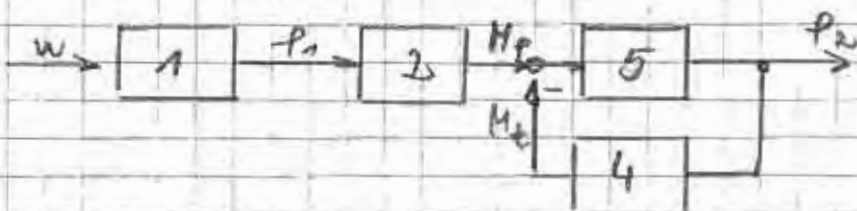
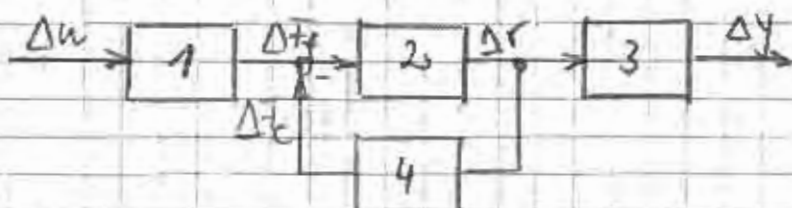


Entwicklung von Signalflussbildern

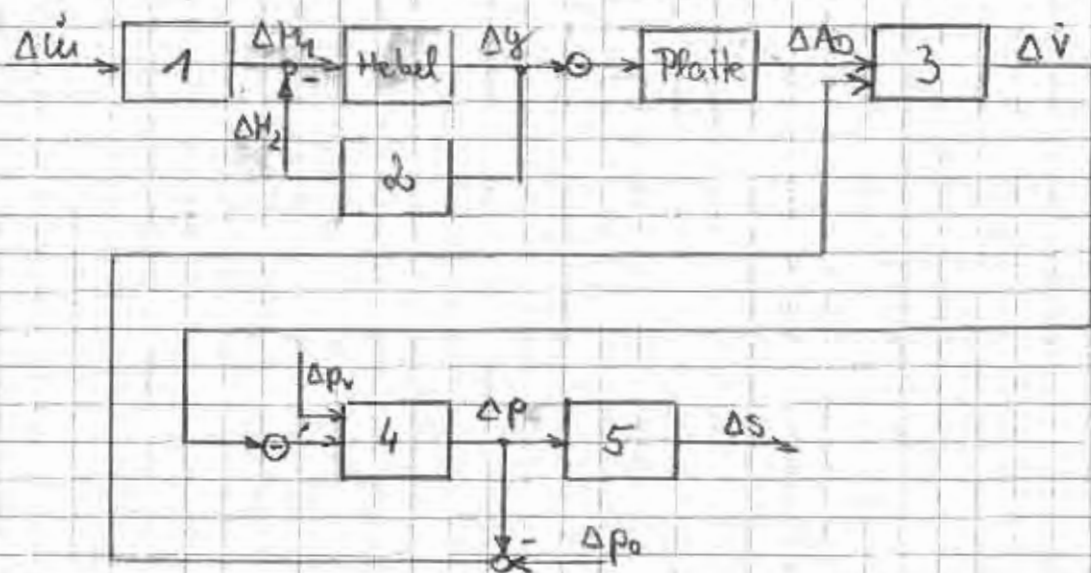
Aufg. 1.1 Wirbelstromtachometer



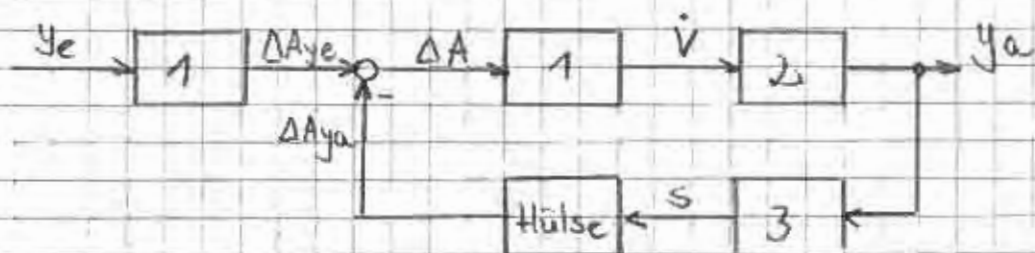
Aufg. 1.2. Fließkrafttachometer



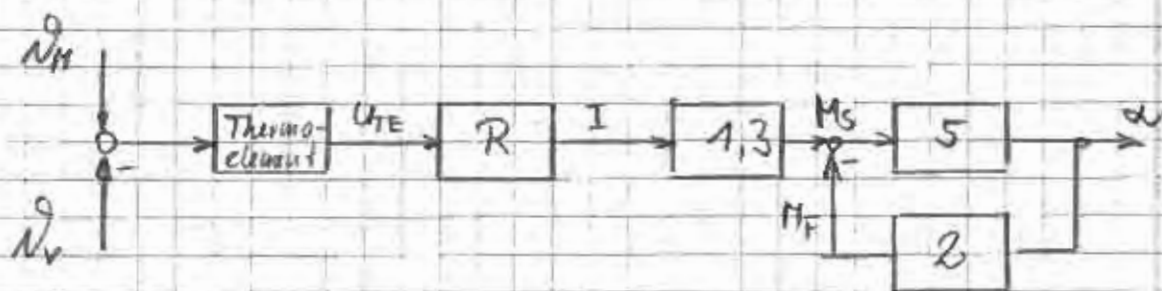
Aufg. 1.3. Kammstrommessrichtung



Aufg. 1.4. Hydraulisches Ventärker



Aufg. 1.5. Temperaturmessrichtung

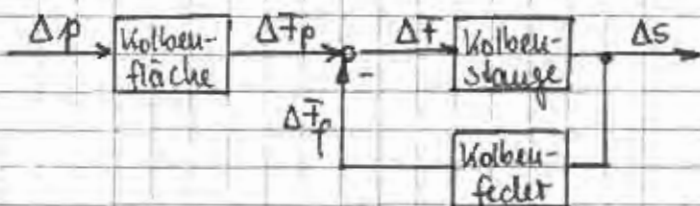


Aufg. 1.6. Selbsttätiger Linderke-Rohr-Kompensator

2. Statisches Verhalten analoger Übertragungsglieder

Aufg. 2.1. Druckmesswerk

Signalflußbild:



• Übertragungsfaktor: $K = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e}$

- Kolbenfläche: $K_A = \frac{\Delta \bar{F}_p}{\Delta p} = A$

- Kolbenstange: $K_S = \frac{\Delta s}{\Delta F}$

- Kolbenfeder: $K_f = \frac{\Delta \bar{F}_f}{\Delta s} = c_f$

• Gesamtübertragungsfaktor:

$$\Delta s = K_S \cdot \Delta F = K_S \cdot (\Delta \bar{F}_p - \Delta \bar{F}_f)$$

$$K_S \cdot \Delta F = K_S \cdot (A \cdot \Delta p - c_f \cdot \Delta s)$$

für Gleichgewicht: $\Delta F \stackrel{!}{=} 0$

$$\Downarrow \quad 0 = A \cdot \Delta p - c_f \cdot \Delta s$$

$$\Delta s = \frac{A}{c_f} \cdot \Delta p$$

$$\rightarrow K_{ges} = \frac{\Delta s}{\Delta p} = \frac{A}{c_F}$$

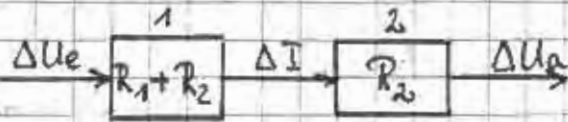
$$K_{ges} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot c_F}$$

$$K_{ges} = \frac{\pi \cdot (80 \text{ mm})^2 \text{ mm}}{4 \cdot 50 \text{ N}}$$

$$\underline{\underline{K_{ges} = 100,5 \text{ mm/MPa}}}$$

Aufg. 2.2. Elektrischer Spannungsteiler

Signalflußbild:



$$\rightarrow K_1 = \Delta I / \Delta U_e = 1 / (R_1 + R_2)$$

$$\rightarrow K_2 = \Delta U_a / \Delta I = R_2$$

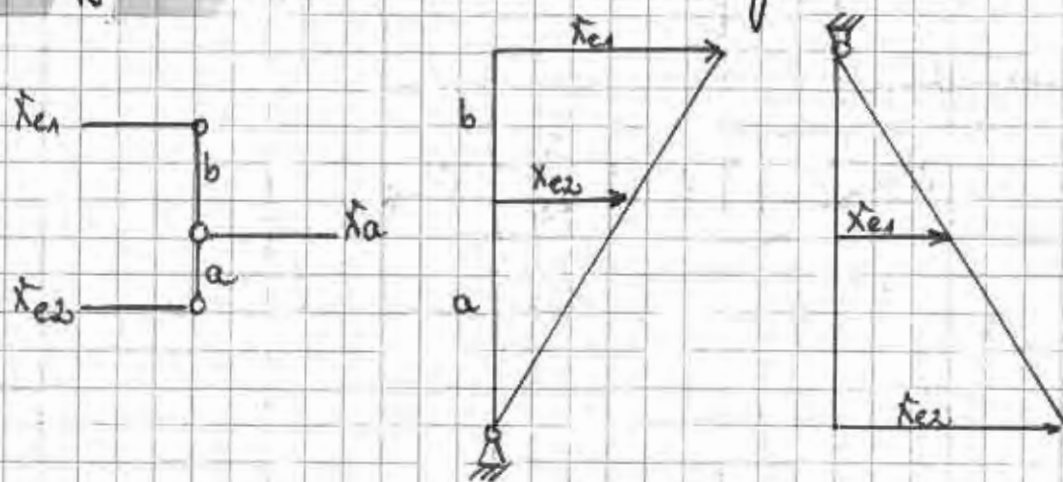
$$K_{\text{ges}} = K_1 \cdot K_2 = \frac{\Delta I}{\Delta U_e} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I} = \frac{1}{(R_1 + R_2)} \cdot R_2$$

$$K_{\text{ges}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$K_{\text{ges}} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega}$$

$$\underline{\underline{K_{\text{ges}} = 2/3}}$$

Aufg. 2.3. Mischstelle mech. Signale



$$x_a = x_{a1} + x_{a2}$$

$$x_{a1} = \underbrace{\frac{a}{a+b}}_{K_1} \cdot x_{e1}$$

$$x_{a2} = \underbrace{\frac{b}{a+b}}_{K_2} \cdot x_{e2}$$

Signalflußbild:



$$K_1 = \frac{x_{a1}}{x_{e1}} = \frac{a}{a+b} = \frac{25}{60} = \underline{0,416}$$

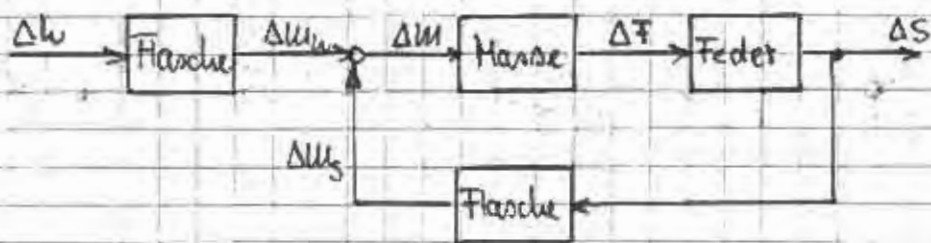
$$K_2 = \frac{x_{a2}}{x_{e2}} = \frac{b}{a+b} = \frac{35}{60} = \underline{0,584}$$

~~$$K_{ges} = K_1 + K_2$$~~

$$\underline{x_a = K_1 \cdot x_{e1} + K_2 \cdot x_{e2}}$$

2.4. Füllstandsmesswerk

Signalflußbild:



Berechnung des Übertragungsfaktors:

$$1) \quad \Delta M_u = \frac{\pi}{4} d^2 \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

$$2) \quad \Delta M_s = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \Delta S \cdot \rho \cdot g$$

$$3) \quad \Delta F = (\Delta M_u + \Delta M_s) \cdot g$$

$$4) \quad \Delta S = \frac{\Delta F}{c_F} = \frac{(\Delta M_u + \Delta M_s) \cdot g}{c_F}$$

$$\Delta S = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{c_F} \cdot (\Delta h + \Delta S)$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta h + \Delta S} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{c_F}$$

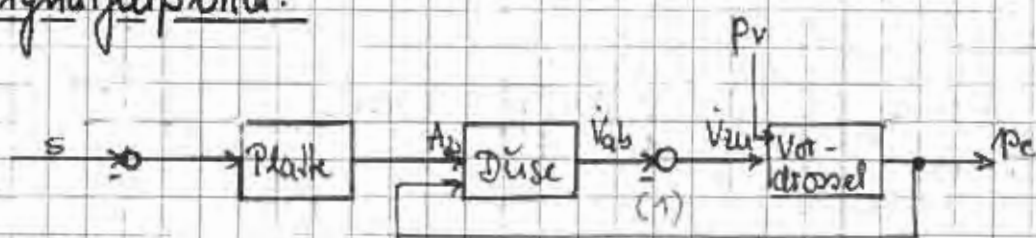
$$1 + \frac{\Delta S}{\Delta h} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{c_F}$$

$$\Delta S = \left(\frac{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{c_F} - 1 \right) \cdot \Delta h$$

$$\underline{\underline{\Delta S = 0,0207 \cdot \Delta h}}$$

Aufg. 2.5. Pneumatischer Verstärker

Signalflussbild:



(1) → Bilanzstelle: $\dot{V}_{ab} = \dot{V}_{zu}$

$$\dot{V} = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{p_1 - p_2}$$

$$\alpha \cdot A_1 \cdot \sqrt{p_v - p_e} = \alpha \cdot A_2 \cdot \sqrt{p_e}$$

$$p_e = p - p_{amb} \quad \text{† Stud.-aufg. J. 105}$$

$$A_1 \cdot \sqrt{p_v - p} = A_2 \cdot \sqrt{p}$$

$$p = - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \cdot p + p_v$$

$$\text{mit: } A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 \quad \text{für } s \geq d_2/4$$

$$A_2 = \pi \cdot d_2 \cdot s \quad \text{für } s \leq \frac{d_2}{4} = 0,25 \text{ mm}$$

→ Kennlinie:

$$\frac{p_v - p}{p} = \left(\frac{\frac{\pi}{4} d_2 \cdot s}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \right)^2$$

$$\frac{p_v - p}{p} = \left(\frac{4 \cdot d_2 \cdot s}{d_1^2} \right)^2$$

$$\frac{p_v}{p} - 1 = \left(\frac{4 \cdot d_2 \cdot s}{d_1^2} \right)^2$$

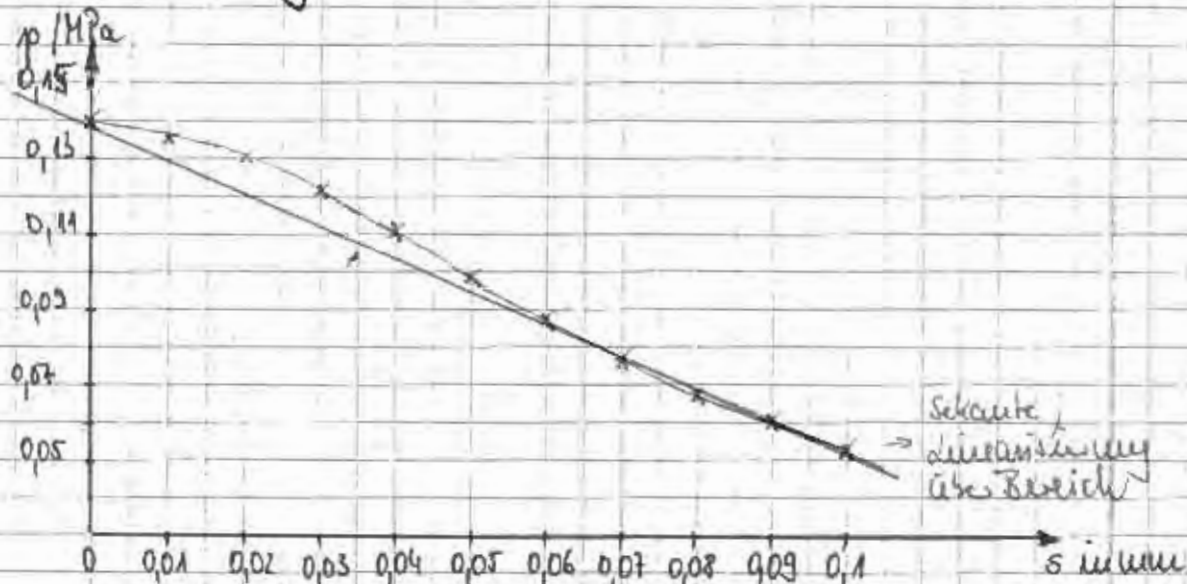
$$p = \frac{p_v}{\left(\frac{4 \cdot d_2 \cdot s}{d_1^2} \right)^2 + 1}$$

$$p = \frac{p_v}{\left(\frac{4 \cdot d_2}{d_1^2} \right)^2 \cdot s^2 + 1}$$

→ $p \sim \frac{1}{s^2}$ → nichtlinear!

↳ Linearisierung erforderlich!

