \right)^{-\frac{1}{3}}$$

Anisotroper magn. Effekt (AMR-Effekt) zur Entmagnetisierung

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \cos^2 \alpha \quad |Br: Diamagnetisierungsfeld$$

Piezoelektrische und weitere elektro-sensorischen Prinzipien

Thermoelektr. Spannung

(Seebeck-Effekt)

$$U = \vartheta \cdot ST \quad ST = \frac{U}{\vartheta}$$

U : Thermospannung

ϑ : Thermoeffekt (K) = 1 K

$$U_m = U_{n_2} - U_{r_2}$$

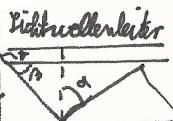
$$U_m = (k_2 - k_1) \cdot ST$$

$$\text{Element / Ersatzschaltbild}$$

$$\vartheta = \frac{1}{T} \cdot F \cdot \frac{1}{Q} \cdot Q \quad U_q = \frac{Q}{F} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{R_q \cdot F_q}$$

$$R_q = \frac{F \cdot L}{A} = S \cdot \frac{L}{A} \quad Q = k_p \cdot F$$

Optik



Lichtwellenleiter

$$\text{Verlust} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$10 \cdot \frac{P_{out}}{P_{in}} = \text{Verlust} (\text{Verlust})$$

$$\text{numerische Apertur} = \sin \gamma = \sqrt{n^2 - n_m^2}$$

n : Brechzahl unter

n_m : Brechzahl oben

Eigensfall: $\gamma \rightarrow 90^\circ$

$\epsilon = \arcsin \left(\frac{n}{n_m} \right) \Rightarrow \text{Totalrefl.}$

Snelliusches Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \epsilon}{\sin \epsilon'} = \frac{n}{n'} = \text{Brechzahl unten}$$

$$\frac{\sin \epsilon}{\sin \epsilon'} = \text{Brechzahl oben}$$

Eigensfall: $\epsilon' \rightarrow 90^\circ$

$$\epsilon = \arcsin \left(\frac{n}{n_m} \right) \Rightarrow \text{Totalrefl.}$$

Parameter mit Zwischenring

$$b = b_0 + d \quad d: \text{Dicke des Rings}$$

$$g = \frac{f \cdot (b_0 + d)}{(b_0 + d) - f}$$

$$\beta = \frac{b_0 + d}{f} - 1$$

Triangulationsprinzip: $m_1 = \frac{f}{b_0 + d}$

Schärkentiefenbereich

$\Delta g = g \cdot h \cdot g_V$ Deblende

$$g_V \cdot h = \frac{g_0 \cdot f^2}{f^2 \cdot F \cdot \frac{f}{D} \cdot (f - f_0)}$$

ϵ_V : vor, Punkt hinter Objekt

ϵ_h : hinter Linsenpunkt wahrnehmung

$B: \text{Bildgröße}$

$$(B: \text{Abbildungsnr.})$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{B}$$

$$B = \frac{f}{g} = \frac{f}{\frac{1}{f} - 1}$$

$$\frac{1}{g} = f \cdot \frac{B+1}{B} + b = \frac{f \cdot g}{B+1}$$

$$g = f \cdot \frac{B+1}{B} + b = \frac{f \cdot g}{B+1}$$

$$g = f \cdot \frac{B+1}{B} + b = \frac{f \cdot g}{B+1}$$

Parameter d. opt. Linsen-abbildung

f : Brennweite

g : Gegenstandsweite

b : Bildweite

G : Ges. Größe

ϵ : Apertur

ϵ : Deblende

$$I_e = \frac{dG_e}{d\Omega}$$

$$I_e = \frac{w}{2\pi}$$

$$L_e = \frac{d^2 \cdot G_e}{d\Omega \cdot d\Omega_1 \cdot \cos \alpha_1}$$

$$\text{spektro.-diakt. Sollle} = \int [L_e \cdot d\lambda] \cdot d\lambda = L_e$$

