

14 Bestimmung von nichtelektrischen Größen mit Hilfe elektrischer Größen

Inhalt

- Begriffe und Überblick: Anwendung der elektrischen Messtechnik in der Sensorik
- Messkette
- Strom- und spannungsliefernde Aufnehmer
- Widerstandsaufnehmer
- Induktive und kapazitive Aufnehmer

Beispiele / Literatur

Viele Beispiele und Abbildungen sind den folgenden Lehrbüchern entnommen:

- Schrüfer: Elektrische Messtechnik, Hanser, 2007.
- Haug: Angewandte elektrische Messtechnik, Vieweg, 1991.
- Mühl: Einführung in die elektrische Messtechnik, Vieweg, 2008.
- Lerch: Elektrische Messtechnik, Springer, 1996.

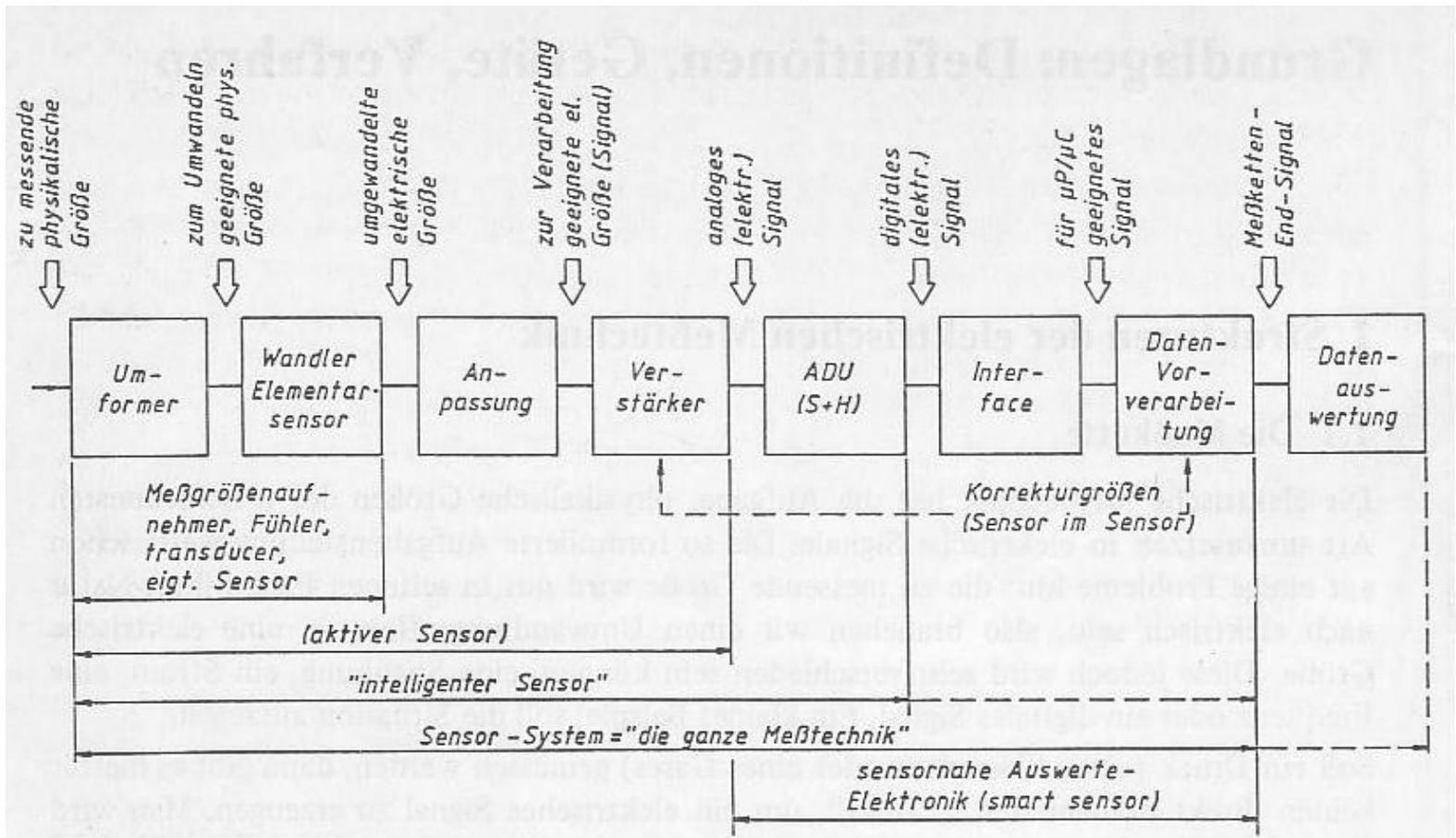
Überblick & Begriffe

- Elektrische Messtechnik ist Grundlage für die Messung nichtelektrischer Größen
- Ausnutzung einer Vielzahl von physikalischen Effekten
- Sensor: Umwandlung einer nichtelektrischen Größe in eine elektrische Größe (ggf. über mehrere Zwischenschritte)
- (Mehrfach-) *Umformung*: nötige Umformung(en) nichtelektrischer Signale in weitere nichtelektrische Signale, welche schließlich in ein elektrisches Signal umgeformt werden →
- Basis-Sensor, Elementar-Sensor (*Aufnehmer*): finale / direkte *Umwandlung* einer nichtelektrischen Größe in eine elektrische Größe
- Kompensation unerwünschter Effekte im Sensor nötig
- Sensor soll reproduzierbar und auch selektiv auf Messgröße reagieren
- Kennlinie charakterisiert den Sensor

Überblick & Begriffe

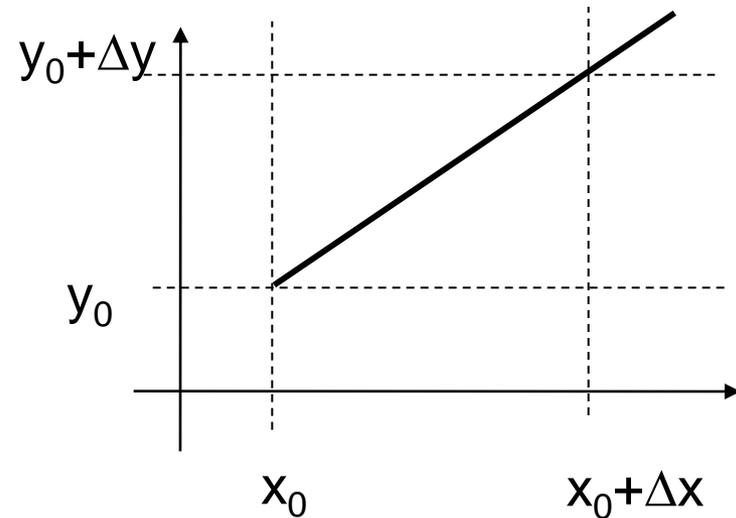
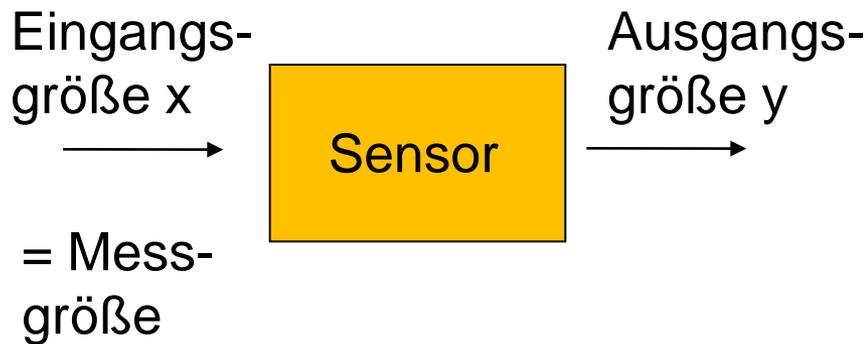
- Sensor:
 - aktiver Sensor (keine zus. elektrische Energieversorgung nötig)
 - passiver Sensor (zus. Energieversorgung nötig)
- Sensor:
 - *Umformung* der zu messenden nichtelektrischen Größe in eine zur *Umwandlung* ins Elektrische geeignete Größe
 - *Umwandlung* in eine elektrische Größe durch einen spezifischen physikalischen Effekt
 - Anpassung, Verstärkung der elektrischen Größe zur Weiterverarbeitung
- Messkette: Einrichtung zur Messung von nichtelektrischen Signalen
Umformer bis Datenverarbeitung