→ Linearisierung im Bereich: $s = 0 \dots 0,1 \text{ mm}$:



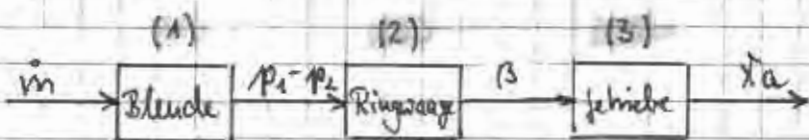
s	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
p	0,137	0,131	0,123	0,111	0,099	0,088	0,077	0,068	0,06	0,053

$$\begin{aligned} \rightarrow \frac{\Delta p}{\Delta s} &= - \left(\frac{p(s=0) - p(s=0,1)}{\Delta s} \right) \\ &= - \left(\frac{0,14 \text{ MPa} - 0,053 \text{ MPa}}{0,1 \text{ mm}} \right) \\ &= \underline{\underline{- 0,87 \text{ MPa/mm}}} \end{aligned}$$

Aufg. 2.6. Ringwaage

Stud.-aullg. S. 109

Signalflussbild:



$$(1): \quad p_1 - p_2 : m = \frac{C \cdot \pi \cdot \epsilon}{4 \cdot \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot (p_1 - p_2)}$$

Umstellung: $\sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot (p_1 - p_2)} = \frac{m \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}}{C \cdot \pi \cdot \epsilon}$

$$p_1 - p_2 = \left(\frac{4 \cdot m}{C \cdot \pi \cdot \epsilon} \right)^2 \cdot \frac{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}{2 \cdot \rho_1}$$

$$p_1 - p_2 = \left(\frac{4}{C \cdot \pi \cdot \epsilon} \right)^2 \cdot \frac{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}{2 \cdot \rho_1} \cdot m^2 \quad \left. \begin{array}{l} \text{Nichtlinear} \\ \text{Linearisierung} \end{array} \right\}$$

Linearisierung nach Δm :

$$\Rightarrow \Delta(p_1 - p_2) = A_1 \cdot 2 \cdot m_0 \cdot \Delta m$$

$$(2): \quad \beta : \quad p_1 - p_2 = \frac{m_g \cdot g \cdot l}{A_H \cdot R} \cdot \sin \beta$$

Umstellung: $\beta = \arcsin \left[\frac{A_H \cdot R}{m_g \cdot g \cdot l} \cdot (p_1 - p_2) \right]$

Linearisierung nach $\Delta \beta$:

$$\Rightarrow \Delta \beta = \frac{A_2}{1 - [A_2(p_1 - p_0)]^2} \cdot \Delta(p_1 - p_2)$$

$$1 - [A_2(p_1 - p_0)]^2$$

$$(3): \quad \hat{x}_a = n \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \beta \quad ?$$

Übertragungsfaktoren:

$$K_1 = \frac{\Delta(p_1 - p_2)}{\Delta u}$$

$$K_2 = \frac{\Delta \beta}{\Delta(p_1 - p_2)}$$

$$K_3 = \frac{\Delta \hat{x}_a}{\Delta \beta}$$

$$K_{\text{ges}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$\underline{K_{\text{ges}} = \frac{\Delta \hat{x}_a}{\Delta u}}$$

Aufg. 2.7. Drehzahlmesserwerk

Momentengleichgewicht: $C \cdot s \cdot l_2 = m r \omega^2 \cdot l_1 \cdot \cos \alpha$
 $\omega = 2\pi n$

Kennlinie: $s = f(n, r)$

$$s = \frac{m r \omega^2 l_1 \cos \alpha}{C \cdot l_2} \quad \text{für } \alpha \rightarrow 0 \rightarrow \cos \alpha = 1$$

$$s = \frac{m \cdot r \cdot 4\pi^2 n^2 \cdot l_1}{C \cdot l_2}$$

$$s = \underbrace{\frac{4 m \pi^2 \cdot l_1}{C \cdot l_2}}_A \cdot n^2 \cdot r$$

Kennlage / Bezugslage:

$$s_0 = A \cdot n_0^2 \cdot r_0$$

Linearisierung im Punkt n_0 (Tangente):

$$\Delta s = \left. \frac{\partial s}{\partial n} \right|_{n_0} \Delta n + \left. \frac{\partial s}{\partial r} \right|_{r_0} \Delta r$$

$$\Delta s = A \cdot 2 n_0 r_0 \Delta n + A \cdot n_0^2 \cdot \Delta r$$

$$\text{mit: } \Delta r \approx \frac{l_1}{l_2} \cdot \Delta s$$

$$\rightarrow \Delta s = A \cdot 2 n_0 r_0 \cdot \Delta n + A \cdot n_0^2 \cdot \frac{l_1}{l_2} \cdot \Delta s$$

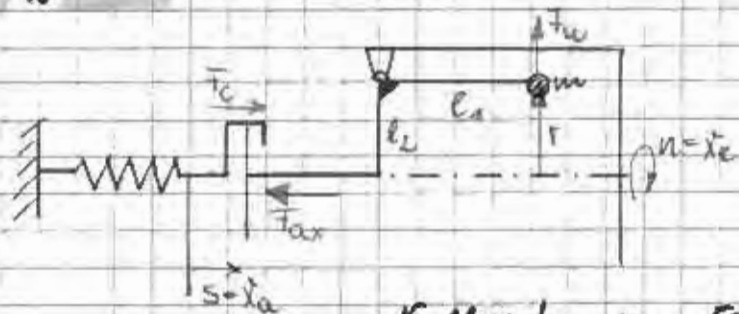
$$\Delta S \cdot \left(1 - A \cdot n_0^2 \cdot \frac{l_1}{l_2} \right) = A \cdot 2 \cdot n_0 \cdot r_0 \cdot \Delta u$$

$$\Delta S = \frac{2 \cdot A \cdot n_0 \cdot r_0 \cdot \Delta u}{1 - A \cdot n_0^2 \cdot \frac{l_1}{l_2}}$$

Übertragungsfaktor Messwerk:

$$K_{\text{MW}} = \frac{\Delta S}{\Delta u} = \frac{2 \cdot A \cdot n_0 \cdot r_0}{1 - \frac{l_1}{l_2} \cdot A \cdot n_0^2}$$

Aufg. 2.7. Drehzahlmesswerk



$$450 < n < 550$$

$$n_0 = 500$$

Nullwerte: $n_0 = 500$

$$r_0 = 85 \text{ mm}$$

$$\omega = 2\pi n$$

$$\rightarrow \omega_0 = 52,36 \text{ s}^{-1}$$

$$F_c = F_{ax} \quad F_c = c \cdot s$$

$$F_u = m \omega^2 r$$

Hebel: (Näherung) $F_u = \frac{l_2}{l_1} \cdot c \cdot s$

$$s_0 = \frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \pi^2 \cdot n_0^2 \cdot r_0}{l_2 \cdot c} \rightarrow s_0 = 10,36 \text{ mm}$$

Beschreibung des statischen Verhaltens (Nichtlinearität):

$$s = \frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{l_2 \cdot c}$$

$$r = r_0 + \Delta r$$

$$\Delta r = \Delta s \cdot \frac{l_1}{l_2} = k_3 \cdot \Delta s$$



$$r = r_0 + \frac{l_1}{l_2} \cdot \Delta s = r_0 + \frac{l_1}{l_2} (s - s_0)$$

$$s = \frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \pi^2 \cdot n^2 \cdot \left(r_0 + \frac{l_1}{l_2} (s - s_0) \right)}{l_2 \cdot c}$$

ges.: $s = f(u) \rightarrow$ iterativ zu ermitteln

Tabelle:

n	s	$s_0 + \Delta s$
450	8,20	8,05
\vdots	\vdots	\vdots
490	9,90	9,90
500	10,36	10,36
510	10,83	10,83
\vdots	\vdots	\vdots
550	12,86	12,68

Linearisierung: $s = \frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot u^2 \cdot \tau}{l_2 \cdot c}$

$$\Delta s = \left. \frac{\partial s}{\partial u} \right|_0 \cdot \Delta u + \left. \frac{\partial s}{\partial \tau} \right|_0 \cdot \Delta \tau$$

$$\Delta s = \underbrace{\frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \cdot \pi^2 \tau_0 \cdot 2u_0}{l_2 \cdot c}}_{K_1 = 0,0414 \text{ mm/mm}} \cdot \Delta u + \underbrace{\frac{l_1 \cdot m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot u_0^2}{l_2 \cdot c}}_{K_2 = 0,12} \cdot \Delta \tau$$

Bilanz:

$K_3 \rightarrow$

$$\Delta s = K_1 \cdot \Delta u + K_2 \cdot \Delta \tau$$

$$\Delta s = K_1 \cdot \Delta u + K_2 \cdot K_3 \cdot \Delta s$$

$$\Delta s = \frac{K_1}{1 - K_2 \cdot K_3} \cdot \Delta u$$

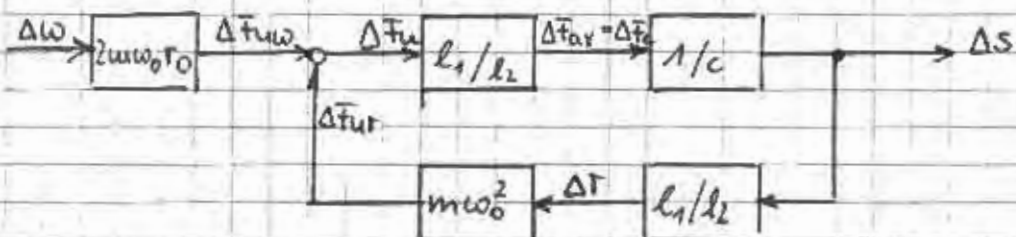
$$K_{\text{ges}} = 0,0463 \text{ mm/mm}$$

Signalflussbild:

$$F_u = m\omega^2 r$$

$$\Delta \bar{F}_u = \left. \frac{\partial F_u}{\partial \omega} \right|_0 \cdot \Delta \omega + \left. \frac{\partial F_u}{\partial r} \right|_0 \cdot \Delta r$$

$$\Delta \bar{F}_u = \underbrace{m 2\omega_0 r_0 \Delta \omega}_{\Delta \bar{F}_{u\omega}} + \underbrace{m\omega_0^2 \Delta r}_{\Delta \bar{F}_{ur}}$$



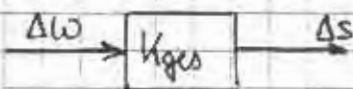
Zinbau: $\Delta \bar{F}_u = \Delta \bar{F}_{u\omega} + \Delta \bar{F}_{ur}$

$$\Delta \bar{F}_{ax} = \frac{l_1}{l_2} \cdot \Delta \bar{F}_u = \Delta \bar{F}_c$$

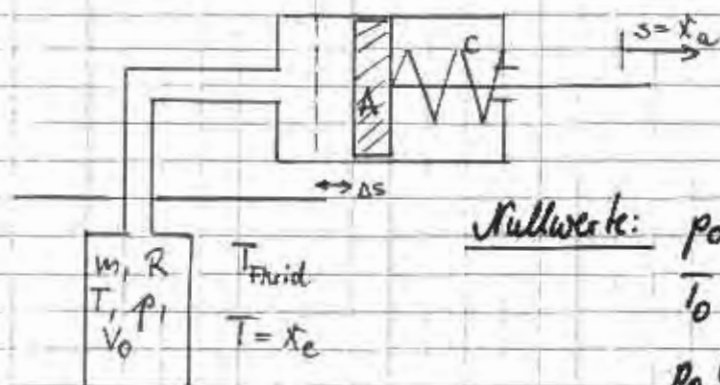
$$F_c = c \cdot s$$

$$\Delta s = \frac{1}{c} \cdot \Delta \bar{F}_c$$

$$K_{ges} = \frac{\Delta s}{\Delta \omega}$$



Aufg. 2.8. Gasdruckthermometer



Nullwerte: $p_0 = 0,12 \text{ MPa}$

$T_0 = 293,15 \text{ K}$

$p_0 V_0 = m R T_0$

$V_0 = 46,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$s_0 = 24 \text{ mm}$

$\Delta V = A \cdot \Delta s$

$p \cdot A = c \cdot s$

$p \cdot V = m R T$

$s_0 = \frac{m \cdot R \cdot T_0 \cdot A}{V_0 \cdot c}$

Tabelle:

$T / ^\circ\text{C}$	s	$s_0 + \Delta s$
20	24	24
40	25,23	25,25
⋮	⋮	⋮
100	28,77	28,99

$s = \frac{m \cdot R \cdot A \cdot T}{c \cdot (V_0 + A \cdot (s - s_0))}$

Linearisierung:

$\Delta s = \left. \frac{\partial s}{\partial V} \right|_0 \cdot \Delta V + \left. \frac{\partial s}{\partial T} \right|_0 \cdot \Delta T$

$\Delta s = \frac{-m \cdot R \cdot A \cdot T_0}{c \cdot V_0^2} \cdot \Delta V + \frac{m \cdot R \cdot A}{c \cdot V_0} \cdot \Delta T$

$K_2 = 0,00052 \text{ mm}^{-2}$

$K_1 = 0,0819 \text{ mm/K}$

$$\Delta S = -K_2 \cdot \Delta V + K_1 \cdot \Delta T$$

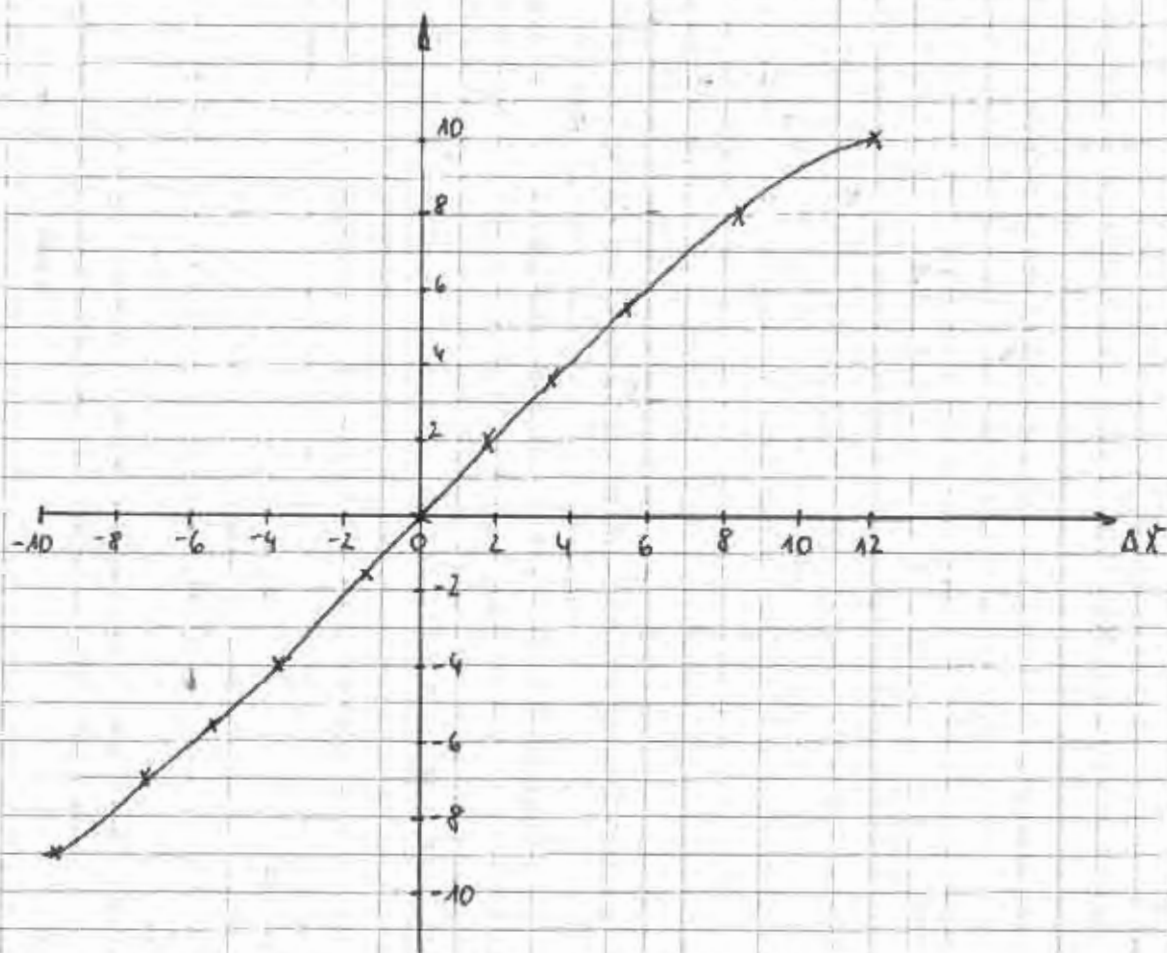
$$\Delta S = -K_2 K_3 \cdot \Delta S + K_1 \cdot \Delta T$$

$$\text{NR: } \Delta V = A \cdot \Delta S \\ A = K_3$$

$$\Delta S = \frac{K_1}{1 + K_2 K_3} \cdot \Delta T$$

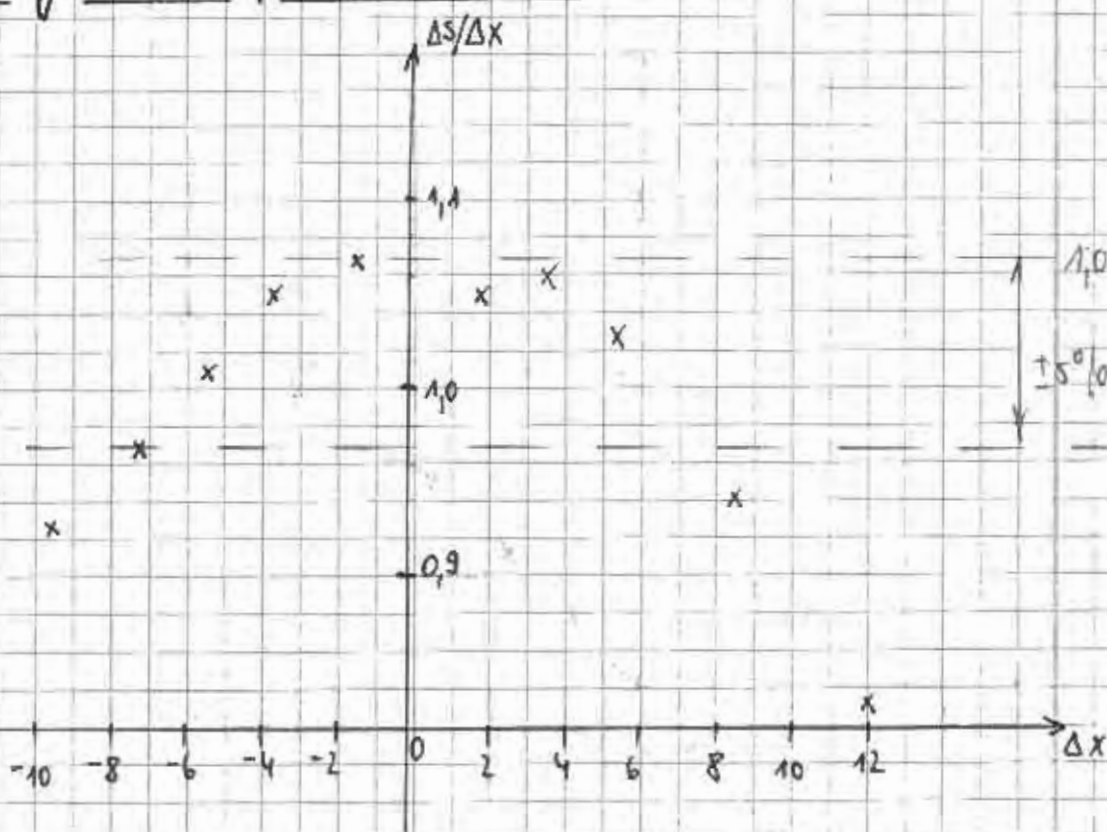
$$= K_{\text{ges}} = 0,0624 \frac{\text{mm}}{\text{K}}$$

Aufg. 2.9.