$$-\text{flussdichte } \mu_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1}$$

$$\text{Bestrahlungs- } E_e = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$\text{strahl. } E_e = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$\text{photomatr. GG + EV} = \frac{I_V}{R^2} \cdot \cos \alpha_2$$

$$\text{photomatr. GG: } E_V = \frac{I_V}{R^2} \cdot \cos \alpha_2$$

$$\hookrightarrow E_V = \frac{I_V}{R^2} \cdot \cos \alpha_2$$

$$\hookrightarrow E_V = \frac{I_V}{R^2} \cdot \cos \alpha_2$$

$$\hookrightarrow E_V = \frac{I_V}{R^2} \cdot \cos \alpha_2$$

$$\text{strahl. } E_e = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$\text{strahl. } E_e = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$L_V = \frac{d\phi_e}{d\Omega_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}$$

$$\text{strahl. } E_V = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{d\Omega_2}$$

<

1.5.2 Dynamische Kenngrößen

$$\text{Zeitquotientenwert: } t_{0,5} \rightarrow x_0(t_{0,5}) = 0,5 \cdot x_{00} \quad t_{0,1} = t_{0,3} - t_{0,2} \\ = x_{00} \cdot (1 - e^{-\frac{t_{0,5}}{T}}) = 0,5 \cdot x_{00}$$

$t_{0,1}$ = Umschaltzeit

Sensorprinzipien der mechanik

Sensorprinzipien aus elastischer Verformung

$$l_0 = \text{urspr. Länge} \quad \text{Längsdehnung} \quad \nu = \text{Normalspannung} \\ d_0 = " \text{ Dicke} \quad \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad G = \frac{F_N}{A} = \varepsilon \cdot \frac{\Delta l}{l_0} = E \cdot \varepsilon$$

$$\text{Querdehnung} \quad \varepsilon_q = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0} = -\mu \cdot \varepsilon \quad (E = \frac{N}{m^2}) \quad R_e = \frac{F_s}{A_0}; \quad R_m = \frac{F_m}{A_0}$$

R_e = Streckgrenze, R_m = Zugfestigkeit

Normalspannung auf Membran

$$\text{radial: } G_r = c \cdot \left[(3m+1) \cdot \frac{r^2}{r_0^2} - (m+1) \right]$$

$$\text{Tangential: } G_t = c \cdot \left[(m+3) \cdot \frac{r^2}{r_0^2} - (m+1) \right]$$

$r = \text{Radius}$

$$r_0 = \text{max. Radius} \quad m = \frac{1}{\mu} - c = \frac{3 \cdot \Delta P \cdot r_0^2}{\pi \cdot m \cdot s^2}$$

$$\Delta p = \text{Druckdifferenz}$$

Torsion eines Zylinders

$$\text{Krümmungen: } \varphi \cdot r = S = l \cdot \tan \tau = l \cdot \gamma$$

$$\text{Kreisringfläche: } d_A = 2 \pi \cdot r \cdot d_r$$

$$\tau = \frac{d_F}{d_A} = G \cdot \tau = G \cdot \frac{\varphi \cdot r}{l} \\ \Rightarrow d_F = G \cdot \frac{\varphi \cdot r}{l} \cdot d_A$$

Drehmoment:

$$d_M = \tau \cdot d_F \quad D: \text{Winkelrichtungsgröße}$$

$$\varphi: \text{Drehwinkel}$$

$$\Rightarrow M = \frac{\pi \cdot G \cdot R^4}{2 \cdot l} \cdot \varphi$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1+\mu)}$$