Messkette



Statische Eigenschaften von Sensoren

Ideale Kennlinie



linearer Zusammenhang (im Idealfall)

Empfindlichkeit $E(x)$

$$y(x) = y_0 + \frac{\Delta y}{\Delta x} (x - x_0)$$

$$E(x) = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{const}$$

Statische Eigenschaften von Sensoren

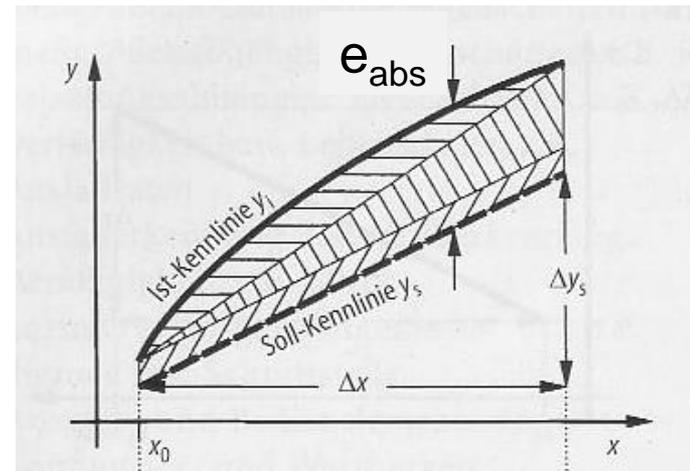
Reale Kennlinie, Messabweichungen

■ Messabweichung

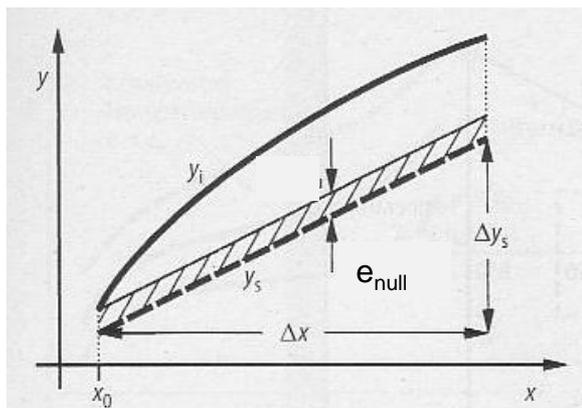
■ absolute $e_{\text{abs}} = y_i - y_s$

■ relative $e_{\text{rel}} = \frac{y_i - y_s}{y_s}$

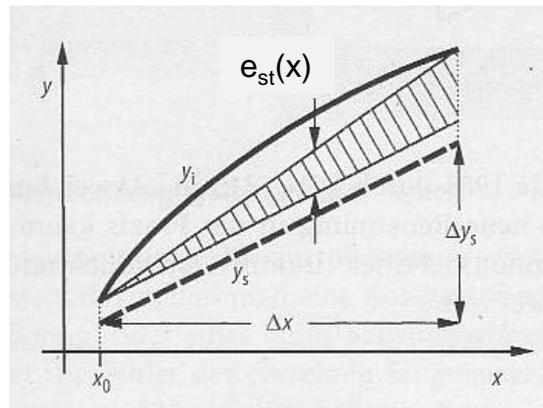
i: Ist-Wert
s: soll (wahrer, richtiger Wert)



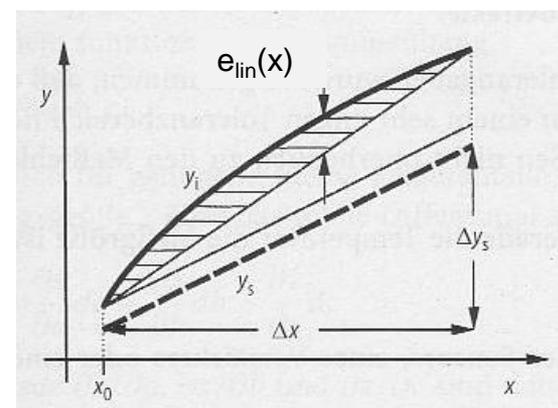
Nullpunktabweichung



Steigungsabweichung



Linearitätsabweichung



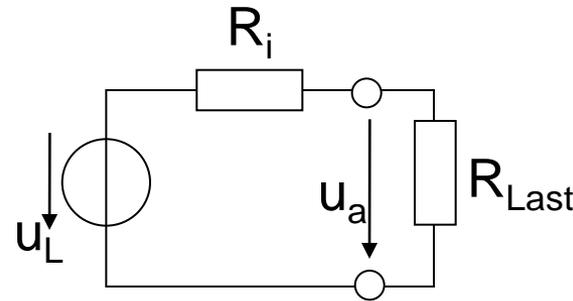
Spannungs- und stromliefernde Messaufnehmer

- Weg- und Winkelmessung
- Analoge Drehzahlmessung
- Hall-Sonde und Anwendungen
- Induktionsdurchflussmessung
- Thermisch spannungsliefernde Aufnehmer
- Chemisch spannungsliefernde Aufnehmer
- Ladungsliefernde Aufnehmer (Piezoelement)
- Optische Aufnehmer
- Aufnehmer für ionisierende Strahlung
(Auslösezählrohr)

Grundlegendes spannungs- bzw. stromliefernde Aufnehmer

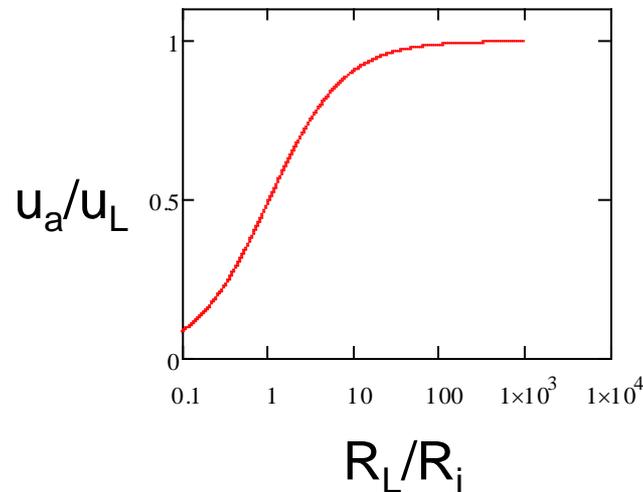
Spannungsliefernde Aufnehmer (Spannungsquelle)

- ideal: R_i muss klein sein
- mindestens aber: $R_{Last} \gg R_i$



$$\frac{u_a}{u_L} = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_L}}$$

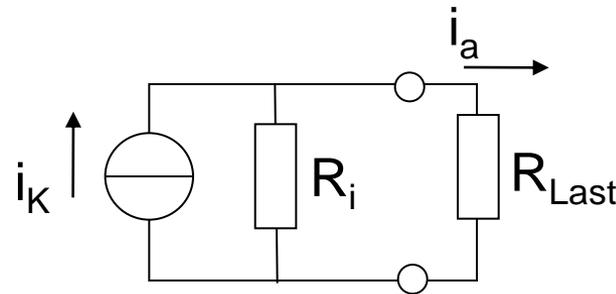
u_a : Außenspannung
 u_L : Leerlaufspannung



Grundlegendes spannungs- bzw. stromliefernde Aufnehmer

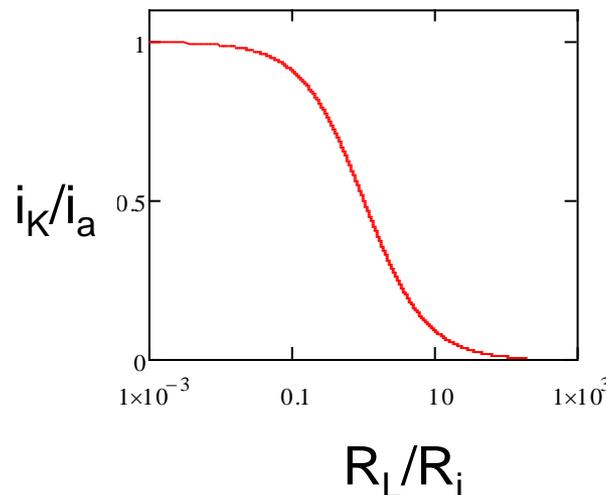
Stromliefernde Aufnehmer (Stromquelle)