BewegungsmessungKumulierte Kesselnichtung:Berechnung von $\Delta s / \Delta x$:

Δx	-9,6	-7,2	-5,4	-3,8	-1,4	0	1,9	3,3	5,3	8,5	12,0
Δs	-9,0	-7,0	-5,5	-4,0	-1,5	0	2,0	3,5	5,5	8,0	10,0
$\Delta s / \Delta x$	0,9375	0,972	1,0185	1,0526	1,071	0	1,0526	1,061	1,0377	0,94	0,833

Auftragen von $\Delta S/\Delta x$ über Δx :



3. Versuchsauswertung und Fehlerrechnung

↑ Stud.-Anleitung 5.62 - 5.77

max. Fehler: $\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial y}{\partial z} \cdot \Delta z$

für $y = f(x, z)$

Wahrscheinl. Fehler: $\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial z} \cdot \Delta z\right)^2}$

Aufg. 3.1. Kalibrierung Messrichtung

geg.: Datensatz $(x; y)$

$$y = a \cdot x \quad ; \quad y = a \cdot x + b \rightarrow \text{Ausgleichsgeraden}$$

ges.: a, b ; Standardabweichung für a, b ;
Korrelationskoeff. r

Lsg.: 1. Stud.-Anl. S. 71, 72

$$\underline{y = a \cdot x} \quad : \quad a = \frac{[y \cdot x]}{[x^2]}$$

$$s_a = \sqrt{\frac{\frac{[y^2]}{[x^2]} - a^2}{N-1}}$$

$$\underline{y = a \cdot x + b} \quad : \quad a = \frac{[y \cdot x] \cdot N - [x] \cdot [y]}{N \cdot [x^2] - [x]^2}$$

$$b = \frac{[x^2] \cdot [y] - [x] \cdot [y \cdot x]}{N \cdot [x^2] - [x]^2}$$

$$s_b = \sqrt{\frac{[y^2] - b \cdot [y] - a [y \cdot x]}{(N-2) \cdot (N \cdot [x^2] - [x]^2)}} \cdot [x^2]$$

$$s_a = \sqrt{\frac{[y^2] - a \cdot [y] - b [y \cdot x]}{(N-2) \cdot (N \cdot [x^2] - [x]^2)}} \cdot N$$

$$\text{Korrelationskoeffizient: } r = \frac{N \cdot [yx] - [x][y]}{\sqrt{(N \cdot [x^2] - [x]^2)(N \cdot [y^2] - [y]^2)}}$$

Aufg. 3.2.

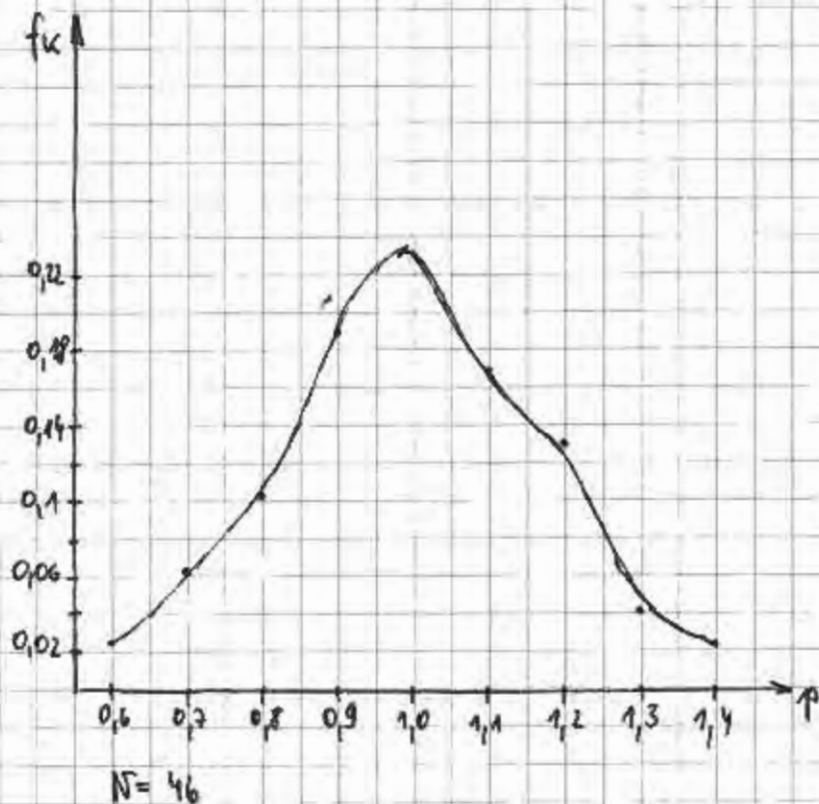
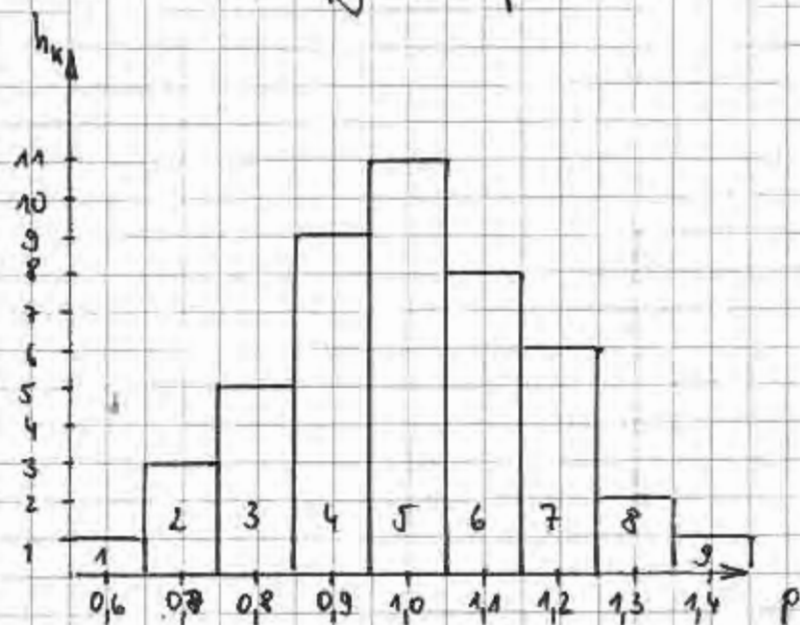
Reihe barometrischer Luftdruck

a) arithmetischer Mittelwert:

↑ Stud.-Anl. S. 70

b) Klassenhäufigkeit: $h_k = f(x)$

relative Häufigkeit: $f_k = h_k / N$ mit $N = \sum h_k$



$$c) S(x) = \sum_1^{k_{\max}} f_k ; k_{\max} \dots \text{Anzahl der Klassen}$$

↳ relative empirische Summenhäufigkeit

$$d) f_{\max} = \frac{h_{\max}}{N \cdot \Delta x} \rightarrow \text{relative Klassenhäufigkeit}$$

$$f(x, \bar{x}, \sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma}\right)^2} \rightarrow \text{normierte Normalverteilung}$$

→ daraus Bestimmung von σ :

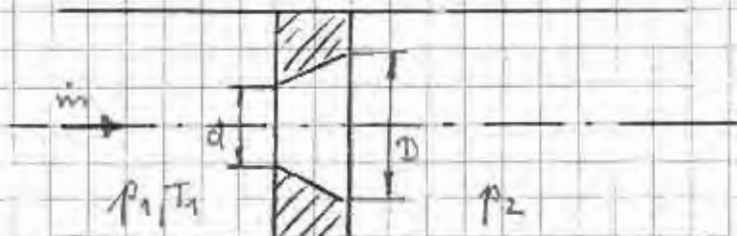
f_{\max} bei $x = \bar{x}$ ↗

$$\sigma = \frac{N \cdot \Delta x}{f_{\max} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}$$

Aufg. 3.3. Durchflussmessung

a) ges.: wahrscheinlicher relativer Fehler für \dot{m}/\dot{m}

1. Skid.-Aultg. S. 126



$$\dot{m} = \frac{C \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot S_1 \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{1 - \beta^4}} \quad \text{mit: } S_1 = \frac{p_1}{R \cdot T_1}$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$\dot{m} = \frac{C \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{1 - \frac{d^4}{D^4}}}$$

$$\dot{m} = \frac{C^1 \cdot \varepsilon^2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1^3}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}}$$

○ ... fehlerbehaftete Größen

→ Fehleranteil von C:

$$\dot{m} = C \cdot \frac{\varepsilon \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}} = K_1$$

$$\dot{m} = K_1 \cdot C$$

$$f_1 = \frac{\partial \dot{m}}{\partial C} \cdot \frac{\Delta C}{\dot{m}} = \frac{K_1 \cdot \Delta C}{K_1 \cdot C} = \frac{\Delta C}{C}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \pm \beta \cdot 10^{-2} \text{ f\u00fcr } \beta > 0,6 \quad \left(\beta = \frac{\alpha}{D} = \frac{61,5}{83} = 0,74 \right)$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \pm 0,01 \cdot 0,74$$

$$\underline{\underline{\frac{\Delta c}{c} = \pm 0,0074}}$$

⋮

Aufg. 3.3. Bleibe, Harneshornmessung

$$\dot{m} = \frac{C \cdot \epsilon \cdot \pi \cdot d^2 \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{1 - \beta^4}}$$

mit $\rho_1 = \frac{p_1}{R \cdot T_1}$

$$\beta = \frac{d}{D}$$



$$\dot{m} = \frac{C \cdot \epsilon \cdot \pi \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \sqrt{1 - \frac{d^4}{D^4}}} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon \cdot \pi \sqrt{2 \cdot \frac{p_1^3}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \sqrt{\frac{1}{D^4} - \frac{1}{d^4}}}$$

... Fehlerbehaftete Größen

$$\dot{m} = \frac{C \cdot \epsilon \cdot \pi \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{R \cdot T_1} \cdot (p_1 - p_2)}}{4 \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}} = K_1 \cdot C$$

→ Teileranteil von C:

$$f_1 := \frac{\partial \dot{m}}{\partial C} \cdot \frac{\Delta C}{\dot{m}} = \frac{K_1 \cdot \Delta C}{K_1 \cdot C} = \frac{\Delta C}{C}$$

Stud-aufg. S. 126: $\frac{\Delta C}{C} = (1,647 \beta - 0,5) \cdot 10^{-2}$

$$\frac{\Delta C}{C} = 0,0072$$

→ Teileranteil von ϵ :

$$f_2 := \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \Rightarrow \text{Stud-aufg. S. 126}$$

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{p_1}$$

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = 0,0008$$

Fehleranteil p_1 :

$$m = K_3 \cdot p_1^{0,5}$$

$$f_3 := \frac{\partial m}{\partial p_1} \cdot \frac{\Delta p_1}{m} = \frac{K_3 \cdot \frac{\Delta p_1}{2 p_1^{0,5}}}{2 p_1^{0,5} K_3 \cdot p_1^{0,5}} = \underline{\underline{\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta p_1}{p_1}}}$$

Fehleranteil T_1 :

$$f_4 := -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta T_1}{T_1}$$

Fehleranteil $(p_1 = p_2)$:

$$f_5 := \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta(p_1 - p_2)}{p_1 - p_2}$$

$$m = \frac{C \cdot \epsilon \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{RT_1} (p_1 - p_2)}}{4 \cdot \sqrt{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}} \cdot K_6 = K_6 \cdot \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right)^{-0,5}$$

$$f_6 := \frac{\partial m}{\partial d} \cdot \frac{\Delta d}{m} = \frac{K_6 \cdot (-4) \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \Delta d}{(-2) \cdot \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot d^5 \cdot K_6}$$

$$f_6 = \frac{2 \cdot \Delta d}{\left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right) d^4 \cdot d} = \frac{2}{\left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right)} \cdot \frac{\Delta d}{d}$$

f_7 analog f_6 :

$$f_7 := \frac{-2}{\left(\frac{D^4}{d^4} - 1 \right)} \cdot \frac{\Delta D}{D}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\frac{\Delta m}{m} = 0,0268}}$$

Aufg. 3.4.

Wirkungsgrad Gleichstrommotor

Spannungsmesser: Meßbereich: 600 V = 30 Skt

Anzeige: 19 Skt

$$\leadsto \text{Verketenfehlergrenze} = \pm \frac{\text{Meßbereich} \cdot \text{Kl.}}{100}$$

(Stud.-Aultg. S. 65)

$$\text{Verketenfehlergrenze} = \pm \frac{600 \text{ V} \cdot 1,5}{100}$$
$$= \pm 9 \text{ V}$$

$$\leadsto \text{Anzeige: } \frac{600 \text{ V}}{30 \text{ Skt}} \cdot 19 \text{ Skt} = \underline{\underline{380 \text{ V}}}$$

Strommesser: Meßbereich: 3 A = 30 Skt.

Anzeige: 24 Skt.

$$\leadsto \text{Verketenfehlergrenze} = \pm \frac{3 \text{ A} \cdot 1,5}{100}$$
$$= \pm 45 \text{ mA}$$

$$\leadsto \text{Anzeige: } \frac{3 \text{ A}}{30 \text{ Skt}} \cdot 24 \text{ Skt} = \underline{\underline{2,4 \text{ A}}}$$

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{el}}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot u}{u \cdot I}$

$$\eta = \frac{2 \pi L f u}{u \cdot I}$$

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi \cdot 14 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 20}{380 \text{ V} \cdot 2,4 \text{ A}} \quad \text{s}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,965}}$$

maximaler Fehler:

$$\Delta y_{\max} = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right|$$

$$\rightarrow \Delta y_{\max} = \frac{\partial y}{\partial L} \cdot \Delta L + \frac{\partial y}{\partial F} \cdot \Delta F + \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \Delta u + \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \Delta u + \frac{\partial y}{\partial I} \cdot \Delta I$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta I}{I}$$
$$= 0,0885$$

$$\Delta y = 0,0885 \cdot y$$

$$\Delta y = 0,085$$

Wahrscheinlicher Fehler:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right)^2}$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F} \right)^2 + \left(\frac{\Delta u}{u} \right)^2 + \left(\frac{\Delta u}{u} \right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I} \right)^2}$$
$$= 0,048$$

$$\Delta y = 0,048 \cdot y$$

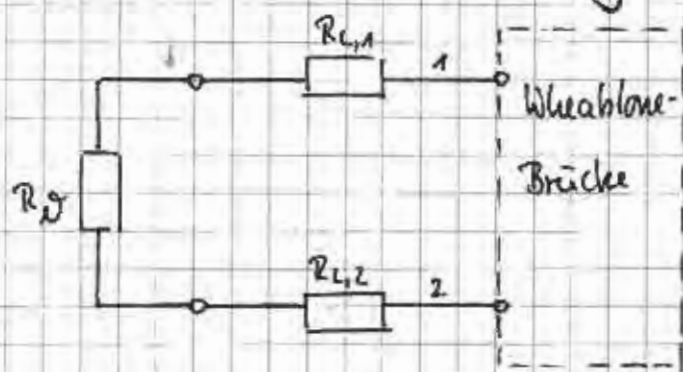
$$\Delta y = 0,046$$

Aufg. 3.6. PT100 - Widerstandsthermometer

- 100 Ω bei 0°C $\rightarrow R_0$
- 138,5 Ω bei 100°C
- Messung bei 75°C
- Messwiderstand ohne Leitungen = 128,7 Ω
- Messumformer mit Wheatstonescher Brücke
- Anzeigen in °C kalibriert

a) Zwei-Leiter-Schaltung; geforderter gesamtwiderstand $R_{L1} + R_{L2} = 20 \Omega$

Skizze d. Brückenschaltung: 1 Stud.-aullg. S. 98



angewählte Temp. der Messstelle:

- Entf. zw. Thermometer u. Messumformer: 75 m
- Verwendung von Kupferdraht mit $\rho = 57,5 \text{ m}/\text{mm}^2$
- Durchmesser Kupferdraht: $d = 0,5 \text{ mm}$

\rightarrow Leitungswiderstand: $R_{L1} = \frac{L}{\rho \cdot A} = \frac{4 \cdot 75 \text{ m} \cdot \text{mm}^2}{57,5 \text{ m} \cdot \pi \cdot (0,5)^2 \text{ mm}^2}$

$R_{L1} = 6,7 \Omega = R_{L2}$

$\rightarrow R_L = 13,4 \Omega$

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} &= 128,7 \Omega + R_L \\ &= \underline{\underline{142,1 \Omega}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{scheinbar}} &= R_{\text{ges}} = 20 \Omega \\ &= \underline{\underline{122,1 \Omega}} \end{aligned}$$

$$N_{\text{scheinbar}} = \frac{1}{\bar{\alpha}_2} \cdot \left(\frac{R_N}{R_{0^\circ\text{C}}} - 1 \right)$$

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{R_{100^\circ\text{C}} - R_{0^\circ\text{C}}}{R_{0^\circ\text{C}} \cdot 100\text{K}}$$

$$\bar{\alpha}_2 = \underline{\underline{3,85 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}}}$$