$t_{0,1}$ = Umschaltzeit

Gleichgewicht mech. Kräfte

statische Luftströmbarkeit

$$F_A = g \cdot \rho_F \cdot V_F$$

ρ_F = Dichte d. verfl. Flüssigkeit

V_F = Volumen d. "

$$F_G = m_K \cdot g = \rho_K \cdot V_K \cdot g$$

ρ_K = Dichte d. Störkörper

V_K = Volumen d. ges. Körper

Schwimmend: $F_A = F_G$

$$g \cdot \rho_F \cdot V_F = g \cdot \rho_K \cdot V_K$$

Schwebekörperdurchflussreiter

$$F_G + F_A + F_{UR} = 0$$

$$F_{UR} = C_W \cdot A_{str} \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot V^2$$

$$m_K \cdot g = g \cdot \rho_F \cdot V_F + C_W \cdot A_{str} \cdot \frac{\rho_F}{2} \cdot V^2$$

$$\frac{V^2}{2} = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_K \cdot V_K) - \rho_F \cdot V_F}{C_W \cdot A_{str} \cdot \rho_F}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_K \cdot V_K) - \rho_F \cdot V_F}{C_W \cdot A_{str} \cdot \rho_F}}$$

C_W : Widerstandsbeiwert

A_{str} : größte zur Stromrichtung stehende Stirnfläche d. Körpers

ρ_F : Dichte des Mediums

Einfache

$$F_A = F_G \quad g \cdot \rho_F \cdot \frac{1}{4} \cdot h \cdot (A^2 - B^2) = m_K \cdot g$$

$$\Rightarrow h = \frac{m_K}{\rho_F} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{A^2 - B^2}$$

Schallgeschw. $\sqrt{\frac{K}{\rho}}$

$$V = A \cdot V = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_u^2) \cdot V \quad (\text{Schallkörperanordnung})$$

$$m = \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_u^2) \cdot V$$

Reibungsspannung / Scherung

$$\tan \tau = \frac{s}{l} \approx \gamma \quad (\text{kleine Scherungen})$$

$$\zeta = \frac{F}{A} = G \cdot T \quad \zeta: \text{Schubspannung}$$

$$G = \frac{\varepsilon}{2 \cdot (1+\mu)} \quad F: \text{Schubkraft} \\ G: \text{Schubmodul}$$

Hydrostatisches Füllstandsmesssystem

hydrostat. Druck

$$p_{hydr} = p_a + p_h$$

Schwerbeschleunigung der Flüssigkeit

$$p_h = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$$

$$\text{Dichte } \rho = \frac{m}{V}$$

Hydrostat. Füllstandsbestimmung

$$\lambda_{p0} = \frac{\Delta p}{g \cdot g} > \frac{p_{\text{Baden}} - p_a}{g \cdot g}$$

p_a = äußerer Druck (Atmosphäre)

p_a = unabhängig v. Höhe der Wanne (Baden)

Volumenstrom / Massenstrom

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V} = \vec{A} \cdot \frac{dS}{dt} = \vec{A} \cdot \vec{V}$$

Volumenstrom

D_u

$$h \cdot \tan \alpha = \frac{1}{2} (D - D_u) \\ \alpha = \arctan \left(\frac{D - D_u}{h} \right)$$

$$D(A) = 2 \cdot h \cdot \tan \alpha + D_u$$

$$\Rightarrow \dot{V} = V \cdot \frac{\pi}{4} ((2 \cdot h \cdot \tan \alpha + D_u)^2 - D_u^2)^2$$

Massenerhaltung

$$m_{01} = m_{02}$$

$$S_{01} \cdot \frac{\Delta S_{02}}{\Delta t} \cdot A_{01} = S_{02} \cdot \frac{\Delta S_{02}}{\Delta t} \cdot A_{02}$$

ΔV_{01}

ΔV_{02}

$$V_{01} \cdot A_{01} = V_{02} \cdot A_{02}$$

V_{0102} = mittl. Stromgeschwindigkeit

A : Querschnitt

Fließmittigkeitsgleichung

$$V_{01} = \frac{A_{02}}{A_{01}} \cdot \sqrt{\frac{V_{02}}{V_{01}}}$$

Parameter: $\frac{A_{02}}{A_{01}} = \mu$ = Einstärungszahl

$$\frac{A_{02}}{A_{01}} = m = \text{Öffnungsverhältnis}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\mu} \cdot (p_{01} - p_{02}) = \frac{\pi}{2} \cdot V_{02}^2 \cdot [1 - m^2]$$