- ideal: R_i muss groß sein
- mindestens aber: $R_{Last} \ll R_i$



$$\frac{i_a}{i_K} = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_i}}$$

i_a : Außenstrom
 i_K : Kurzschlussstrom



Differentialtransformator

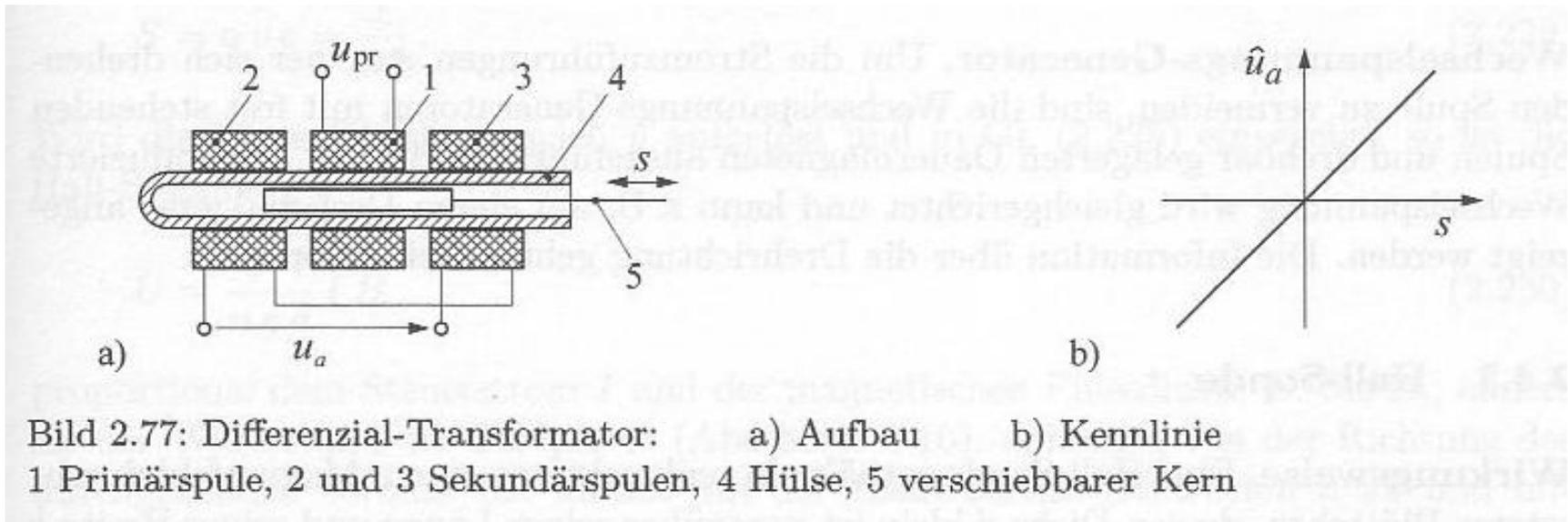


Bild 2.77: Differenzial-Transformator: a) Aufbau b) Kennlinie
1 Primärspule, 2 und 3 Sekundärspulen, 4 Hülse, 5 verschiebbarer Kern

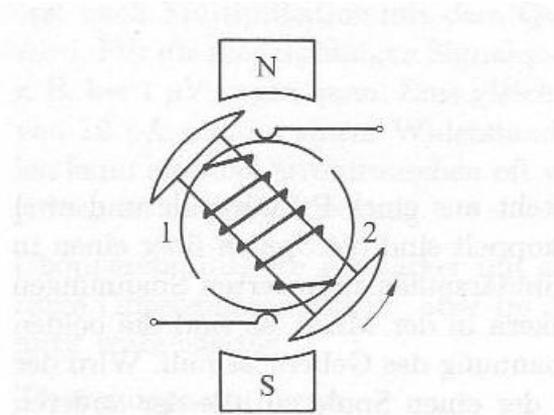
$$u_a(s) = u_{spule2}(s) - u_{spule3}(s)$$

Drehzahlmesser mit analogem Ausgangssignal

→ Ausgangssignal: analoge Spannung

Gegensatz: Impulssignal-liefernde Drehzahlmesser

Gleichspannungsgenerator

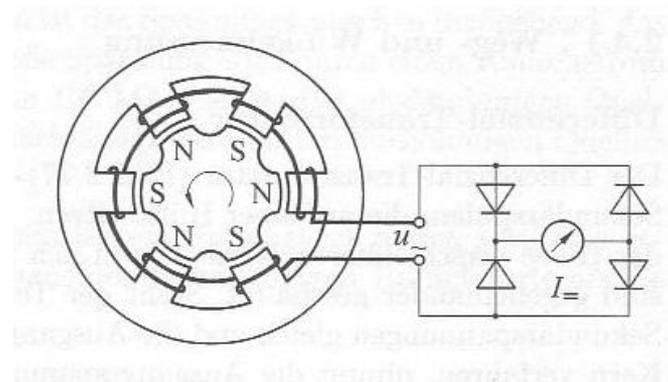


Ausgang: pulsierende Gleichspannung
(Polarität: Drehrichtung)

$$\hat{u}_{a,spule} = f(n)$$

n : Drehzahl

Wechselspannungsgenerator



$$\bar{u}_{a,spule} = f(n)$$

keine Information über
Drehrichtung

Hallsensor

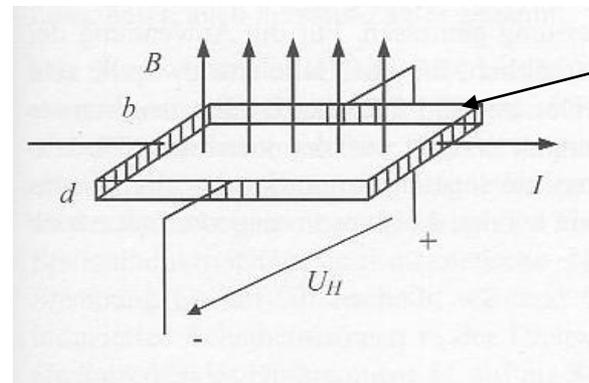
Halleffekt

$$\mathbf{F}_m = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}; \quad F_m = qvB$$

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}; \quad F_e = qE = q \frac{U_H}{b}$$

$$F_e = F_m \Rightarrow U_H = bvB$$

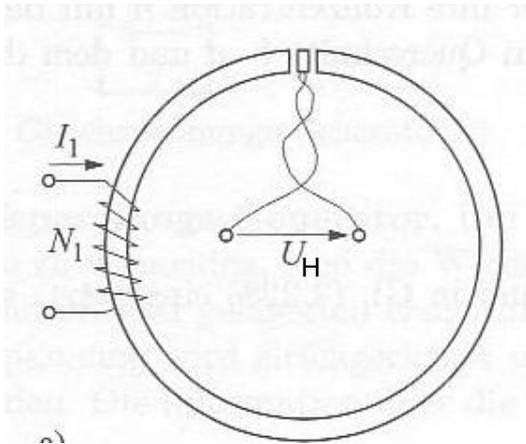
$$\text{mit } \frac{l}{bd} = nvq \Rightarrow U_H = kIB$$