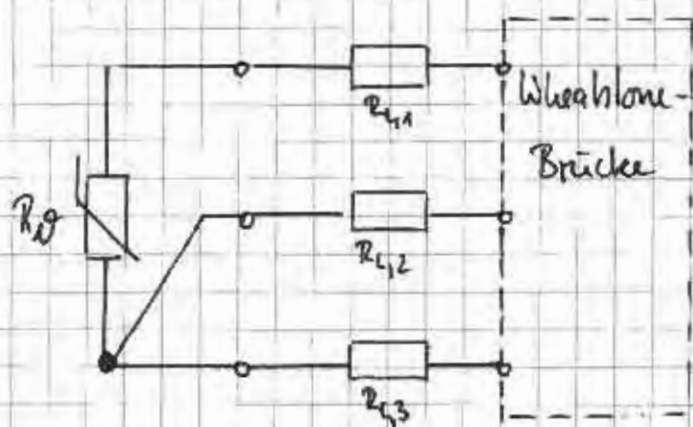
$$N_{\text{scheinbar}} = \underline{\underline{52,4 \text{ K}}}$$

absoluter Temp.-fehler.

$$\Delta N = -N + N_{\text{scheinbar}}$$

$$\Delta N = \underline{\underline{-17,6 \text{ K}}}$$

b) Drei-Leiter-Schaltung, zulässiger Widerstand
je Leitung im Fall $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = 20 \Omega$



da $R_{L1} = R_{L3}$, $R_L < 50 \Omega$ \rightarrow Einfluss des
 Leitungswiderstandes wird eliminiert!

$$\rightarrow \underline{R_{\text{Scheinbar}} = R_D = 128,7 \Omega}$$

$$\rightarrow \underline{N_{\text{Scheinbar}} = \frac{1}{Z_R} \cdot \left(\frac{R_D}{R_{0c}} - 1 \right)}$$

$$= \underline{74,55 \text{ K}}$$

$$\rightarrow \underline{\Delta N = N_{\text{Scheinbar}} - N}$$

$$= 74,55 \text{ K} - 75^\circ \text{C}$$

$$= \underline{-0,45 \text{ K}}$$

Aufg. 3.7. Thermoclement

a) Messrichtung: Lіндек-Ротте-Компрессор

$$I_{\text{Anzeige}} = U_{TE} \cdot \frac{N_2 - N_1}{U_{TE} N_2 - U_{TE} N_1} + N_1$$

b) Messrichtung: Dreispulmeßwerk

$$U_H = U_{TE} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_L + R_{TE}}$$

$$\rightarrow I_{\text{Anzeige}} = U_H \cdot \frac{N_2 - N_1}{U_{TE} N_2 - U_{TE} N_1} + N_1$$

Aufg. 3.8 Heizkörper, max. Fehler

geg.: $\dot{m} = (20 \pm 0,5) \text{ kg/min} = \frac{1}{3} \text{ kg/s}$

$\dot{T}_E = (80 \pm 2,5)^\circ\text{C}$

$\dot{T}_A = (60 \pm 2,5)^\circ\text{C}$



$\rightarrow \dot{T}_{\text{diff}} = (\dot{T}_A - \dot{T}_E) = 20 \pm 2,5^\circ\text{C}$

Berechnung d. Wärmemenge: $\dot{Q} = c \cdot \dot{m} (\dot{T}_E - \dot{T}_A)$
 $= 27,9 \cdot 10^3 \text{ W}$

$\Delta \dot{Q} = \frac{\partial \dot{Q}}{\partial x} \cdot \Delta x$

Fall I:

$\Delta \dot{Q} = \frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{T}_E} \cdot \Delta \dot{T}_E + \frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{T}_A} \cdot \Delta \dot{T}_A + \frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{m}} \cdot \Delta \dot{m}$

$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = \frac{\dot{m} c \cdot \Delta \dot{T}_E}{\dot{m} c (\dot{T}_E - \dot{T}_A)} - \frac{\dot{m} c \Delta \dot{T}_A}{\dot{m} c (\dot{T}_E - \dot{T}_A)} + \frac{c (\dot{T}_E - \dot{T}_A) \cdot \Delta \dot{m}}{\dot{m} c (\dot{T}_E - \dot{T}_A)}$

$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = \frac{|\Delta \dot{T}_E|}{\dot{T}_E - \dot{T}_A} + \frac{|\Delta \dot{T}_A|}{\dot{T}_E - \dot{T}_A} + \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}}$

$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = 0,276$

Fall II: $\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \dot{T}_{\text{diff}}$

$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = \frac{\Delta \dot{T}}{\dot{T}_{\text{diff}}} + \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}}$

$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = 0,15$

mit Meßinstrumenten

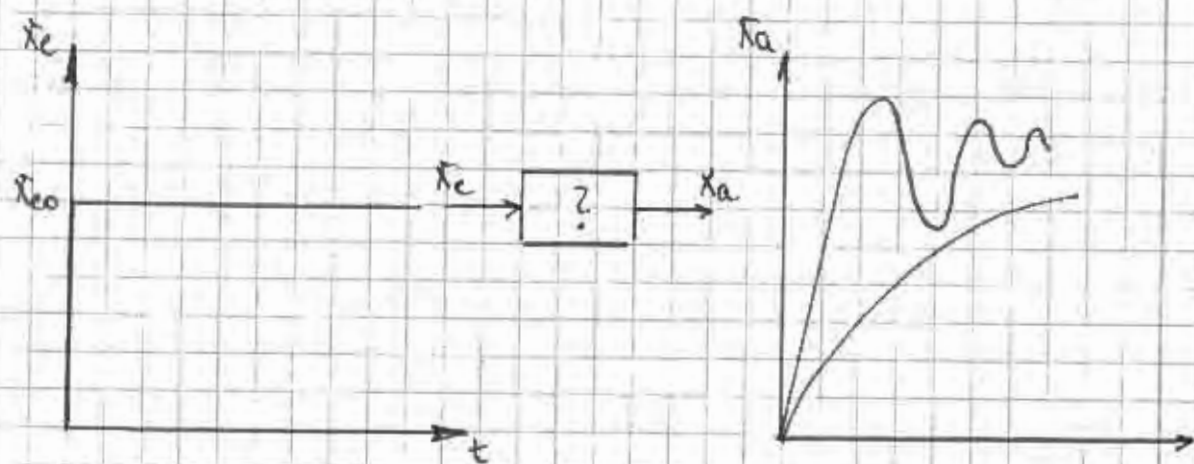
$$\text{Fall I: } \frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} = \frac{2,5 + 0,625}{20} + \frac{2,5 + 0,825}{20} + \frac{0,5}{20}$$

$$\frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} = 0,3375$$

$$\text{Fall II: } \frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} = \frac{2,5 + 0,125}{20} + \frac{0,5}{20}$$

$$\frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} = 0,156$$

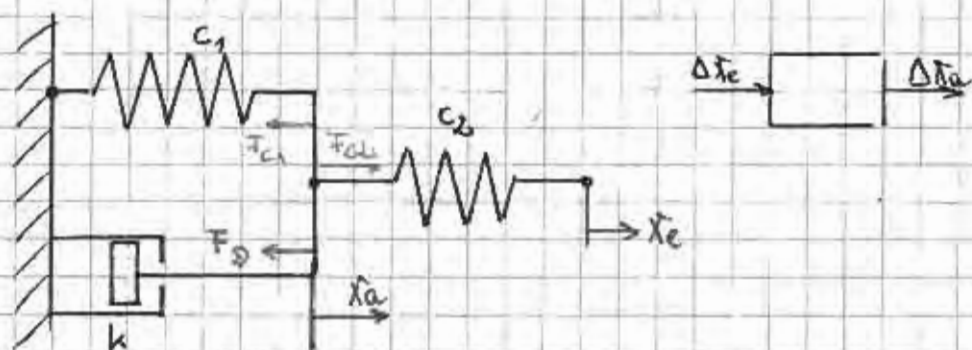
4. Dynamisches Verhalten analoger Übertragungsglieder



Entwicklung der Differentialgleichung:

- 1.) Signalflußbild aufstellen
(Blauzräume)
 - Ein- und Ausgangsgrößen für jedes Übertragungsglied
- 2.) Übertragungsgleichungen (Linearisierung)
- 3.) Einsetzen bis nur noch x_e und x_a enthalten sind
- 4.) Linearisierung der DGL
- 5.) Normalform

Aufg. 4.1. Mechanisches Übertragungssystem



Kräftebilanz: $F_{c1} + F_D = F_{c2}$

mit: $F_{c1} = c_1 \cdot \dot{x}_a$
 $F_{c2} = c_2 (\dot{x}_e - \dot{x}_a)$
 $F_D = k \cdot \dot{x}_a$

$$\Rightarrow c_1 \cdot \dot{x}_a + k \cdot \dot{x}_a = c_2 \cdot (\dot{x}_e - \dot{x}_a)$$

$$c_1 \cdot \dot{x}_a + k \cdot \dot{x}_a + c_2 \cdot \dot{x}_a = c_2 \cdot \dot{x}_e$$

$$k \cdot \dot{x}_a + (c_1 + c_2) \cdot \dot{x}_a = c_2 \cdot \dot{x}_e$$

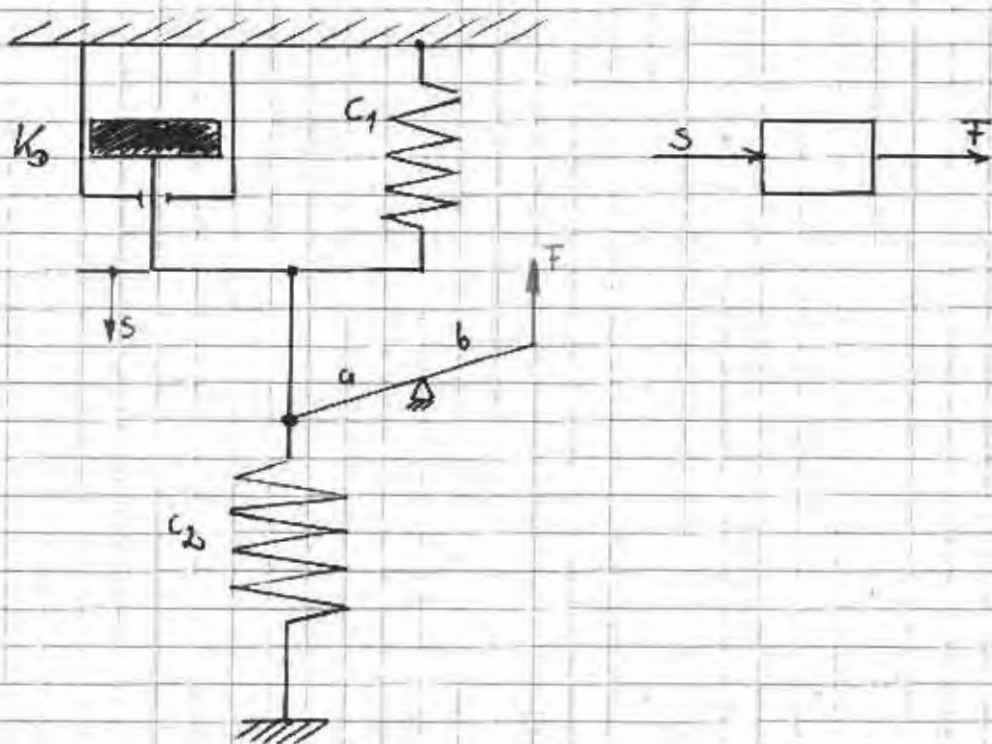
$$\frac{k \cdot \dot{x}_a + \dot{x}_a}{c_1 + c_2} = \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \dot{x}_e$$

\Rightarrow PT1-Verhalten

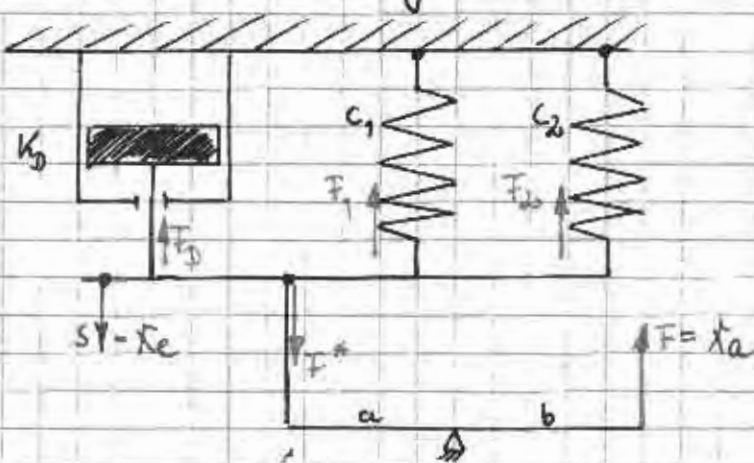
$$\underline{T_1 = \frac{k}{c_1 + c_2}}$$

$$\underline{K = \frac{c_2}{c_1 + c_2}}$$

Aufg. 4.2. Feder-Dämpfersysteme



Erstellen eines Ersatzsystems:



Kräftebilanz: $F^* = F_D + F_1 + F_2$

mit: $F^* \cdot a = F \cdot b \quad \rightarrow \quad \underline{F^* = F \cdot \frac{b}{a}}$

$$F_D = k_D \cdot s$$

$$F_1 = c_1 \cdot s$$

$$F_2 = c_2 \cdot s$$

$$\rightarrow F \cdot \frac{b}{a} = k_D \cdot s + (c_1 + c_2) \cdot s$$

=> PID-Verhalten!

$$\lambda_a = K_p(\dot{x}_e + T_D \cdot \ddot{x}_e)$$

$$F \cdot \frac{b}{a} = K_D \cdot \dot{s} + (c_1 + c_2) \cdot s$$

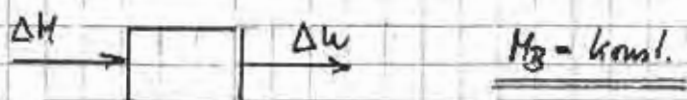
$$F = \frac{a}{b} \cdot K_D \cdot \dot{s} + \frac{a}{b} \cdot (c_1 + c_2) \cdot s$$

$$F = \frac{a}{b} \cdot (c_1 + c_2) \cdot \left[s + \frac{K_D}{(c_1 + c_2)} \cdot \dot{s} \right]$$

$$\rightarrow \underline{K_p = \frac{a}{b} \cdot (c_1 + c_2)}$$

$$\underline{T_D = \frac{K_D}{(c_1 + c_2)}}$$

Aufg. 4.3. Rotordrehmasse



Momentenbilanz: $\Delta M = \Delta M_A - \Delta M_B$

$$M = J \cdot \ddot{\phi} = J \cdot \dot{\omega}$$

$$\rightarrow \Delta \omega = \frac{1}{J} \int \Delta M dt$$

mit $\omega = 2\pi u$ \rightarrow

$$\Delta \phi = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot J} \int \Delta M dt$$

\Rightarrow TO-Verhalten!

$$\rightarrow \underline{\underline{K_I = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot J}}}$$

für $M_B = a \cdot \omega^2$:

$$\Delta M = \Delta M_A - \Delta M_B$$

$$\Delta M_B = \left. \frac{dM_B}{d\omega} \right|_0 \cdot \Delta \omega$$

$$\Delta M_B = 2a\omega_0 \cdot \Delta \omega$$

$$\Delta M = J \cdot \Delta \dot{\omega}$$

$$\Delta \omega = 2 \cdot \pi \cdot \Delta n$$

$$J \cdot \Delta \dot{\omega} = \Delta M_A - 2a\omega_0 \cdot \Delta \omega$$

$$\Delta M_A = J \cdot \Delta \dot{\omega} + 2a\omega_0 \cdot \Delta \omega$$

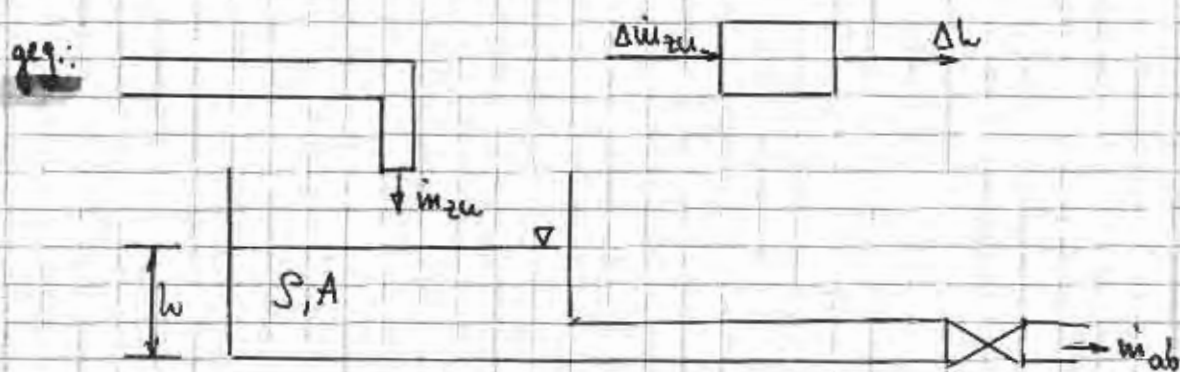
$$\frac{1}{2a \cdot \omega_0} \cdot \Delta M_A = \frac{J}{2a \cdot \omega_0} \cdot \Delta \dot{\omega} + \Delta \omega$$

→ PT 1 - Verhalten!

$$K = \frac{1}{2 \cdot a \cdot \omega_0}$$

$$T_1 = \frac{J}{2a \cdot \omega_0}$$

Aufg. 4.4. Flüssigkeitsbehälter



$$\dot{m}_{ab} = b \cdot T \dot{h}$$

Bilanz: $\dot{m}_Z = \dot{m}_{zu} - \dot{m}_{ab}$

$$\Delta \dot{m}_Z = \Delta \dot{m}_{zu} - \Delta \dot{m}_{ab}$$

$$\dot{m}_Z = \rho \cdot \dot{V} = \rho \cdot A \cdot \dot{h}$$

$$\Delta \dot{m}_Z = \rho \cdot A \cdot \Delta \dot{h}$$

$$\dot{m}_{ab} = b \cdot T \dot{h}$$

$$\Delta \dot{m}_{ab} = \frac{b}{2 \cdot T h_0} \cdot \Delta h$$

$$\Rightarrow \rho \cdot A \cdot \Delta \dot{h} = \Delta \dot{m}_{zu} - \frac{b}{2 \cdot T h_0} \cdot \Delta h$$

$$\Delta \dot{m}_{zu} = \rho \cdot A \cdot \Delta \dot{h} + \frac{b}{2 \cdot T h_0} \cdot \Delta h$$