Massenstrom $m = A \cdot \dot{V} \cdot A \cdot C_U \cdot \cot \alpha \cdot \zeta$

Volumestrom: $\dot{V}_{02} = A \cdot \dot{V} \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \Delta p_m}$

ζ : Expansionszahl (≈ 1)

A : Durchflussszahl $\alpha = \frac{M \cdot X}{\sqrt{1 - m^2}}$ X : Berichtigungsfaktor

Stromgeschwindigkeit

$$\frac{1}{2} \rho V^2 + p_{01} \cdot \frac{V}{m} = \frac{1}{2} \cdot V_{02}^2 + p_{02} \cdot \frac{V}{m} = \frac{V_{01}^2}{2} \cdot \rho \cdot p_{01} = \frac{V_{02}^2}{2} \cdot \rho \cdot p_{02}$$

ρ : Dichte d. strömenden Mediums

$p_2 - p_1$: Staudruck

Volumenstrom (Turbinenmaßnahmen)

$$\tan \alpha = \frac{C_U}{V_m} \quad C_U: \text{Umfangs geschw.}$$

$$V_m = \frac{C_U}{\tan \alpha}$$

$$\dot{V} = A \cdot V_m = A \cdot C_U \cdot \cot \alpha \cdot \zeta$$

$$\dot{V} = A \cdot r_T \cdot w \cdot \cot \alpha$$

$$\dot{V} = A \cdot r_T \cdot 2 \pi \cdot f \cdot \cot \alpha$$

$$4.2 \text{ Kapazitive Sensorprinzipien } C = h \cdot \frac{(E_r - 1) \cdot \epsilon_0 + \epsilon_0}{\epsilon_r}$$

Kondensator (allgemein)

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Arbeitspunkte

$$\epsilon_0 = \epsilon_0 - \epsilon_r \cdot A / d$$

Änderung: $dL \rightarrow dC$

$$\Rightarrow \frac{dC}{C_0} = - \frac{dL}{d_0}$$

Kapazitive Feuchtmessung

$$C(L) = C_0 \left(1 + K \cdot \frac{\psi}{100\%}\right)^n$$

Resistive Feuchtmessung

$$R(L) = R_0 \cdot \exp\left(-\frac{\psi}{c \cdot 100\%}\right)$$

4.3 Induktive Sensorprinzipien

Magnetfeld (allgemein)

$$\text{magnetfluss} \Phi = \mu_0 \cdot B \cdot A$$

$$[H] = m / V_s = Wb$$

$$[R_m] = A / V_s$$

$$\text{magn. Flussdichte} B = \mu_0 \cdot M_r \cdot H$$

$$[B] = \frac{V_s}{m^2} = T = 10^5 \text{ G}$$

$$\Phi = \int B \cdot dA$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs / Am}$$

Differenzial-Taucher-

Ankergeber

$$j_1 = S_0 - DS; S_2 = S_0 + 2S$$

$$j_2 = S_0 - So \cdot \frac{L_2 - L_1}{L_2 + L_1}$$

$$\Phi(2, x) = e^{-x} \Phi(2) \cdot x$$

$$\Phi(2, 0) = e$$

Wichtige Parameter d. ionisierenden Strahlung

$$\text{Aktivität} \lambda = \frac{dN}{dt}$$

$$N: \text{Zahl d. zerfallenen Atomkerne}$$

$$[A] = 1 \text{ Bq}$$

(Beugung)

spezifische Aktivität A

$$\text{Aspez} = \frac{A}{m}$$

mit Masse d.

zerfallenden Stoffes B_A

$$[\text{Aspez}] = \frac{B_A}{e_p \cdot m^2}$$

Konzentration

Lebensdauer

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

mittl.