InAs od.
InSb

Anwendungen des Hall-Effekts

1. (potentialfreie) Strommessung



$$U_H = f(I_1) = k_{I_{\text{Steuer}}} I_1$$

Kompensations-
schaltung:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$$

Anwendungen des Hall-Effekts

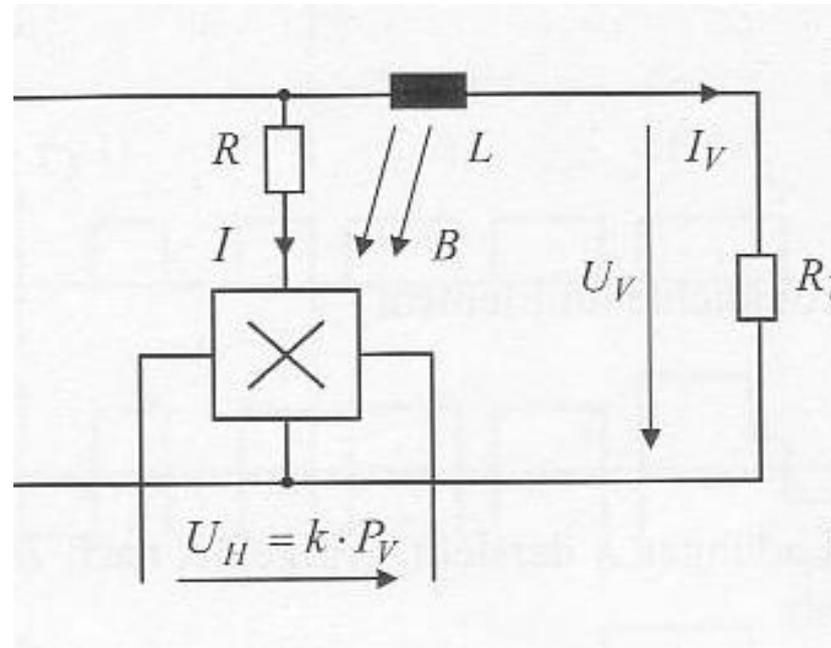
2. Leistungsmessung

$$B \sim I_V$$

$$I = \frac{U_V}{R} \sim U_V$$

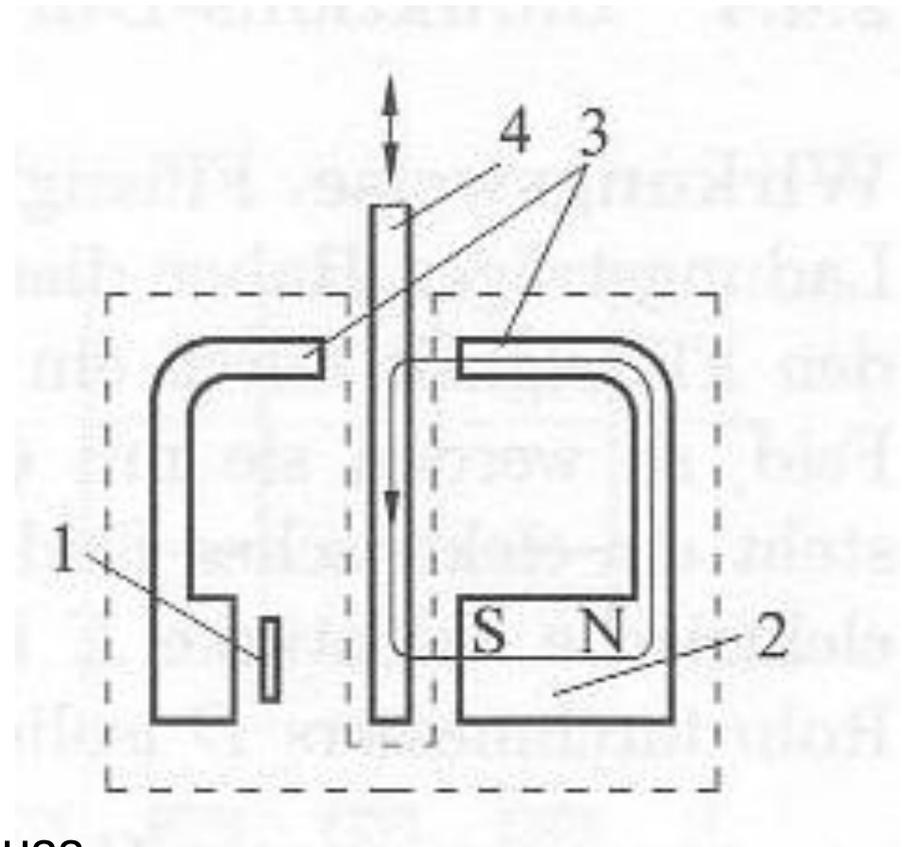
$$U_H \sim IB$$

$$\Rightarrow \overline{U_H} = k_1 \overline{U_V I_V} = k_1 P_V$$



→ „Hall-Multiplizierer“

Magnetschranke: z.B. berührungsloser Endlagenschalter



- 1: Hall-Aufnehmer
- 2: Dauermagnet
- 3: Leitblech für magnetischen Fluss
- 4: bewegliche Weicheisenblende

Induktionsdurchflussmesser

Vorteil: Anwendung da, wo extrem aggressive Umgebung (z.B. Hitze, Säuren, Schmutz) einfache Turbinen-, bzw. Flügelradzähler verwehrt

Anwendung: elektrisch leitfähige Flüssigkeit

$$qvB = qE = q \frac{U}{D}$$

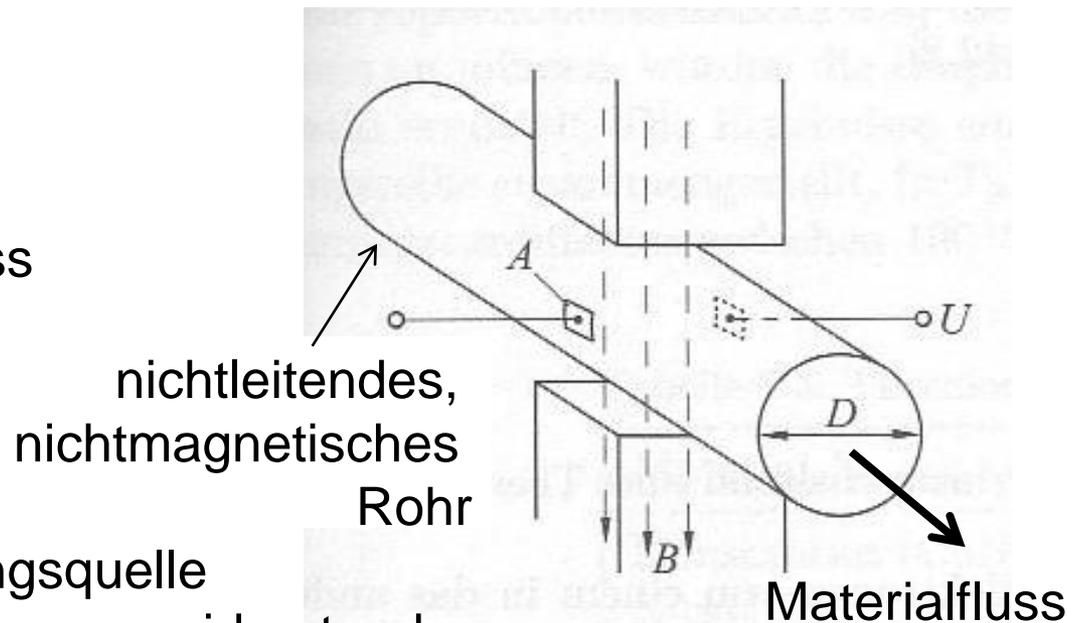
$$U = DvB$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{4} D^2 v \quad \text{Volumenfluss}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{4} \frac{UD}{B}$$

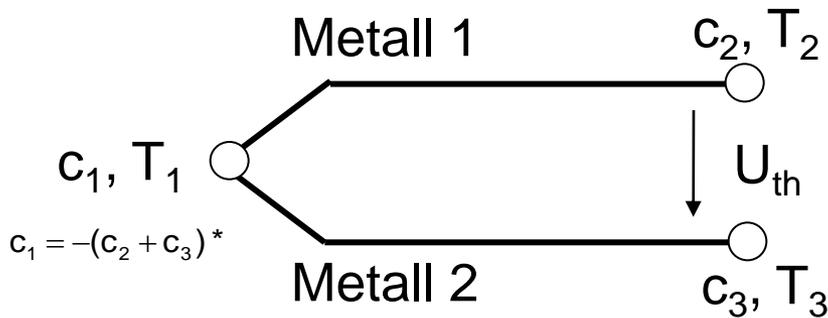
- sehr hochohmige Spannungsquelle
- Verstärker mit hohem Eingangswiderstand