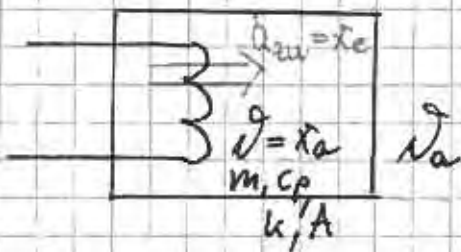
$$\frac{2 \cdot T h_0}{b} \cdot \Delta \dot{m}_{zu} = \Delta \dot{h} + \frac{2 \cdot T h_0 \cdot \rho \cdot A}{b} \cdot \Delta \dot{h}$$

\Rightarrow PT1-Verhalten!

$$K = \frac{2 \cdot T h_0}{b}$$

$$T_1 = \frac{2 \cdot T h_0 \cdot \rho \cdot A}{b}$$

Aufg. 4.5. Raumheizung



Wärmebilanz: $\Delta \dot{Q}_{\text{Raum}} = \Delta \dot{Q}_{\text{zu}} - \Delta \dot{Q}_{\text{ab}}$

$$\Delta \dot{Q}_{\text{zu}} = \underbrace{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta \dot{\vartheta}}_{\dot{Q}_{\text{Raum}}} + \underbrace{k \cdot A \cdot (\dot{\vartheta} - \dot{\vartheta}_a)}_{\text{Wärmestrom durch Wand} \hat{=} \dot{Q}_{\text{ab}}}$$

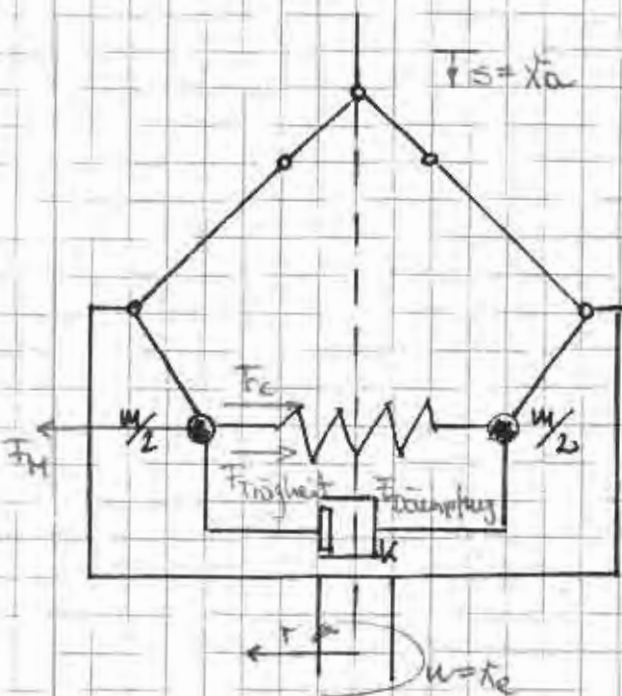
$$\Delta \dot{Q}_{\text{zu}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta \dot{\vartheta} + k \cdot A \cdot \Delta \dot{\vartheta}$$

$$\Delta \dot{Q}_{\text{zu}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta \dot{\vartheta} + k \cdot A \cdot \Delta \dot{\vartheta}$$

umgestellt: $\frac{1}{\underbrace{k \cdot A}_{k_p}} \cdot \Delta \dot{Q}_{\text{zu}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{\underbrace{k \cdot A}_{T_p}} \cdot \Delta \dot{\vartheta} + \Delta \dot{\vartheta}$ ✓

→ PT 1 ✓

Aufg. 4.6. Drehzahlmesswerk



$$\Delta s = a \cdot \Delta \Gamma$$

F_H ... Fliehkraft

$$F_H = F_c + F_{\text{Dämpfung}} + F_{\text{Trägheit}}$$

$$m \cdot \omega^2 \cdot r = 2c \cdot \Gamma + 2 \cdot k \cdot \dot{\Gamma} + m \cdot \ddot{\Gamma}$$

$$\left. \frac{\partial F_H}{\partial \omega} \right|_0 \cdot \Delta \omega + \left. \frac{\partial F_H}{\partial \Gamma} \right|_0 \cdot \Delta \Gamma = 2c \cdot \Delta \Gamma + 2 \cdot k \cdot \Delta \dot{\Gamma} + m \cdot \Delta \ddot{\Gamma}$$

$$2 \cdot m \cdot \omega_0 \cdot r_0 \cdot \Delta \omega + m \cdot \omega_0^2 \cdot \Delta \Gamma = 2 \cdot c \cdot \Delta \Gamma + 2 \cdot k \cdot \Delta \dot{\Gamma} + m \cdot \Delta \ddot{\Gamma}$$

$$2 \cdot m \cdot \omega_0 \cdot r_0 \cdot \Delta \omega = (2 \cdot c - m \cdot \omega_0^2) \cdot \Delta \Gamma + 2 \cdot k \cdot \Delta \dot{\Gamma} + m \cdot \Delta \ddot{\Gamma}$$

mit $\Delta \Gamma = \Delta s / a$ \rightarrow

$$2 \cdot m \cdot \omega_0 \cdot r_0 \cdot \Delta \omega = (2 \cdot c - m \cdot \omega_0^2) \cdot \frac{\Delta s}{a} + 2 \cdot k \cdot \frac{\Delta \dot{s}}{a} + m \cdot \frac{\Delta \ddot{s}}{a}$$

$$2 \cdot a \cdot m \cdot \omega_0 \cdot r_0 \cdot \Delta \omega = (2 \cdot c - m \cdot \omega_0^2) \cdot \Delta s + 2 \cdot k \cdot \Delta \dot{s} + m \cdot \Delta \ddot{s}$$

$$\frac{2 \cdot a \cdot m \cdot 2\pi n_0 \cdot r_0 \cdot \Delta \omega}{(2 \cdot c - m \cdot 4\pi^2 n_0^2)} = \Delta s + \frac{2k}{(2c - m \cdot 4\pi^2 n_0^2)} \cdot \Delta \dot{s} +$$

$$+ \frac{m}{(2c - m \cdot 4\pi^2 n_0^2)} \cdot \Delta \ddot{s}$$

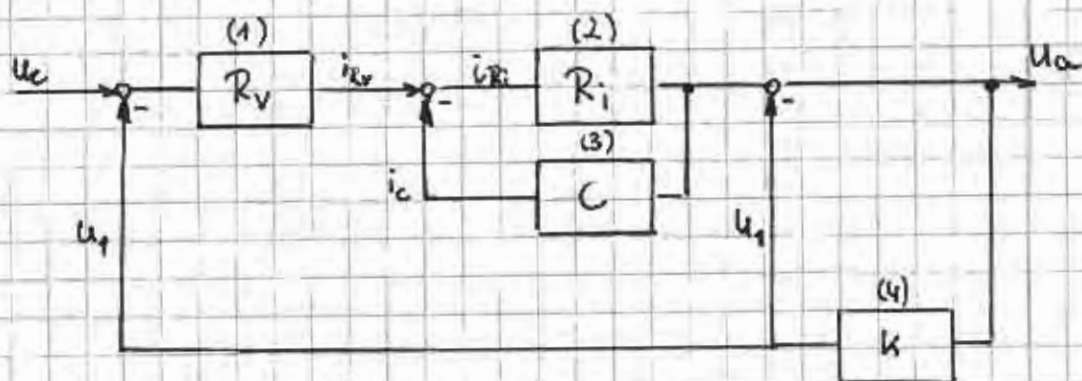
$$\frac{8 \cdot a \cdot m \cdot \mathcal{J}^2 \cdot u_0 \cdot r_0 \cdot \Delta u}{2 \cdot (c - 2m\mathcal{J}^2 u_0^2)} = \Delta s + \frac{2k}{2 \cdot (c - 2m\mathcal{J}^2 u_0^2)} \Delta \dot{s} + \frac{m}{2 \cdot (c - 2m\mathcal{J}^2 u_0^2)} \Delta \ddot{s}$$

$\overset{=T_1}{\underbrace{\hspace{10em}}}$

⇒ FT2-Verhalten

Aufg. 4.7. Elektrische Verstärker

a)



→ Integrierer!

$$(1): i_{R_v} = \frac{U_e - U_1}{R_v}$$

$$(2): U_1 - U_a = i_{R_i} / R_i$$

$$(3): i_c = C \cdot (\dot{U}_1 - \dot{U}_a) \quad ?$$

$$(4): U_1 = U_a / k$$

$$\Rightarrow i_{R_i} = i_{R_v} - i_c = \frac{U_e - U_1}{R_v} - C \cdot (\dot{U}_1 - \dot{U}_a) = \frac{U_1 - U_a}{R_i}$$

mit: $U_1 = U_a / k \quad \rightarrow$

$$\frac{U_e}{R_v} - \frac{U_a}{k \cdot R_v} - C \cdot \left(\frac{\dot{U}_a}{k} - \dot{U}_a \right) = \frac{U_a}{k \cdot R_i} - \frac{U_a}{R_i}$$

$$\frac{U_e}{R_v} = \frac{U_a}{k \cdot R_v} + \frac{U_a}{k \cdot R_i} - \frac{U_a}{R_i} + C \left(\frac{\dot{U}_a}{k} - \dot{U}_a \right)$$

$$\frac{U_e}{R_v} = \left(\frac{1}{k \cdot R_v} + \frac{1}{k \cdot R_i} - \frac{1}{R_i} \right) \cdot U_a + \left(\frac{C}{k} - C \right) \cdot \dot{U}_a$$

für $R_i \rightarrow \infty$, $k \rightarrow \infty$ \rightarrow

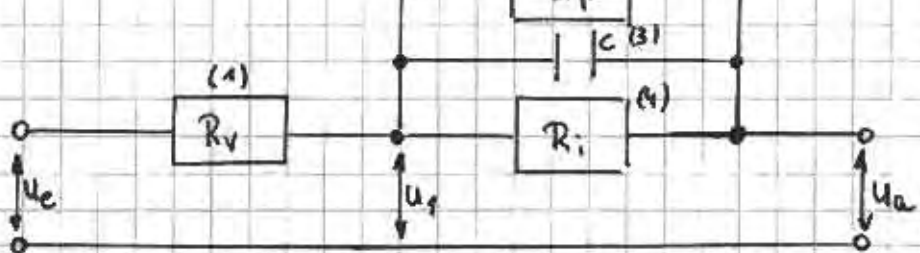
$$\frac{U_e}{R_v} = -c \cdot \dot{U}_a$$

$$\rightarrow \dot{U}_a = -\frac{1}{R_v \cdot c} \cdot U_e$$

$$\underline{\underline{U_a = -\frac{1}{R_v \cdot c} \int U_e dt}}$$

\rightarrow IO-Verhalten

6)



$$(1): i_v = \frac{U_e - U_1}{R_v}$$

$$(5): U_1 = U_a / k$$

Aufg. 4.8. Elektrischer Vierpol

Bilanz: $U_a + U_c + U_L = U_e$

$$U_a = U_R = R \cdot i$$

$$i = \frac{U_a}{R}$$

$$U_c = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int i dt$$

$$\dot{U}_c = \frac{i}{C}$$

$$U_L = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$U_L = L \cdot \dot{i}$$

$$\rightarrow \dot{U}_a + \dot{U}_c + \dot{U}_L = \dot{U}_e$$

$$\dot{U}_a + \frac{\dot{i}}{C} + L \cdot \ddot{i} = \dot{U}_e$$

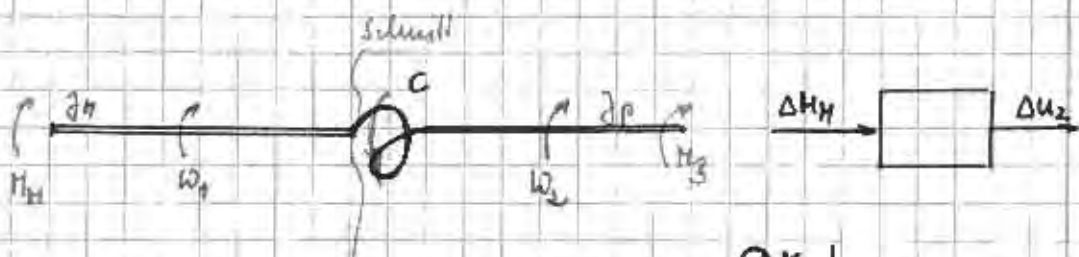
mit $i = \frac{U_a}{R} \rightarrow$:

$$\dot{U}_a + \frac{1}{R \cdot C} \cdot U_a + \frac{L}{R} \cdot \ddot{U}_a = \dot{U}_e$$

$$\underbrace{R \cdot C}_{k_D} \cdot \dot{U}_e = \underbrace{L \cdot C}_{\frac{T_2^2}{2}} \cdot \ddot{U}_a + \underbrace{R \cdot C}_{\frac{T_1}{1}} \cdot \dot{U}_a + U_a$$

\rightarrow DTL-Verhalten

Aufg. 4.9. Pumpenantrieb



$$M_B = a \cdot \omega_2^2 \quad a = \text{konst.} \quad \rightarrow \left. \frac{\partial M_B}{\partial \omega_2} \right|_0 \Delta \omega_2 = 2a\omega_{20} \cdot \Delta \omega_2$$

Momentenbilanz: $M_H = J_H \cdot \dot{\omega}_1 + J_P \cdot \dot{\omega}_2 + a \cdot \omega_2^2$ → nicht linear
↙ linear

Linearisierung: $\Delta M_H = J_H \cdot \Delta \dot{\omega}_1 + J_P \cdot \Delta \dot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \omega_2$
 $\Delta \omega_1 \rightarrow \text{Stört}$

↗ Nebenbedingung aufstellen!

Nebenbedingung: \leadsto Welle schneiden, Momente der Feder bilden!

$$c \cdot (f_1 - f_2) = M_P + M_B$$

$$c \cdot (f_1 - f_2) = J_P \cdot \ddot{f}_2 + a \cdot \omega_2^2$$

$$\rightarrow f_1 = \frac{J_P \cdot \ddot{f}_2 + a \omega_2^2}{c} + f_2$$

Linearisierung: $\dot{\Delta f}_1 = \frac{1}{c} \cdot (J_P \cdot \Delta \dot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \omega_2) + \Delta f_2$

$$\Delta \dot{f}_1 = \Delta \dot{\omega}_1 = \frac{1}{c} \cdot (J_P \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \dot{\omega}_2) + \Delta \dot{\omega}_2$$

$$\underline{\underline{\Delta \ddot{f}_1 = \Delta \ddot{\omega}_1 = \frac{1}{c} \cdot (J_P \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \dot{\omega}_2) + \Delta \ddot{\omega}_2}}$$

eingesetzt:

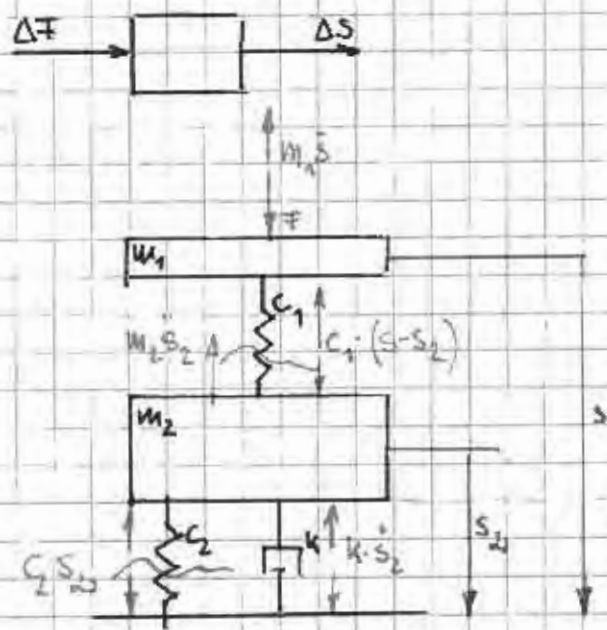
$$\Delta H_H = J_H \cdot \overset{1}{c} \cdot (J_P \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + \Delta \dot{\omega}_2) + \\ + J_P \cdot \Delta \dot{\omega}_2 + 2a\omega_{20} \cdot \Delta \omega_2$$

$$\rightarrow \underbrace{\frac{\Delta H_H}{2a\omega_{20}}}_{T_1} = \underbrace{\frac{J_H \cdot J_P}{2 \cdot a\omega_{20} \cdot c}}_{T_3} \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + \underbrace{\frac{J_H}{c}}_{T_2} \cdot \Delta \ddot{\omega}_2 + \underbrace{\frac{J_H + J_P}{2a\omega_{20}}}_{T_1} \Delta \dot{\omega}_2 + \Delta \omega_2$$

$\Rightarrow T_1, T_3$ - Verhalten

Aufg. 4.10.