Äußermessung

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Wegmessung

$$\Delta L = L_0 \cdot \frac{\Delta C}{C_0}$$

= $L - L_0$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{h + (h_0 + h)}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}$$

Druckmessung

$$\Delta p = \frac{L}{L_0} \cdot \frac{\Delta C}{C_0}$$

Arbeitspunkt

$$AC = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_0 \cdot (\epsilon_r + h_0 + h) \cdot A}$$

Änderung: $dL \rightarrow dC$

$$\Rightarrow \frac{dC}{C_0} = - \frac{dL}{d_0}$$

Füllstandsmessung

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \left[1 - \frac{h}{d_0} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_0} \right) \right]$$

Wichtigste Parameter d. Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie

Ionendosisleistung

$$\dot{D}_L = \frac{Q}{t}$$

Q: Entstandene Ladungsmenge in 1kg Luft

$$[Q] = \frac{C}{kg \cdot s}$$

Ionendosis

$$\dot{D}_L = \frac{e}{\epsilon} \cdot \dot{D}_L \cdot d \approx [\dot{D}_L] = \frac{C}{kg}$$

Strahlendosis (Energiedosis)

$$DE = \frac{E}{m} = \frac{E \cdot \dot{D}_L}{e} = D_L$$

[DE] = $\frac{J}{kg}$ Gray

E: absorbierte Strahlungsenergie

m: Mass d. durchstrahlten Materie

e: Elementarladung

Dosisleitung (Dosisrate, Energiedosisleistung)

$$DE = \frac{d DE}{dt} [DE] = \frac{Gy}{s}$$

dt: Expositionszeit

Ionendosis (alternativ)

$$D_I = \frac{Q}{m} [D_I] = \frac{C}{kg} = 3508,772 R$$

(Röntgen)

Q: erzeugte Ladung

Aquivalenzdosis

$$H = Q \cdot DE [H] = 1 Sv = 100 rem$$

Q: Qualitätsfaktor (Bewegungsfaktor abh. von Strahlungsart)

$$[Q] = \frac{Sv}{Gy}$$

effektive Aquivalenzdosis

$$H_{eff} = \sum w_i \cdot H_i$$

H: Aquivalenzdosis d. Organs

w: Gewichtsfaktor d. Organs

1. V

2. V

3. Kapazitive Füllstandsmessung L Wellenlänge (Laser) Laufzeit (Gasimpulse)

Druckdiff hydraulisch messung

<p

2.5 Sensorprinzipien aus mechanischen Schwingungen und Wellenausbreitung

Gleichung d. harmonischen Schwingung

$$y(t, x) = y_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot x)$$

$$k = \text{Wellenzahl} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} \quad (\text{Schwingungsperiode})$$

eindimensionale Wellengleichung

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{5}{\rho} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}$$

Kraftmessung

$$F = 2^2 \cdot f^2 \cdot g \cdot A \quad (\text{Frück} = dm \cdot a)$$

$$F = \frac{(2 \cdot e)^2}{n} \cdot f^2 \cdot g \cdot A \quad (\text{2 Newtonsches Axiom})$$

$$F = \frac{\omega^2}{k^2} \cdot g \cdot A$$

Freie gedämpfte Schwingung

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \Rightarrow \ddot{y} = \frac{b}{2m}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{Kreisfrequenz d. ungedämpften harm. Schwingung})$$