Prinzip:



Thermoelektrische Spannungsgeber

Thermoelektrischer Effekt (Seebeck-Effekt, Thermoelement):



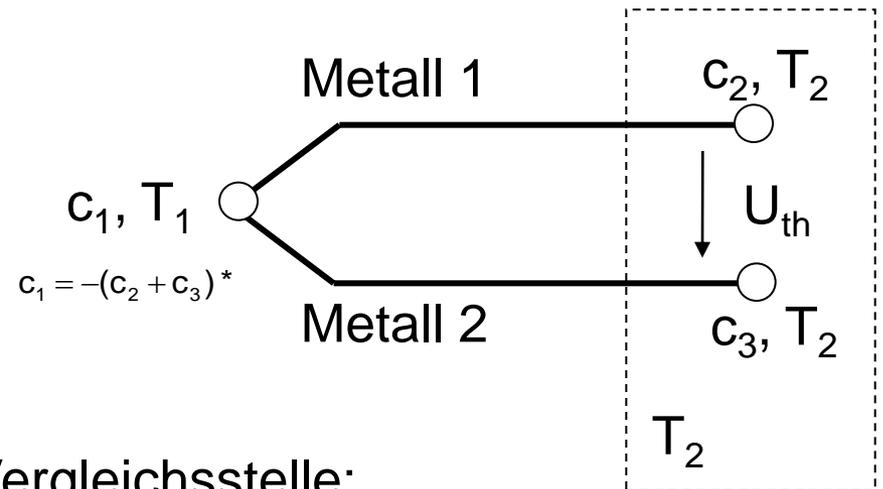
$$U_{th,1} + U_{th,2} + U_{th,3} = U_{th}$$

$$U_{th,n} = c_n T_n$$

$$U_{th} = (c_1 T_1 + (c_2 + c_3) T_2)$$

$$U_{th} = c_1 (T_1 - T_2)$$

Vergleichsstelle:



Vergleichsstelle:

- a) über Thermostat auf $+50^\circ\text{C}$
- b) Ausgleichsdose (Brückenschaltung mit Widerstands-R Brückenspannung wird zur Korrektur von U_{th} verwendet)

* wenn $T_1 = T_2 = T_3 \rightarrow U_{th} = 0$

Thermoelemente

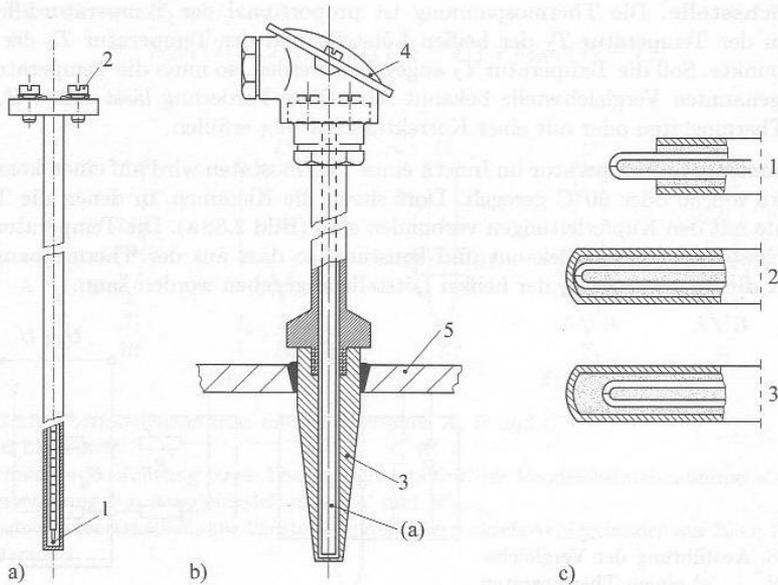


Bild 2.89: Ausführungsformen von Thermoelementen

a) Messeinsatz mit Thermopaar 1 und Anschlussklemmen 2

b) Armatur mit Messeinsatz (a); 3 Schutzrohr, 4 Anschlusskopf, 5 Wand der Rohrleitung oder des Behälters

c) Mantelthermoelemente; 1 Thermopaar offen, 2 Thermopaar mit dem Mantel verschweißt, 3 Thermopaar vom Mantel isoliert

Standardisierung der Parameter der Thermoelemente:
DIN IEC 584, DIN 43710

Messschaltung:

Thermoelement ist Spannungsquelle,
Innenwiderstand einige Ohm..kOhm

- Messung der Spannung oder
- Messung des eingepprägten Stroms:
Widerstand des Mess-Kreis muss bekannt sein

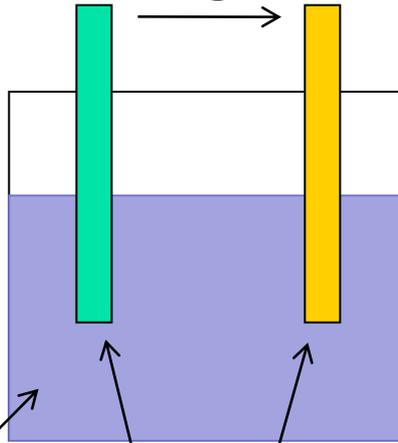


Messung der Temperatur ist träge wg. techn. Aufbau

Chemisch spannungsliefernde Sensoren und Aufnehmer

Galvanisches Element

U



metall-
ionische
Lösung

Metall x=1,2

Nernst-Gleichung

$$U = U_2 - U_1 = (\Phi_{M2} - \Phi_L) - (\Phi_{M1} - \Phi_L)$$

$$U = \frac{kT}{e} \ln \frac{c_{M2}}{c_{M1}}$$

c_{Mx} : Konzentration der Ionen im Metall x

Φ_{Mx} : Potential im Metall x

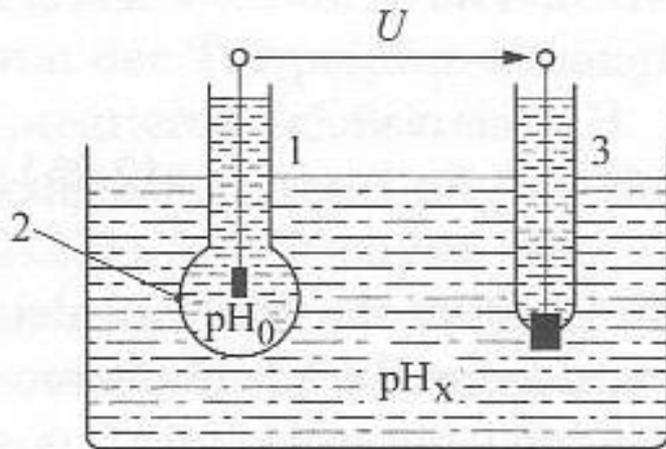
Φ_L : Potential der Lösung

U_x : Kontaktspannungen

pH-Wert Messkette mit Glaselektrode

pH Wert: $\text{pH} = -\log c_{\text{H}^+}$

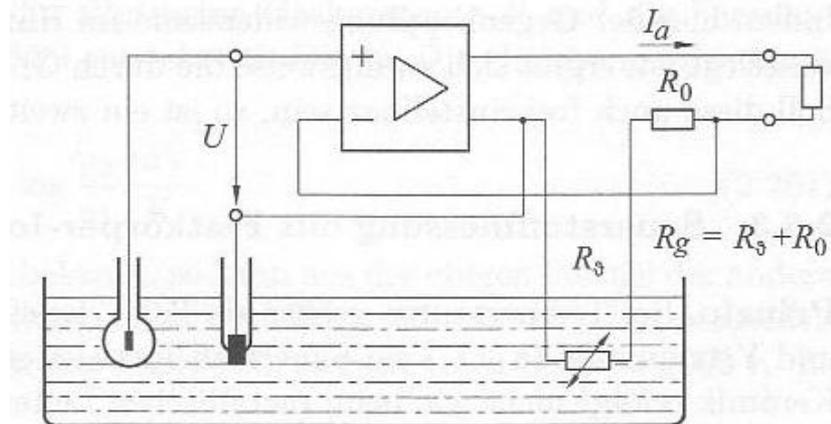
$$U = \frac{kT}{e} \ln \frac{c_x}{c_0} = 54,2(\text{pH}_0 - \text{pH}_x) \quad (T=273\text{K})$$