Werkzeugmaschine



$$(1): m_1 \ddot{s} - F + c_1 (s - s_2) = 0$$

$$(2): m_2 \ddot{s}_2 - c_1 \cdot (s - s_2) + c_2 s_2 + k \cdot \dot{s}_2 = 0$$

$$(1) \text{ nach } s_2: \frac{F - m_1 \ddot{s}}{c_1} - s = -s_2$$

$$s_2 = \frac{m_1 \ddot{s} - F}{c_1} + s \quad (3)$$

$$\dot{s}_2 = \frac{m_1 \ddot{s} - \dot{F}}{c_1} + \dot{s} \quad (4)$$

$$\ddot{s}_2 = \frac{m_1 \ddot{s} - \ddot{F}}{c_1} + \ddot{s} \quad (5)$$

(3), (4), (5) in (2):

$$0 = m_2 \cdot \left(\frac{m_1 \ddot{s} - \ddot{F}}{c_1} + \ddot{s} \right) - c_1 \cdot \left(s - \frac{m_1 \ddot{s} - F}{c_1} + s \right) + c_2 \left(\frac{m_1 \ddot{s} - F}{c_1} + s \right) + k \cdot \dot{s}_2$$

$$0 = \frac{m_1 m_2 \ddot{s}}{c_1} - \frac{\ddot{F} m_2}{c_1} + \frac{m_2 \ddot{s}}{c_1} - \frac{c_1 \dot{s}}{c_1} + \frac{m_1 \dot{s}}{c_1} + F - c_1 \dot{s} + \frac{c_2}{c_1} m_1 \dot{s} - \frac{c_2}{c_1} F + c_1 \dot{s} + \frac{k}{c_1} m_1 \ddot{s} - \frac{k}{c_1} \dot{F} + k \dot{s}$$

linke Seite:

$$\frac{m_2}{c_1} \cdot \ddot{F} - F + \frac{c_2}{c_1} \cdot F + \frac{k}{c_1} \cdot \dot{F}$$

$$\frac{m_2}{c_1} \cdot \ddot{F} + \left(\frac{c_2}{c_1} - 1 \right) \cdot F + \frac{k}{c_1} \cdot \dot{F}$$

rechte Seite:

$$\frac{m_1 m_2}{c_1} \cdot \ddot{s} + \frac{k \cdot m_1}{c_1} \cdot \ddot{s} + \left(m_2 + m_1 + \frac{c_2}{c_1} \cdot m_1 \right) \cdot \dot{s} + k \cdot \dot{s} + (c_2 - 2c_1) \cdot s$$

Zusammensetzen:

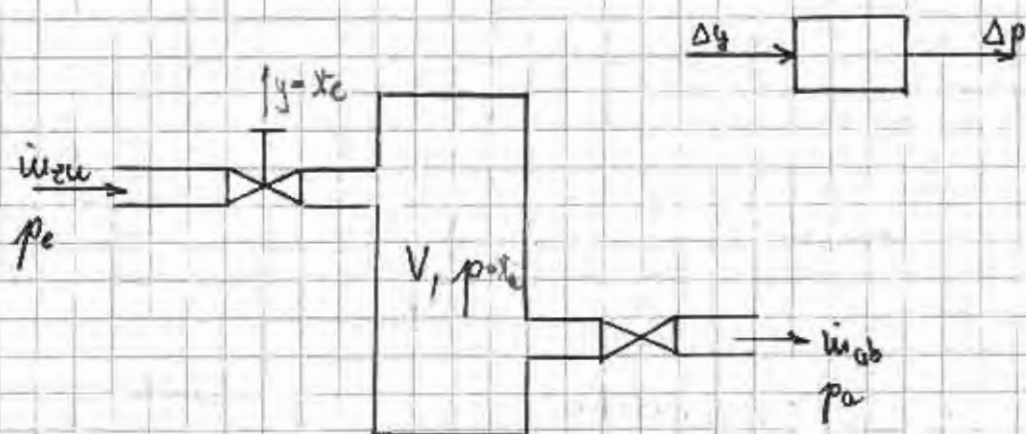
$$\frac{m_2 \cdot (c_2 - 2c_1)}{c_1 c_2} \cdot \ddot{F} + \frac{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}}{(c_2/c_1) - 1} \cdot F + \frac{k (c_2 - 2c_1)}{c_1 c_2} \cdot \dot{F} =$$

$$\frac{m_1 m_2 (c_2 - 2c_1)}{c_1 c_2} \cdot \ddot{s} + \frac{k \cdot m_1 \cdot (c_2 - 2c_1)}{c_1 \cdot c_2} \cdot \ddot{s} + \frac{m_1 + m_2 + \frac{c_2}{c_1} \cdot m_1}{c_2 - 2c_1} \cdot \dot{s} + \frac{k}{c_2 - 2c_1} \cdot \dot{s} + s$$

→ RTT4-Verhalten:

Aufg. 4.11.

Druckhalter



$$\dot{m}_{zu} = a \cdot y$$

$$\dot{m}_{ab} = b \cdot \sqrt{p - p_a}$$

$p_e, p_a = \text{konst.}$

isotherme Zustandsänderung

Massstrombilanz: $\Delta \dot{m}_3 = \Delta \dot{m}_{zu} - \Delta \dot{m}_{ab}$

ideales Gas: $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\leadsto \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T} = a \cdot y - b \cdot \sqrt{p - p_a}$$

$$\frac{V}{R \cdot T} \cdot \dot{p} + b \cdot \sqrt{p - p_a} = a \cdot y$$

Linearisierung: $\frac{V}{R \cdot T} \cdot \Delta \dot{p} + b \cdot \frac{1}{2} \cdot (p_0 - p_a)^{-\frac{1}{2}} \cdot \Delta p = a \cdot \Delta y$

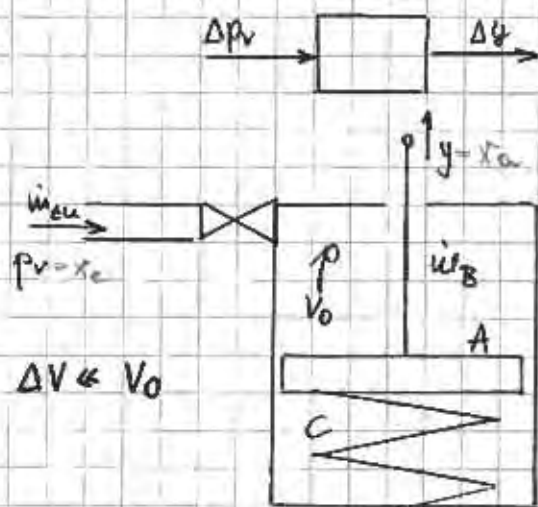
$$\leadsto \frac{V}{a \cdot R \cdot T} \cdot \Delta \dot{p} + \frac{b}{2a \sqrt{p_0 - p_a}} \cdot \Delta p = \Delta y$$

$$\frac{V}{R \cdot T} \cdot \Delta \dot{p} + \frac{b}{2 \cdot \sqrt{p_0 - p_a}} \Delta p = a \cdot \Delta y$$

$$\underbrace{\frac{2 \cdot V \cdot \sqrt{p_0 - p_a}}{b \cdot R \cdot T}}_{T_1} \Delta \dot{p} + \Delta p = \underbrace{\frac{2 \cdot a \cdot \sqrt{p_0 - p_a}}{b}}_{K_p} \Delta y$$

→ PT1-Verhalten

Aufg. 4.12. Pneumatischer Stellmotor



$$\dot{w}_{zu} = a \cdot \sqrt{\Delta p}$$

Δp ... Druckdifferenz über dem Ventil

$$\Delta p = p_v - p$$

$$\Delta \dot{w}_{zu} = \Delta \dot{w}_B$$

$$\bullet \quad \dot{w}_{zu} = a \cdot \sqrt{p_v - p} \quad \rightarrow \quad \Delta \dot{w}_{zu} = \frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{v0} - p_0}} \cdot \Delta p_v - \frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{v0} - p_0}} \cdot \Delta p$$

$$\Rightarrow \Delta \dot{w}_{zu} = \frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{v0} - p_0}} \cdot (\Delta p_v - \Delta p)$$

$$\bullet \quad \underline{\text{Zustandsgleichung:}} \quad p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$m_3 = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\underline{\underline{\Delta \dot{m}_3 = \frac{\Delta \dot{p} \cdot V}{R \cdot T}}}$$

gleichsetzen:

$$\frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}} \cdot (\Delta p_v - \Delta p) = \frac{\Delta \dot{p} \cdot V}{R \cdot T}$$

Kräftebilanz am Kolben:

$$-c \cdot y = p \cdot A$$

$$\rightarrow p = -\frac{c \cdot y}{A}$$

$$\Delta p = -\frac{c}{A} \cdot \Delta y$$

$$\Delta \dot{p} = -\frac{c}{A} \cdot \Delta \dot{y}$$

Einsetzen und Umstellen:

$$\frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}} \cdot \Delta p_v - \frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}} \cdot \left(-\frac{c}{A} \cdot \Delta y\right) =$$

$$= \frac{-\frac{c}{A} \cdot \Delta \dot{y} \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\frac{a}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}} \cdot \Delta p_v + \frac{a \cdot c}{2 \cdot A \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}} \cdot \Delta y = \frac{-\frac{c}{A} \cdot V}{R \cdot T} \cdot \Delta \dot{y}$$

$$\frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0} \cdot a}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0} \cdot a \cdot c} \cdot \Delta p_v + \Delta y = \frac{-\frac{c}{A} \cdot V \cdot 2 \cdot A \cdot \sqrt{p_{\text{pro}} - p_0}}{a \cdot c \cdot R \cdot T} \cdot \Delta \dot{y}$$

$$\rightarrow \frac{A}{c} \cdot \Delta p_v + \Delta y = \frac{-2 \cdot V \sqrt{p_{v0} - p_0}}{\alpha \cdot R \cdot T} \cdot \Delta y$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot V \sqrt{p_{v0} - p_0}}{\alpha \cdot R \cdot T} \cdot \Delta y + \Delta y = -\frac{A}{c} \cdot \Delta p_v$$

$$V = -A \cdot y \quad y = -\frac{p_0 \cdot A}{c}$$

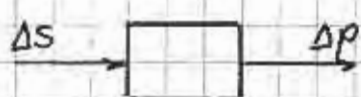
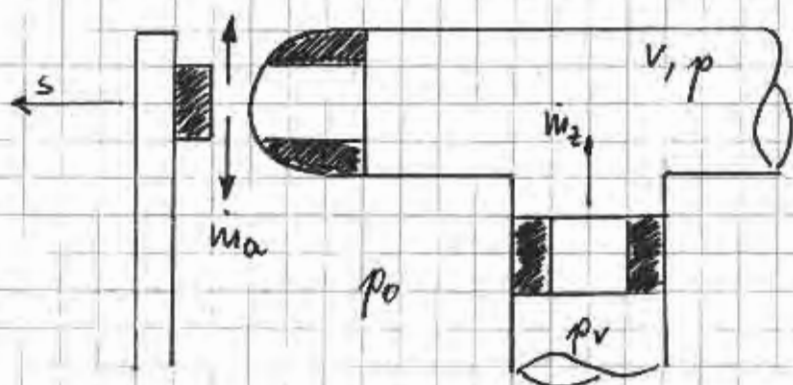
$$\rightarrow V = + \frac{A^2 \cdot p_0}{c}$$

\Rightarrow PT1-Verhalten!

$$\underline{\underline{T_1 = \frac{2 \cdot V \cdot \sqrt{p_{v0} - p_0}}{\alpha \cdot R \cdot T}}}$$

$$\underline{\underline{K = -\frac{A}{c}}}$$

Aufg. 4.13 Pneumatischer Wegsensort



$p_v, p_0 = \text{konst.}$
 $p/\rho = \text{konst.}$
 isotherme ZÄ

$$\dot{m}_a = a \cdot s \cdot \sqrt{\delta p} \quad \text{mit } \delta p = p - p_0$$

$$\dot{m}_z = b \cdot \sqrt{\delta p} \quad \text{mit } \delta p = p_v - p$$

Bilanz: $\Delta \dot{u} = \Delta \dot{u}_z - \Delta \dot{u}_a$

$$\rightarrow \dot{u}_a = a \cdot s \cdot \sqrt{p - p_0}$$

$$\Delta \dot{u}_a = \frac{a \cdot s}{2 \cdot \sqrt{p_i - p_0}} \cdot \Delta p + a \cdot \sqrt{p_i - p_0} \Delta s$$

$$\rightarrow \dot{u}_z = b \cdot \sqrt{p_v - p}$$

$$\Delta \dot{u}_z = \frac{-b}{2 \cdot \sqrt{p_v - p_i}} \cdot \Delta p$$

$$\rightarrow p \cdot V = u \cdot R \cdot T$$

$$u = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\Delta \dot{u}_i = \Delta \dot{u}_z - \Delta \dot{u}_a$$

$$\frac{\Delta p \cdot V}{R \cdot T} = - \frac{b}{2 \cdot \sqrt{p_1 - p_2}} \cdot \Delta p - \frac{a \cdot s_1}{2 \sqrt{p_1 - p_0}} \cdot \Delta p$$

$$- a \cdot \sqrt{p_1 - p_0} \cdot \Delta S$$

$$- \frac{V}{R \cdot T} \cdot \Delta p = \left(\frac{b + \frac{a \cdot s_1}{2 \sqrt{p_1 - p_0}}}{2 \sqrt{p_1 - p_2}} \right) \cdot \Delta p + a \cdot \sqrt{p_1 - p_0} \cdot \Delta S$$

→ PT1-Verhalten!

5. Binäre Steuerungen

Aufgabe: Steuerung (EIN/AUS) ohne Rücksicht auf Störungen

Binäre Signale: 2-wertig (ja/nein; high/low)

1.) Schaltbelegungstabelle

x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

2.) Schaltfunktion

$$y = \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_2 \bar{x}_1 x_0$$

↳ „Kanonische Normalform“

3.) Vereinfachung mit Rechenregeln

1. Stud.-aufg. S. 28-30

4.) Signalflußbild

5. Binäre Steuerungen mit Schaltelementen

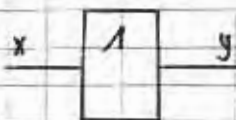
Aufg. 5.1. Durchlaufverlierer

ges.: Schaltbelegungstabelle, Schaltfunktion,
Funktionsbezeichnung

a) $Q = f(iu)$

x	iu	0	1
y	Q	0	1

Funktion: $y = x$


Logik-Symbol: 

Funktionsbezeichnung: Folgeschaltung

b) $Q = f(i_{\text{unt}})$

x	i_{unt}	0	1
y	Q	1	0

Funktion: $y = \bar{x}$

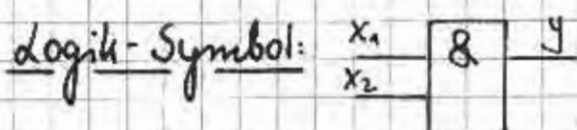
Logik-Symbol: 

Funktionsbezeichnung: Nicht (Negation)

c) $\dot{Q} = f(n, h)$

x_1	n	0	0	1	1
x_2	h	0	1	0	1
y	\dot{Q}	0	0	0	1

Funktion: $y = x_1 \wedge x_2$
 $(y = x_1 x_2)$

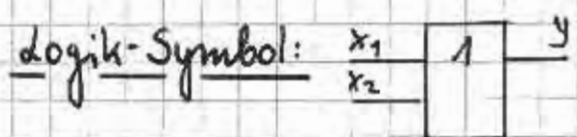


Funktionsbezeichnung: Und (Konjunktion)

d) $\dot{Q} = f(h_1, h_2)$

x_1	h_1	0	0	1	1
x_2	h_2	0	1	0	1
y	\dot{Q}	0	1	1	1

Funktion: $y = x_1 \vee x_2$



Funktionsbezeichnung: Oder (Disjunktion)

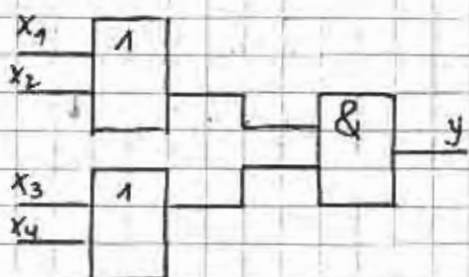
Aufg. 5.2. Schaltfkt. aus Signalflußbild

a) $y = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$

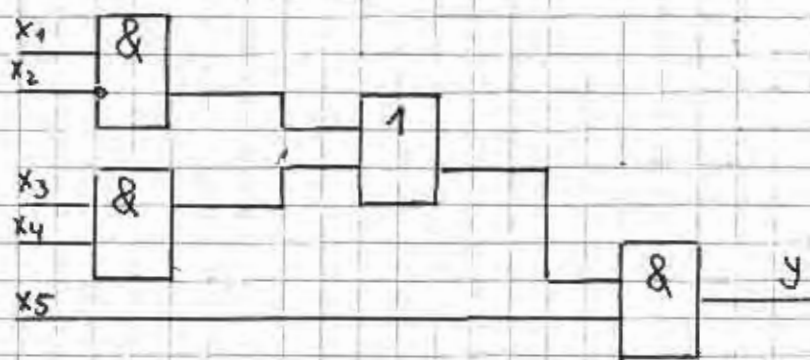
b) $y = \bar{x}_4 \vee \bar{x}_1 x_2 x_3$

Aufg. 5.3. Signalflußbild aus Schaltfkt.