K : allg. Richtgröße Federkonstante
 S : Abklingkoeffizient Dämpfungskonstante
 b : Dämpfungskonstante d. Reibungskraft
 y_0 : Anfangsphase

$$y(t) = \sin(\omega t + \varphi_0) \cdot A \cdot e^{-S \cdot t}$$

Ausbreitung einer Welle

$$c = \frac{s}{t_0}$$

Abstandmessung

$$d = \frac{s}{2}$$

Doppler-Effekt

Position Sender/Gelle

Position Empfänger/Betrachter

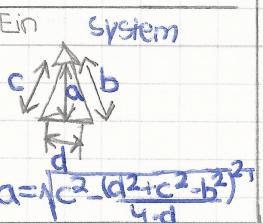
fest

Bewegung Richtungquelle

Bewegung von Gelle weg

Bewegung Richtung betrachter

Bewegung v. betrachterweg



Laufzeitdifferenzverfahren

$$\cos \varphi = \frac{v_{II}}{v} \Rightarrow v_{II} = v \cdot \cos \varphi$$

$$c_{1/2} = c \cdot v_0 = c \cdot v \cdot \cos \varphi \cdot \frac{l}{t_{II}}$$

$$\Rightarrow t_{II/2} = \frac{l}{c \cdot v \cdot \cos \varphi} \quad \Delta t = l \cdot \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \Delta t = 2l \cdot v \cdot \cos \varphi \quad \frac{c_1}{c_2} = \frac{c + v_{II}}{c - v_{II}}$$

Strömungsgeschwindigkeit:

$$v \approx \frac{c_1 \cdot t_{II} - t_I}{2 \cdot \cos \varphi \cdot l}$$

$$v \approx \frac{l \cdot (t_{II} - t_I)}{2 \cdot \cos \varphi \cdot t_1 \cdot t_2}$$

mittl. Strömungsgeschwindigkeit

$$v = \frac{f_a - f_{B2}}{2 \cdot f_Q} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos x}$$

⑤ magnetisch /
g / b (optisch)

⑥ statischen/dynam. / Stell. R_H

Kraftmessung

$$F = 2^2 \cdot f^2 \cdot g \cdot A \quad (\text{Frück} = dm \cdot a)$$

$$F = \frac{(2 \cdot e)^2}{n} \cdot f^2 \cdot g \cdot A \quad (\text{2 New-})$$

tönisches Axiom

$$F = \frac{\omega^2}{k^2} \cdot g \cdot A$$

3.1 Ausdehnung von Flüssigkeiten und festen Körpern

Ausdehnung v. Festkörper

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \cdot \Delta T$$

α : Längenausdehnungskoeffizient
 γ : Raumausdehnungskoeffizient

$$\Delta V = V - V_0 = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$V(\Delta T) = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

$$\text{hier: } \gamma = \frac{1}{123,15K}$$

für Würfel

$$V(\Delta T) = l^3 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)^3$$

$$\Delta T = \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta V}{\gamma \cdot V_0}$$

Temperaturbestimmung

3.2 Sensorprinzip aus Wärmeverlust

Gas

$$\frac{\Delta T}{T_H} = \frac{\Delta Q}{Q_H} \quad (\text{Wärmeverlust})$$

$$\text{Heizung mit } \sim (V_H - V_G) \cdot \frac{\Delta T}{I_H \cdot R_H} \quad (\text{erzwungene Konvektion } \sim \Delta T)$$

3.3 Sensorprinzip der Elektrostatisik und -dynamik

4.1 Resistive Sensorprinzipien

ohmischer Widerstand

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (\rho: \text{Dichte}, l: \text{Länge d. Leiters}, A: \text{Querschnittsfläche})$$

ρ : spezifischer elektr. Widerstand, $\rho = \rho_0 \cdot \frac{e}{T}$ (Temperaturabhängigkeit)

$$R = R_0 + R_0 \cdot \frac{\Delta T}{T_0} \quad (R_0: \text{Referenztemperatur}, \Delta T: \text{Temperaturabweichung})$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{\Delta T}{T_0}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{\Delta T}{T_0}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{T - T_0}{T_0}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{T - T_0}{T_0}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot (T - T_0)\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot (T - T_0)\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right) = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T - T_0}{1/T_0 - 1}\right)$$

$$R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho_0}{R_0} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \frac{T -$$