- 1: innere Ableitelektrode
- 2: Glasmembran
- 3: äußere Ableitelektrode

pH=7: neutral
 pH<7: sauer
 pH>7: basisch (alkalisch)

Messverstärker mit T-Kompensation

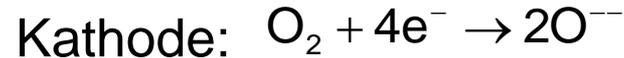
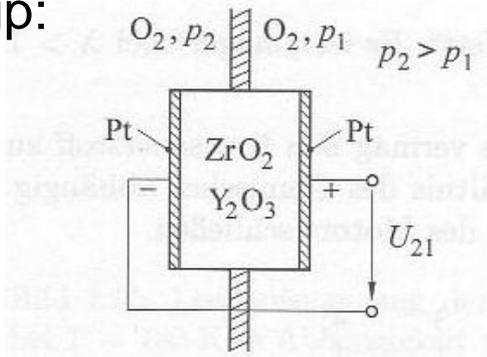


sehr großer R_i der Spannungsquelle:
 - hochohmig messen
 - Leitungen gut abschirmen

Lambda-Sonde

λ : „Luftzahl“
 $\lambda=1$: Gemisch optimal
 $\lambda<1$: Sauerstoff fehlt, Gemisch „fett“
 $\lambda>1$: zu viel Sauerstoff, Gemisch „mager“

Prinzip:



Spannung
(Nernst-Gleichung):

$$U = 0,0496T \ln \frac{p_2}{p_1} \left[\frac{mV}{K} \right]$$

Implementierung:

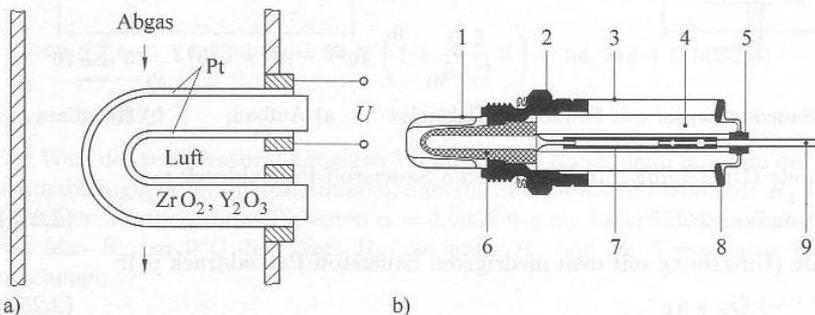
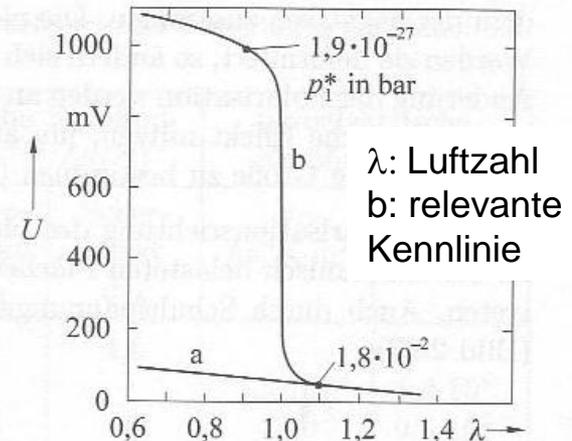


Bild 2.94: Lambda-Sonde a) Aufbau b) Technische Ausführung;
 1 Schutzrohr mit Schlitzten, 2 Sondengehäuse, 3 Schutzhülse, 4 Stützkeraamik, 5 Isolierteil,
 6 Sondenkeramik, 7 Kontaktierung, 8 Tellerfeder, 9 Anschlussleitung

Kennlinie:



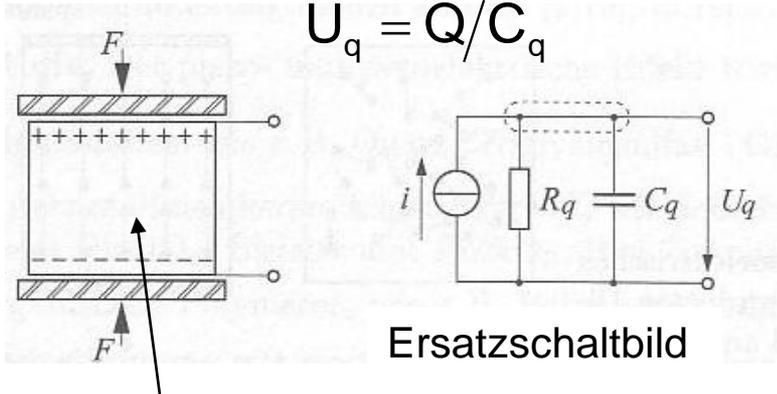
Sonden-Innenwiderstand bei Arbeitspunkt ($T=700^\circ\text{C}$): 100Ω

Piezoelektrischer ladungsliefernder Aufnehmer

Prinzip:

$$Q = kF$$

$$U_q = Q/C_q$$



Ersatzschaltbild

piezo-elektrischer Kristall

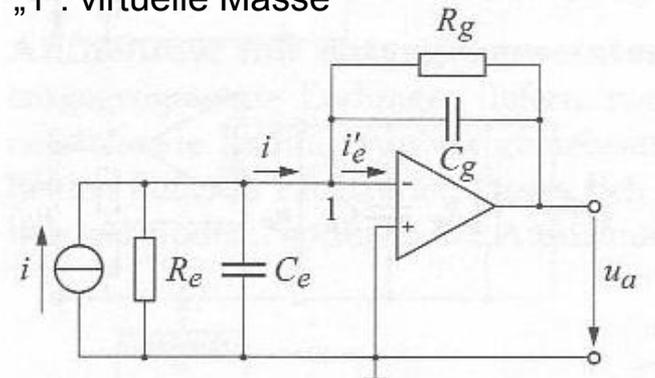
hohe Spannungen U_q
aber R_q groß, daher nicht direkt mit
Messgerät messbar

↓ Spannungsverstärker ($R_e \rightarrow \infty$)
oder:

Einsatz eines integrierenden Ladungsverstärkers
„1“: virtuelle Masse

Anwendung: Drucksensor

$$F = pA$$

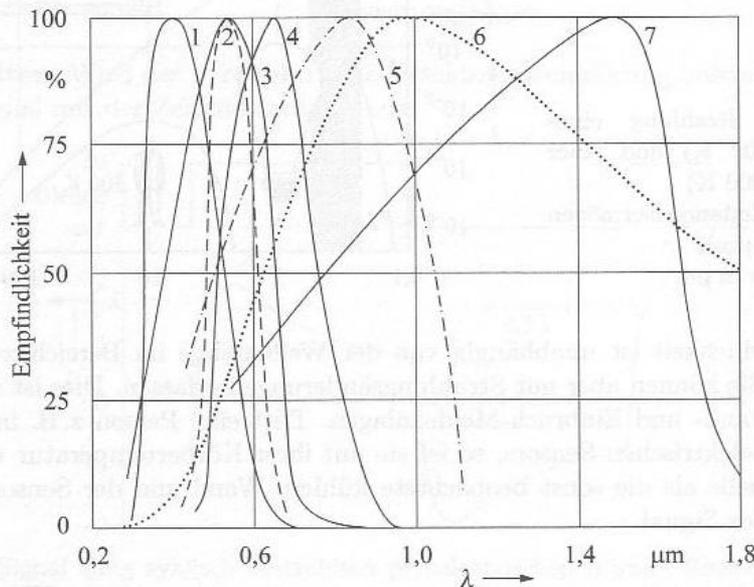


wenn $R_g \rightarrow \infty$ langsame $F(t)$ messbar

Optische Aufnehmer und Senoren

Spezialfach
Optoelektronik

wichtige Messgrößen in der Lichttechnik:
- Lichtstrom Φ [lm]: gesamte vom Objekt abgegebene Strahlungsleistung, mit der Empfindlichkeit des Auges bewertet
- Beleuchtungsstärke: $E_v = \Phi/A$ [lm/m²=lx]