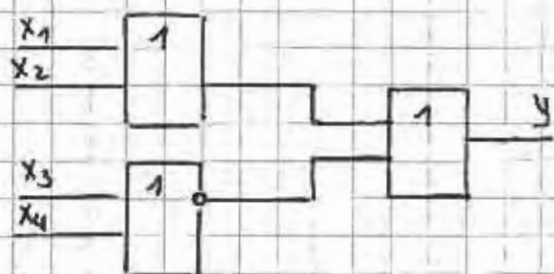
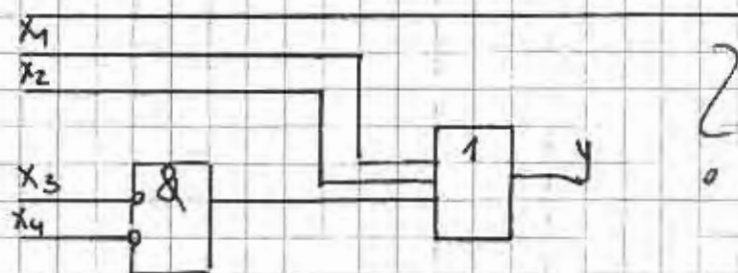
a) $y = (x_1 \vee x_2)(x_3 \vee x_4)$



b) $y = (x_1 \bar{x}_2 \vee x_3 x_4) x_5$



$$c) y = x_1 \vee x_2 \vee (\bar{x}_3 \bar{x}_4)$$



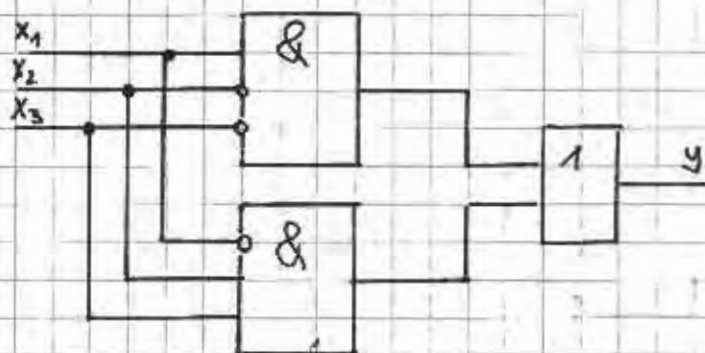
für $\bar{x}_3 \bar{x}_4$ gilt nach de Morgan:

$$\overline{\bar{x}_3 \bar{x}_4} = y = x_3 \vee x_4$$

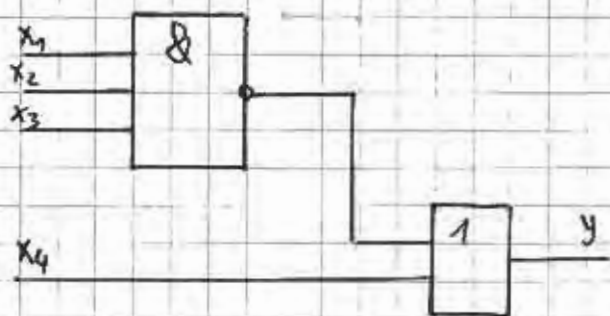
$$\bar{x}_3 \bar{x}_4 = \overline{y}$$

$$x_3 \vee x_4 = \overline{\overline{y}}$$

$$d) y = \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1$$



$$e) y = x_4 \vee \overline{x_3 x_2 x_1}$$



Aufg. 5.4. Vereinfachung v. Schaltfunktionen

a) $y = x_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0$

$y = x_2 (x_1 \vee \bar{x}_0) \vee x_1 x_0$ § 5.29: $x_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_0 = x_2 (x_1 \vee \bar{x}_0)$

$y = x_2 (x_1 \vee \bar{x}_0) \vee x_0 (\bar{x}_0 \vee x_1)$ § 5.30: $x_1 (\bar{x}_1 \vee x_0) = x_1 x_0$

$y = (x_2 \vee x_0) (x_1 \vee \bar{x}_0)$ § 5.29: $x_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_0 = x_2 (x_1 \vee \bar{x}_0)$

b) $y = (x_2 \vee x_1) (x_2 \vee \bar{x}_0) (x_1 \vee x_0)$

$y = (x_2 \vee x_1 \bar{x}_0) (x_1 \vee x_0)$ § 5.29: $(x_2 \vee x_1) (x_2 \vee \bar{x}_0) = x_2 \vee x_1 \bar{x}_0$

$y = (x_2 \vee x_1 \bar{x}_0) (x_0 \vee \bar{x}_0 x_1)$ § 5.30: $x_1 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_0 = x_1 \vee x_0$

$y = \bar{x}_0 x_1 \vee x_0 x_2$ § 5.29: $(x_2 \vee x_1) (x_2 \vee \bar{x}_0) = x_2 \vee x_1 \bar{x}_0$

c) $y = x_3 (\bar{x}_2 x_1 \bar{x}_0 \vee x_2 x_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0)$

$y = x_3 (x_1 \bar{x}_0 (\bar{x}_2 \vee x_2) \vee x_1 x_0)$ § 5.29: $(x_2 \vee x_1) (x_2 \vee \bar{x}_0) = x_2 \vee x_1 \bar{x}_0$

$y = x_3 (x_1 \bar{x}_0 (1) \vee x_1 x_0)$ § 5.30: $x \vee \bar{x} = 1$

$y = x_3 (x_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0)$ § 5.29: $x_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_0 = x_2 (x_1 \vee \bar{x}_0)$

$y = x_3 (x_1 (\bar{x}_0 \vee x_0))$...

$y = x_3 x_1$ § 5.30: $x \vee \bar{x} = 1$

$$d) y = x_4 \bar{x}_3 x_2 x_1 \vee x_4 x_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_4 x_3 x_2 \bar{x}_1 \vee x_4 x_3 x_2 x_1$$

\uparrow S.29 $x_2 x_1 \vee x_2 x_0 = x_2 (x_1 \vee x_0)$

$$y = x_4 (\bar{x}_3 x_2 x_1 \vee x_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1 \vee x_3 x_2 x_1)$$

$$y = x_4 (x_2 x_1 (\bar{x}_3 \vee x_3) \vee x_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1)$$

$$y = x_4 (x_2 x_1 \vee x_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1)$$

$$y = x_4 (x_1 (x_2 \vee \bar{x}_2 x_3) \vee x_3 x_2 \bar{x}_1)$$

\uparrow S.30: $x_1 \vee \bar{x}_1 x_0 = x_1 \vee x_0$

$$y = x_4 (x_1 (x_2 \vee x_3) \vee x_3 x_2 \bar{x}_1)$$

$$y = x_4 (x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1)$$

$$y = x_4 (x_1 x_2 \vee x_3 (x_1 \vee \bar{x}_1 x_2))$$

\uparrow S.30: $x_1 \vee \bar{x}_1 x_0 = x_1 \vee x_0$

$$y = x_4 (x_1 x_2 \vee x_3 (x_1 \vee x_2))$$

$$y = x_4 (x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_2 x_3)$$

$$y = x_4 (x_1 (x_2 \vee x_3) \vee x_2 x_3)$$

$$e) y = (x_2 \vee x_1)(x_2 \vee \bar{x}_0)(x_1 \vee x_0)(x_1 \vee \bar{x}_0)$$

$$y = (x_2 \vee x_1 \bar{x}_0) \underbrace{(x_1 \vee x_0 \bar{x}_0)}_{=0}$$

$$y = x_1(x_2 \vee x_1 \bar{x}_0)$$

$$y = x_1 x_2 \vee x_1 \bar{x}_0$$

$$\underline{y = x_1(x_2 \vee \bar{x}_0)}$$

$$f) y = \underline{x_2 x_1} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1$$

$$y = x_1 \underbrace{(x_2 \vee x_2 \bar{x}_3)} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee x_2 \bar{x}_1$$

$$\text{f.S. 30: } x_1 \vee x_1 x_0 = x_1$$

$$y = \underline{x_1 x_2} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee x_2 \bar{x}_1$$

$$y = \underline{x_2(x_1 \vee \bar{x}_1)} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2$$

$$y = x_2 \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2$$

→ führt nicht zur richtigen Lösung!

$$\rightarrow y = \underline{x_2 x_1} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1$$

$$y = \underline{x_2} \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1$$

$$y = x_2 \vee \bar{x}_3 \underbrace{(x_2 \bar{x}_1 \vee x_2 x_1)} \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2$$

$$y = x_2 \vee \bar{x}_3 (x_2 (\bar{x}_1 \vee x_1)) \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2$$

$$y = x_2 \vee \bar{x}_3 x_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2$$

$$\underline{y = x_2 \vee \bar{x}_3}$$

$$g) y = \overline{x_3 x_2 x_0 \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 (\bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \vee x_0) (x_3 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1)}$$

$$y = (\bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_0) (\bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \vee x_1) \vee (x_3 x_2 \bar{x}_0) \vee (\bar{x}_3 x_2 x_1)$$

$$y = \overline{(x_3 x_2 x_0) \vee (\bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1) \vee (x_3 x_2 \bar{x}_0) \vee (\bar{x}_3 x_2 x_1)}$$

$$y = \overline{x_3 (x_2 (x_0 \vee \bar{x}_0)) \vee \bar{x}_3 (x_2 (\bar{x}_1 \vee x_1))}$$

$$y = x_2 x_3 \vee \bar{x}_3 x_2$$

$$y = x_2 (\underbrace{x_3 \vee \bar{x}_3}_{=1})$$

$$\underline{y = x_2}$$

$$h) y = (x_3 x_2 x_1 \vee \overline{\bar{x}_1 x_3}) \bar{x}_2 \vee x_3$$

$$y = (x_3 x_2 x_1 \vee \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3) \bar{x}_2 \vee x_3$$

$$y = \underbrace{x_3 x_2 x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2}_{=0} \vee x_3$$

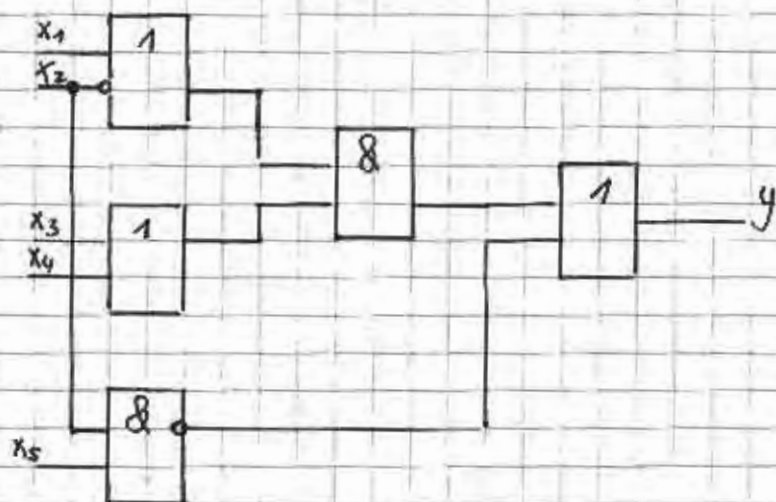
$$y = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_3$$

$$y = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \underline{x_3 \vee \bar{x}_2}$$

$$\underline{y = x_3 \vee \bar{x}_2}$$

Aufg. 5.5.

Signalflußbild:



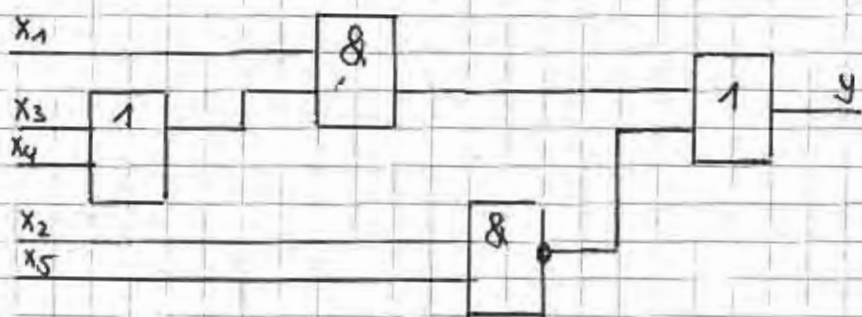
Schaltfunktion: $y = (x_1 \vee \bar{x}_2)(x_3 \vee x_4) \vee (x_2 x_5)$

Vereinfachung: $y = x_1(x_3 \vee x_4) \vee \bar{x}_2(x_3 \vee x_4) \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_5$

$$y = x_1(x_3 \vee x_4) \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_5$$

$$\underline{\underline{y = x_1(x_3 \vee x_4) \vee \bar{x}_2 \bar{x}_5}}$$

Signalflußbild d. vereinfachten Funktion:



Aufg. 5.6. Förderbänder - Sperrschaltung

Sperrschaltung: 1 Stud.-aufg. S. 28

$$y = x_1 \bar{x}_2$$

Schaltbelegungstabelle: ($2^n = 2^3 = 8$)

x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

Schaltfunktion Verriegelungsschaltung I:

$$\rightarrow y_1 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2 x_3$$

$$y_1 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee x_1 x_2$$

$$y_1 = x_1 (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_2 x_3) \vee \bar{x}_1 x_2 x_3$$

$$y_1 = x_1 (\bar{x}_2 \vee x_3) \vee \bar{x}_1 x_2 x_3$$

$$y_1 = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee \bar{x}_1 x_2 x_3$$

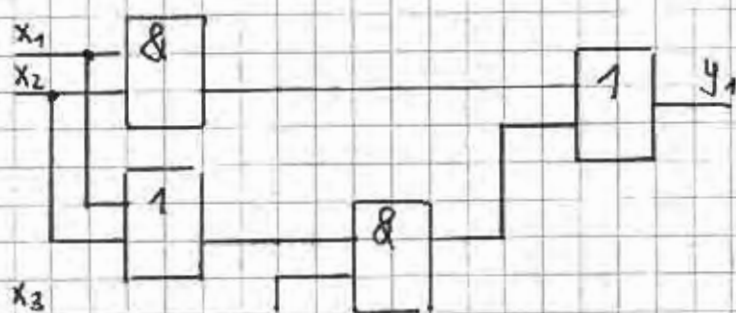
$$y_1 = x_1 x_2 \vee x_3 (x_1 \vee \bar{x}_1 x_2)$$

$$y_1 = x_1 x_2 \vee x_3 (x_1 \vee x_2)$$

$$y_1 = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_2 x_3$$

$$\underline{\underline{y_1 = x_1 x_2 \vee x_3 (x_1 \vee x_2)}}$$

Signalflußbild Verriegelungsschaltung I:



Schaltfunktion Verriegelungsschaltung I:

$$\Rightarrow \bar{y}_2 = \overline{x_1 x_2 x_3}$$

$$\bar{y}_2 = \overline{x_1 x_2 x_3}$$

$$y_2 = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3}$$

$$\underline{y_2 = x_1 \vee x_2 \vee x_3}$$

Signalflußbild Verriegelungsschaltung I:



6. Programmierbare Steuerungen

↑ Einleitungen zu Laborübungen (grünes Heft)

S. 58 - 70

- Sprachbeschreibung m. Beispielen S. 62
- Speicheroperationen S. 63 / 64
- Zeitoperationen S. 64 - 66
 - Zeitglied als Impuls starten
 - Zeitglied als verlängerter Impuls starten
 - Zeitglied mit Einschaltverzögerung starten
 - Zeitglied mit speichernder Einschaltverzögerung starten
 - Zeitglied mit Ausschaltverzögerung starten
- Zähloperationen S. 66 / 67

Berechnungsgrundlagen für die Transformation von Dezimal-, Binär- und Hexadezimalzahlen

Dezimal \rightarrow Binär

$$\begin{array}{rcll} z_D & : & 2 & = z_{D1} & \text{Rest: } \dots & \uparrow \\ z_{D1} & : & 2 & = z_{D2} & \dots & \text{lesen} \\ & & \vdots & & \vdots & \end{array}$$

Dezimal \rightarrow Hexadezimal

$$\begin{array}{rcll} z_D & : & 16 & = z_{D1} & \text{Rest: } \dots & \uparrow \\ z_{D1} & : & 16 & = z_{D2} & \dots & \text{lesen} \\ & & \vdots & & \vdots & \end{array}$$

Binär \rightarrow Dezimal:

Bsp.: 1011_B

	1	0	1	1	B
	+	+	+	+	
hier steht immer, 0	$\rightarrow 0 \cdot 2^3$	$\rightarrow 0 \cdot 2^2$	$\rightarrow 1 \cdot 2^1$	$\rightarrow 1 \cdot 2^0$	
	= 1	= 2	= 5	= 11	D

Binär \rightarrow Hexadezimal

Bsp.: ! über Dezimalzahlen !

Hexadezimal \rightarrow Dezimal

Bsp.: 13_H

	1	3	H	
	+	+		
hier steht immer, 0	$\rightarrow 0 \cdot 16$	$\rightarrow 3 \cdot 16$		
	= 1	= 48	= 49	D

6. Programmierbare Steuerungen

Aufg. 6.1. elektr. betätigtes Dachfenster

öffnen ... x_1 ... $y_1 = 1$

schließen ... x_2 ... $y_2 = 1$

Regressions... $x_3 \rightarrow x_3 = 1$... schließen; sperren

a) Anzahl der möglichen Schaltzustände:

2^n mit $n = 3 \rightarrow 2^3 = 8$ Schaltzustände

b) Schaltbelegungstabelle:

x_3	x_2	x_1	y_1	y_2
E0.2	E0.1	E0.0	A1.0	A1.1
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	0	1

c) Schaltfunktionen:

$$\rightarrow \underline{\underline{y_1 = \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1}}$$

$$\bar{y}_2 = \bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1$$

$$\bar{y}_2 = \overline{\overline{\bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1}}$$

$$y_2 = \overline{\bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1}$$

$$y_2 = (x_3 \vee x_2 \vee x_1)(x_3 \vee x_2 \vee \bar{x}_1)(x_3 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1)$$

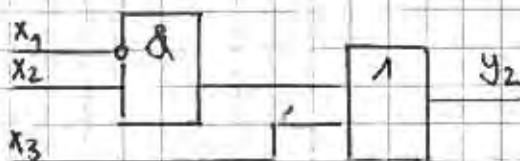
$$y_2 = x_3 \vee [(x_2 \vee x_1)(x_2 \vee \bar{x}_1)(\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1)]$$

$$y_2 = x_3 \vee \underbrace{[(x_2 \vee x_1 \bar{x}_1)(\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1)]}_{=0}$$

$$y_2 = x_3 \vee (x_2) \cdot (\bar{x}_2 \vee \bar{x}_1)$$

$$\underline{y_2 = x_3 \vee x_2 \bar{x}_1}$$

d) Signalflussbilder:



e) Anweisungstabelle (STEP 5)

U	E0.0
UN	E0.1
UN	E0.2
=	A1.0

UN	E0.0
U	E0.1
0	E0.2
=	A1.1

Aufg. 6.2. Ventilüberwachung

- Überwachung Ventilöffnung mit 3 Sensoren (s_1, s_2, s_3)
Ventilstellung „auf“ ... $V=1$... „richtig“, wenn
mind. 2 Sensoren „auf“ (=1) anzeigen
- Signal bei fehlerhaften Sensoren

Schaltbelegungstabelle:

s_3	s_2	s_1	V	F_1	F_2	F_3
EO.2	EO.1	EO.0	A1.0	A1.1	A1.2	A1.3
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0	0