Spektrale Empfindlichkeit
verschiedener Detektoren

Bild 2.108: Normierte spektrale Empfindlichkeit optoelektrischer Messgrößenumformer

1 Fotozelle mit Sb-Cs-Kathode

5 Si-pin-Fotodiode

2 Augenempfindlichkeit

6 spektrale Emission einer Glühlampe

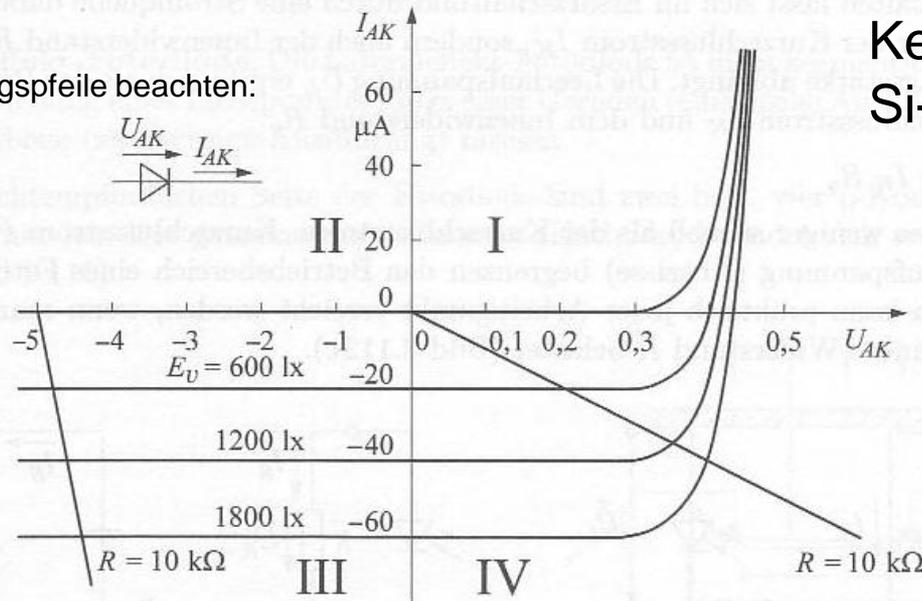
3 Se-Fotoelement

7 Ge-Fotodiode

4 CdS-Fotowiderstand

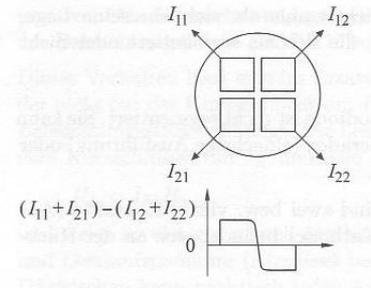
Kennlinienfeld und Einsatzarten

Bezugspfeile beachten:

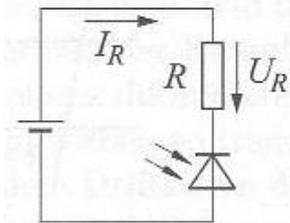


Kennlinie einer Si-Photodiode

segmentierte PD:

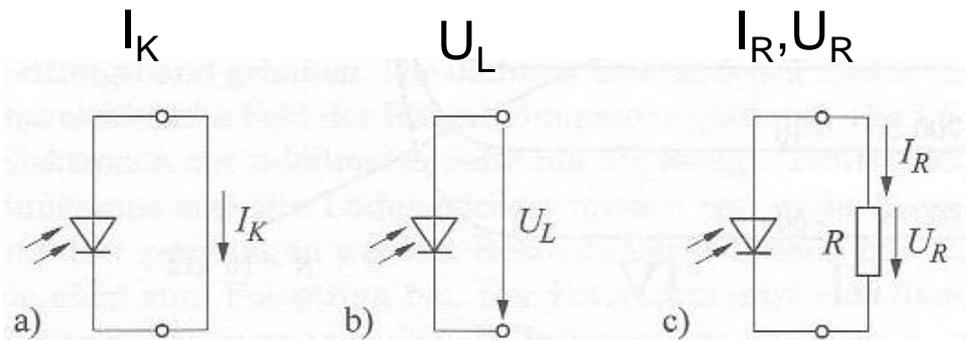


Diodenbetrieb (III. Q)



Vorteil: hohe Grenzfrequenz

Elementbetrieb (IV. Q)



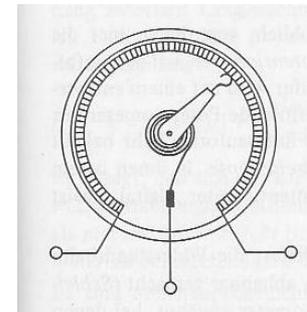
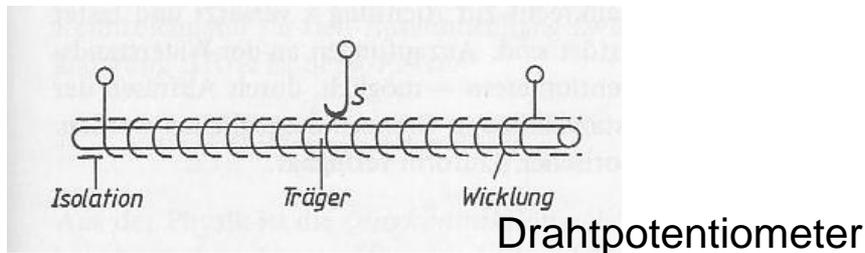
Widerstandsaufnehmer

- Längen- und Winkelmessung
- Widerstands-Temperaturfühler
- Dehnungsmessstreifen

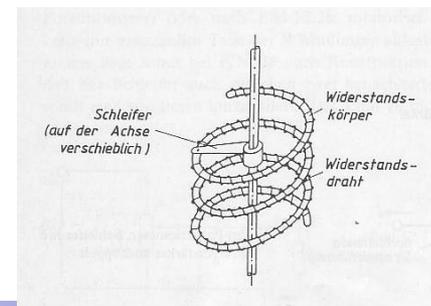
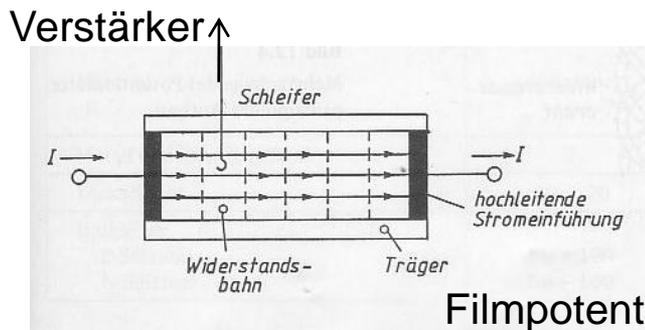
Längen- und Winkelmessung

Grundsätzliche Ausführung: Potentiometer, Drahtpoties mit

- über der Länge gleichbleibendem Widerstand,
- nur geringe Abhängigkeit von der Temperatur (Nickel-Kupfer Legierung, „Konstantan“, Carbon-Film, Metallfilm)
- typ. R: $10^2 \dots 10^4 \Omega$
- 1...200 cm, ... 360° , $N \times 360^\circ$



Einfachwendel



Mehrfachwendel

Achtung: belastetes Potentiometer \rightarrow nichtlinear

Widerstandstemperturfühler

Metallwiderstandsthermometer

$$R(\vartheta) = R_0 [1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)] = R_0 [1 + \alpha(\vartheta)]$$