Schaltfunktionen:

$$\Rightarrow V = \bar{s}_3 s_2 s_1 \vee s_3 \bar{s}_2 s_1 \vee s_3 s_2 \bar{s}_1 \vee s_3 s_2 s_1$$

$$V = s_2 s_1 (\bar{s}_3 \vee s_3) \vee s_3 \bar{s}_2 s_1 \vee s_3 s_2 \bar{s}_1$$

$$V = s_2 s_1 \overset{=1}{\vee} s_3 \bar{s}_2 s_1 \vee s_3 s_2 \bar{s}_1$$

$$V = s_1 (s_2 \vee s_3 \bar{s}_2) \vee s_3 s_2 \bar{s}_1$$

$$V = s_1 (s_2 \vee s_3) \vee s_3 s_2 \bar{s}_1$$

$$V = s_1 s_2 \vee s_1 s_3 \vee s_3 s_2 \bar{s}_1$$

$$V = s_1 s_2 \vee s_3 (s_1 \vee \bar{s}_1 s_2)$$

$$V = s_1 s_2 \vee s_1 s_3 \vee s_2 s_3$$

$$\rightarrow \underline{\underline{F_1 = \bar{s}_3 \bar{s}_2 s_1 \vee s_3 s_2 \bar{s}_1}}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{F_2 = \bar{s}_3 s_2 \bar{s}_1 \vee s_3 \bar{s}_2 s_1}}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{F_3 = \bar{s}_3 s_2 s_1 \vee s_3 \bar{s}_2 \bar{s}_1}}$$

Auweisungsliste (STEP 5):

u	E0.0
u	E0.1
u	E0.0
u	E0.2
u	E0.1
u	E0.2
=	A1.0

Aufg. 6.3. Behälter Füllen und Entleeren

Schaltbelegungstabelle:

F	Z	ZV	AV	F... Füllstandssensor
E0.1	E0.0	A1.0	A1.1	Z... Zähler
0	0	1	0	ZV... Zulaufventil
0	1	1	0	AV... Ablaufventil
1	0	0	1	
1	1	1	0	

Schaltfunktionen:

$$\rightarrow ZV = \bar{F}\bar{Z} \vee \bar{F}Z \vee F\bar{Z}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{AV = FZ}}$$

$$ZV = \bar{F}(\bar{Z} \vee Z) \vee F\bar{Z}$$

$$ZV = \bar{F} \vee F\bar{Z}$$

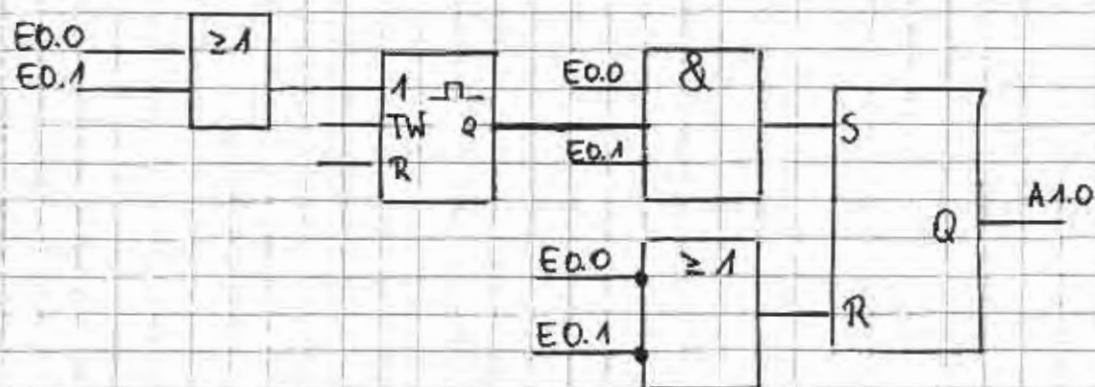
$$\underline{\underline{ZV = \bar{F} \vee Z}}$$

Anweisungsliste (STEP5):

UN	E0.1		Behälter leer
L	\bar{Z}	227	Lade Zähler mit 227
S	Z	1	Setze Zähler Nr. 1
U	E0.1		Behälter volle
UN	Z		Zähler Nr. 1 = "0"
=	A1.1		Auslaufventil auf
ON	E0.1		Behälter leer
O	Z		Zähler Nr. 1 = "1"
=	A1.0		Zulaufventil auf
U	E0.0		Impuls von W
ZR	Z		Zähle Zähler Nr. 1 in der Schrittl. rückwärts

Aufg. 6.4. Autribssteuerung Presse

Funktionsplan:



Anweisungliste (STEP):

O	E	0.0	Taster 1 gedrückt
O	E	0.1	oder Taster 2 gedrückt
L	WT	200	Lade Timer mit 0,2s
SV	T1		starte Timer als verlängerten Taster
U	T1		wenn Timer 1 läuft
U	E	0.0	und Taster 1 gedrückt
U	E	0.1	und Taster 2 gedrückt
S	A	1.0	Schalte Motor ein
ON	E	0.0	wenn Taster 1 nicht gedrückt
ON	E	0.1	oder Taster 2 nicht gedrückt
R	A	1.0	Schalte Motor aus

Aufg. 6.5.

→ grünes Heft S.67

STEP 5:

- U E0.0 wenn Aus-Taster nicht gedrückt
U E0.1 und Ein-Taster gedrückt
S M0.0 setze Marker 0.0 = 1 (Bandlauf)
UN E0.0 wenn Aus-Taster gedrückt
R M0.0 setze Marker 0.0 = 0 (Zurück) → Rücksetzen
→ vorrangig (B nach S)
U E0.2 wenn Taste Rücksetzen gedrückt
R Z1 setze Zähler 1 zurück
U E0.3 wenn Teil zugeführt (Signal von
Lichtschranke 1)
ZV Z1 zähle Zähler 1 vorwärts (+1)
U E0.4 wenn Teil abgeführt (Signal von
Lichtschranke 2)
ZR Z1 zähle Zähler 1 rückwärts (-1)
L KF 30 Lade Akku 1 mit 30
L Z1 Lade Akku 1 mit Zähler 1
> F wenn 30 > Zähler 1
U M0.0 und Marker 0.0 = 1
= A 1.0 Band ein
L KF 10 Lade Akku 1 mit 10
L Z1 Lade Akku 1 mit Zähler 1
> F wenn 10 > Zähler 1
U M0.0 und Marker 0.0 = 1
= A 1.1 Warntlampe ein

Aufg. 6.6. Dezimalzahlen \rightarrow Binär- u. Hexadezimal

a) $9_{10} \rightarrow$

1
10
11
100
101
110
111
1000
<u>1001</u>

1-9, A, B, ..., F

$9_{10} = 1001_B = 9_H \cong 1 \text{ Byte}$

b) $14_{10} \rightarrow$

$14:2 = 7$	Rest: 0	↑ Lesen
$7:2 = 3$: 1	
$3:2 = 1$: 1	
$1:2 = 0$: 1	

\rightarrow 1110_B

$14_{10} = 1110_B = E_H \cong 1 \text{ Byte}$

c) $42_{10} \rightarrow$

$42:2 = 21$	Rest: 0
$21:2 = 10$: 1
$10:2 = 5$: 0
$5:2 = 2$: 1
$2:2 = 1$: 0
$1:2 = 0$: 1

\rightarrow 101010_B

$\rightarrow 42:16 = 2$	Rest: 10	\rightarrow A	↑ Lesen
$2:16 = 0$	Rest: 2	\rightarrow 2	

\rightarrow $2A_H$

$42_{10} = 101010_B = 2A_H \cong 1 \text{ Byte}$

$$\begin{array}{rcl}
 d) \quad 59_D & \rightarrow & 59:2 = 29 \quad \text{Rest: } 1 \\
 & & 29:2 = 14 \quad : 1 \\
 & & 14:2 = 7 \quad : 0 \\
 & & 7:2 = 3 \quad : 1 \\
 & & 3:2 = 1 \quad : 1 \\
 & & 1:2 = 0 \quad : 1
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{111011_B}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rightarrow & 59:16 = 3 & \text{Rest: } 11 \rightarrow 3 \\
 & 3:16 = 0 & : 3 \rightarrow 3
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{33_H}$$

$$\underline{59_D = 111011_B = 33_H} \rightarrow \underline{1 \text{ Byte}}$$

$$\begin{array}{rcl}
 e) \quad 99_D & \rightarrow & 99:2 = 49 \quad \text{Rest: } 1 \\
 & & 49:2 = 24 \quad : 1 \\
 & & 24:2 = 12 \quad : 0 \\
 & & 12:2 = 6 \quad : 0 \\
 & & 6:2 = 3 \quad : 0 \\
 & & 3:2 = 1 \quad : 1 \\
 & & 1:2 = 0 \quad : 1
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{1100011_B}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rightarrow & 99:16 = 6 & \text{Rest: } 3 \\
 & 6:16 = 0 & : 6
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{63_H}$$

$$\underline{99_D = 1100011_B = 63_H} \underline{\underline{= 1 \text{ Byte}}}$$

f) $124_{10} \rightarrow$

$124: 2 = 62$	$Rest: 0$
$62: 2 = 31$	$: 0$
$31: 2 = 15$	$: 1$
$15: 2 = 7$	$: 1$
$7: 2 = 3$	$: 1$
$3: 2 = 1$	$: 1$
$1: 2 = 0$	$: 1$

$\rightarrow \underline{1111100}_2$

\rightarrow

$124: 16 = 7$	$Rest: 12 \rightarrow C$
$7: 16 = 0$	$: 7 \rightarrow 7$

$\rightarrow \underline{7C}_H$

$124_{10} = 1111100_2 = 7C_H \hat{=} 1 \text{ Byte}$

g) $254_{10} \rightarrow$

$254: 2 = 127$	$Rest: 0$
$127: 2 = 63$	$: 1$
$63: 2 = 31$	$: 1$
$31: 2 = 15$	$: 1$
$15: 2 = 7$	$: 1$
$7: 2 = 3$	$: 1$
$3: 2 = 1$	$: 1$
$1: 2 = 0$	$: 1$

$\rightarrow \underline{11111110}_2$

\rightarrow

$254: 16 = 15$	$Rest: 14 \rightarrow E$
$15: 16 = 0$	$: 15 \rightarrow F$

$\rightarrow \underline{FE}_H$

$254_{10} = 11111110_2 = FE_H \hat{=} 1 \text{ Byte}$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{1.) } 1025_{10} & \rightarrow & 1025 : 2 = 512 \quad \text{Rest: } 1 \\
 & & 512 : 2 = 256 \quad : 0 \\
 & & 256 : 2 = 128 \quad : 0 \\
 & & 128 : 2 = 64 \quad : 0 \\
 & & 64 : 2 = 32 \quad : 0 \\
 & & 32 : 2 = 16 \quad : 0 \\
 & & 16 : 2 = 8 \quad : 0 \\
 & & 8 : 2 = 4 \quad : 0 \\
 & & 4 : 2 = 2 \quad : 0 \\
 & & 2 : 2 = 1 \quad : 0 \\
 & & 1 : 2 = 0 \quad : 1
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{100000000001}_2$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rightarrow 1025 : 16 = 64 & \text{Rest: } 1 & \rightarrow 1 \\
 64 : 16 = 4 & : 0 & \rightarrow 0 \\
 4 : 16 = 0 & : 4 & \rightarrow 4
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{401}_{16}$$

$$\underline{1025_{10} = 100000000001_2 = 401_{16} \hat{=} 2 \text{ Byte}}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{2.) } 2456_{10} & \rightarrow & 2456 : 2 = 1228 \quad \text{Rest: } 0 \\
 & & 1228 : 2 = 614 \quad : 0 \\
 & & 614 : 2 = 307 \quad : 0 \\
 & & 307 : 2 = 153 \quad : 1 \\
 & & 153 : 2 = 76 \quad : 1 \\
 & & 76 : 2 = 38 \quad : 0 \\
 & & 38 : 2 = 19 \quad : 0 \\
 & & 19 : 2 = 9 \quad : 1 \\
 & & 9 : 2 = 4 \quad : 1 \\
 & & 4 : 2 = 2 \quad : 0 \\
 & & 2 : 2 = 1 \quad : 0 \\
 & & 1 : 2 = 0 \quad : 1
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{100110011000}_2$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rightarrow 2456 : 16 = 153 & \text{Rest: } 8 & \\
 153 : 16 = 9 & : 9 & \\
 9 : 16 = 0 & : 9 &
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{998}_{16}$$

$$\underline{2456_{10} = 100110011000_2 = 998_{16} \hat{=} 2 \text{ Byte}}$$

$$\begin{array}{rcl}
 k) \quad 3518_D & \rightarrow & 3518 : 2 = 1759 \quad \text{Rest: } 0 \\
 & & 1759 : 2 = 879 \quad : 1 \\
 & & 879 : 2 = 439 \quad : 1 \\
 & & 439 : 2 = 219 \quad : 1 \\
 & & 219 : 2 = 109 \quad : 1 \\
 & & 109 : 2 = 54 \quad : 1 \\
 & & 54 : 2 = 27 \quad : 0 \\
 & & 27 : 2 = 13 \quad : 1 \\
 & & 13 : 2 = 6 \quad : 1 \\
 & & 6 : 2 = 3 \quad : 0 \\
 & & 3 : 2 = 1 \quad : 1 \\
 & & 1 : 2 = 0 \quad : 1
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{110110111110_2}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \rightarrow 3518 : 16 = 219 & \text{Rest: } 14 \rightarrow E \\
 219 : 16 = 13 & : 11 \rightarrow B \\
 13 : 16 = 0 & : 13 \rightarrow D
 \end{array}$$

$$\rightarrow \underline{DBE_H}$$

$$\underline{3518_H = 110110111110_2 = DBE_H \hat{=} 2 \text{ Byte}}$$

Aufg. 6.7. Zahlen \rightarrow Dezimalsystem

a) 10011_3

$$\rightarrow 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1$$

$$\begin{array}{cccccc} + & + & + & + & + \\ 0 & 2 & 4 & 8 & 18 \end{array}$$

$$= 1 \quad = 3 \quad = 4 \quad = 9 \quad = 19$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{10011_3 = 19_{10}}}$$

b) 101001_3

$$\rightarrow 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1$$

$$\begin{array}{cccccc} + & + & + & + & + & + \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 20 & 40 \end{array}$$

$$= 1 \quad 2 \quad 5 \quad 10 \quad 20 \quad 41$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{101001_3 = 41_{10}}}$$

c) 11010101_3

$$\rightarrow 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1$$

$$\begin{array}{cccccccc} +0 & 2 & 6 & 12 & 36 & 54 & 106 & 212 \end{array}$$

$$= 1 \quad 3 \quad 6 \quad 13 \quad 25 \quad 53 \quad 106 \quad 213$$

$$= \underline{\underline{213_{10}}}$$

d) 10100011_3

$$\rightarrow 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1$$

$$\begin{array}{cccccccc} +0 & 2 & 4 & 10 & 20 & 40 & 80 & 162 \end{array}$$

$$= 1 \quad 2 \quad 5 \quad 10 \quad 20 \quad 40 \quad 81 \quad 163$$

$$= \underline{\underline{163_{10}}}$$

e) 13_H

$$\begin{array}{r} \rightarrow 1 \quad 3 \\ + 0 \quad 16 \\ - 1 \quad \underline{\underline{= 19_D}} \end{array}$$

f) AD_H

$$\begin{array}{r} \rightarrow 10 \quad 13 \\ + 0 \quad 160 \\ - 10 \quad \underline{\underline{= 173_D}} \end{array}$$

g) $2A5_H$

$$\begin{array}{r} \rightarrow 2 \quad 10 \quad 5 \\ + 0 \quad 32 \quad 672 \\ = 2 \quad 42 \quad \underline{\underline{= 677_D}} \end{array}$$

h) $7C3_H$

$$\begin{array}{r} \rightarrow 7 \quad 12 \quad 11 \\ + 0 \quad 112 \quad 1984 \\ - 7 \quad 124 \quad \underline{\underline{= 1995_D}} \end{array}$$

Aufg. 6.8. Verknüpfung Hexadez. mit UND, ODER, XOR

a) A_{16}
 $4D_{16}$

1) Umwandeln in Binärzahlen:

$$A_{16} \rightarrow A_{16} \hat{=} 10_{10} \hat{=} 1010_2$$

$$4_{16} \hat{=} 4_{10} \hat{=} 100_2$$

$$4D_{16} \rightarrow 4_{16} \hat{=} 4_{10} \hat{=} 100_2$$

$$D_{16} \hat{=} 13_{10} = 1101_2$$

2) Verknüpfen:

$$A_{16} : 1010_2 \quad 0100_2$$

$$4D_{16} : 0100_2 \quad 1101_2$$

$$\text{UND} : 0000 \quad 0100_2 \quad \longrightarrow \quad = 4_{16} \quad \checkmark$$

$$\text{ODER} : 1110 \quad 1101_2 \quad \longrightarrow \quad = 23_{16} = E_{16} \quad \checkmark$$

$$\text{XOR} : 1110 \quad 1001_2 \quad \longrightarrow \quad = 23_{16} = E_{16} \quad \checkmark$$

b) C_9H
 BC_4H

1) Umwandeln in Binärzahlen:

$$\begin{array}{lcl}
 C_9H & \rightarrow & C_H \hat{=} 12_D \hat{=} 1100_B \\
 & & 9_H \hat{=} 9_D \hat{=} 1001_B \\
 BC_4H & \rightarrow & B_H \hat{=} 11_D \hat{=} 1011_B \\
 & & C_H \hat{=} 12_D \hat{=} 1100_B
 \end{array}$$

2) Verknüpfen:

$$C_9H: 1100 \quad 1001_B$$

$$BC_4H: 1011 \quad 1100_B$$

$$UND: 1000 \quad 1000 \longrightarrow 136_D \hat{=} \underline{\underline{88_H}}$$

$$ODER: 1111 \quad 1101 \longrightarrow 509_D \hat{=} \underline{\underline{7D_H}}$$

$$XOR: 0111 \quad 0101 \longrightarrow 117_D \hat{=} \underline{\underline{75_H}}$$

Aufg. 6.9. Markieren von Bits

a) Bit: 7 6 5 4 3 2 1 0

x	x	x	x	x	x	?	x
---	---	---	---	---	---	---	---

? = 0 oder 1

AND

0	0	0	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

=

0	0	0	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

0

= 2¹

⇒ AND 02_H

b) Bit: 7 6 5 4 3 2 1 0

x	x	x	x	x	?	x	?
---	---	---	---	---	---	---	---

AND

0	0	0	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

0	0	0	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

0

= 2² + 2⁰ = 5

⇒ AND 05_H

c) Bit: 7 6 5 4 3 2 1 0

?	x	x	x	x	?	?	x
---	---	---	---	---	---	---	---

AND

1	0	0	0	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

1	0	0	0	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

2³ = 8

2² + 2¹ = 6

⇒ AND 86_H