Empfindlichkeit

$$E = \frac{dR}{d\vartheta} = R_0 \alpha$$

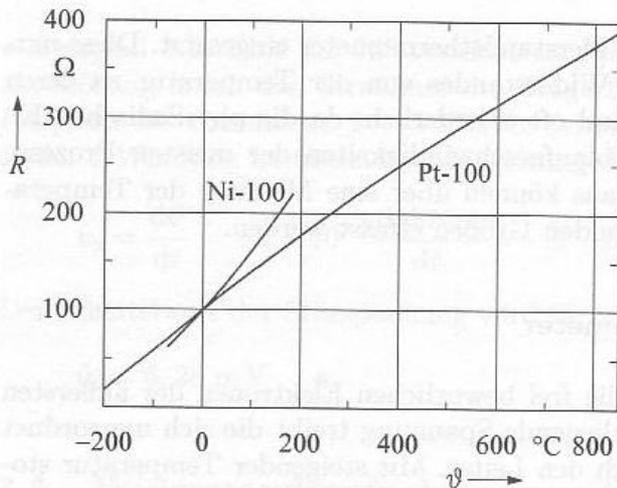
Nickel und Platinthermometer

Parameter genormt in DIN 4367

Platin: -200...850°C

Nickel: -60...180°C

Kennlinie



Implementierung

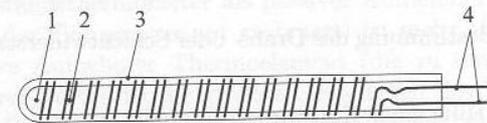


Bild 3.23: Platin-Messwiderstand mit eingeschmolzenem Platin-Draht;
1 Glas- oder Keramikkörper, 2 bifilar gewickelter Platin-Draht, 3 Glas- oder Keramiküberzug,
4 Anschlussdrähte

Messschaltungen:

- Konstant-Stromquelle
- Brückenschaltungen

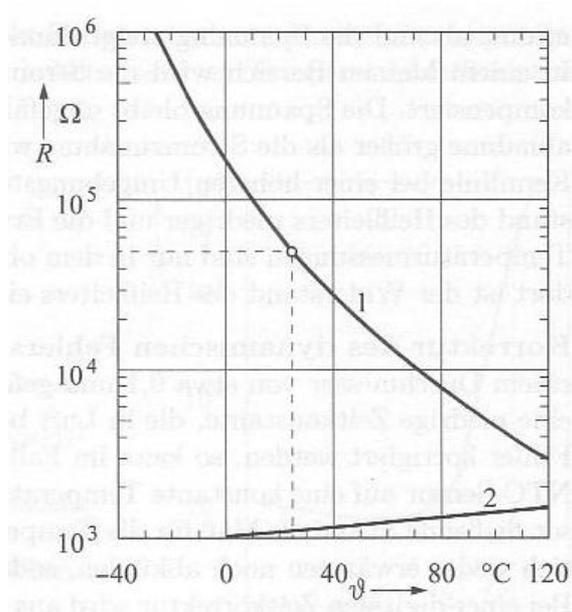
Heißleiter

Halbleitermaterial, Thermistoren
NTC: negative temperature coefficient

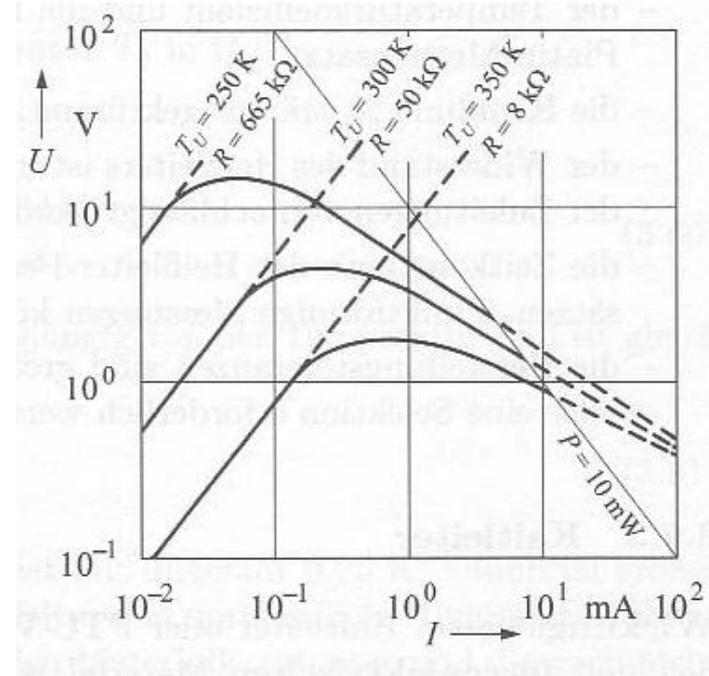
$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

$$R(T) \approx K_0 e^{b/T}$$

R-θ-Kennlinie



U-I-Kennlinie



- 1: NTC
- 2: Platin-Widerstandsthermometer

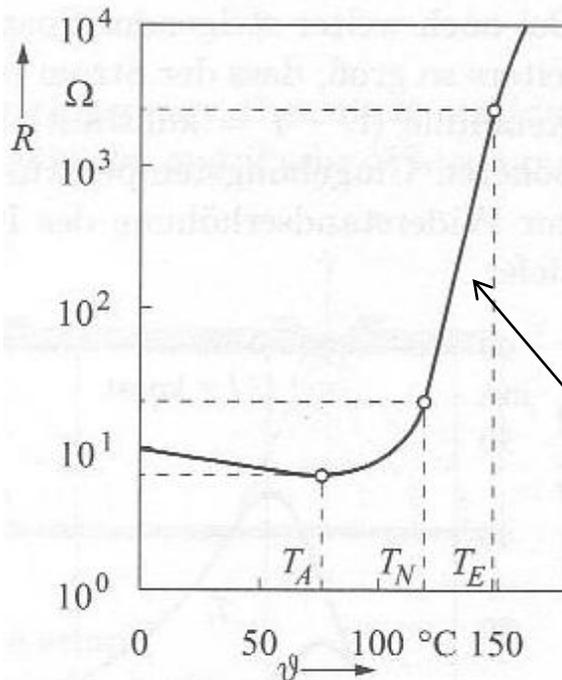
Kaltleiter

ferroelektrisches Material

PTC: positive temperature coefficient

oberhalb der Curie-Temperatur exponentieller Anstieg von R mit T

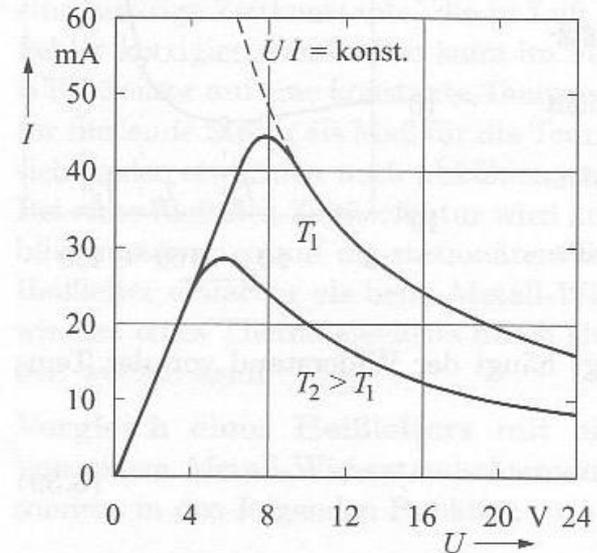
R- ϑ -Kennlinie



T_A: Temperaturkoeffizient wird positiv
T_N: Beginn des steilen Anstiegs
T_E: Endtemperatur

$$R = R_0 e^{b(T-T_0)}$$

U-I-Kennlinie



Dehnungsmessstreifen

Messgrundlage: Änderung des Widerstandes mit der Länge bzw. der relativen Längenänderung

$$R = \frac{l}{A} \rho$$

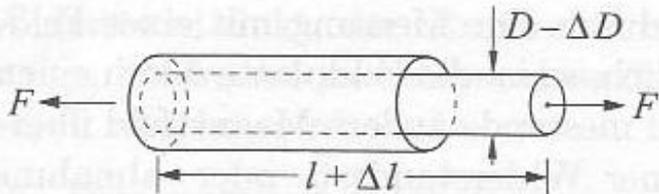
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{2}{D} \Delta D + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R}{R_0 + \Delta R} \approx \frac{\Delta R}{R_0} \approx K \varepsilon$$



Dehnung (relative Längenänderung): ε
K-Faktor (Verhältnis von relativer R-Änderung zur Dehnung): K

Dehnungsmessstreifen Ausführungsformen

reine Drahttechnik und Folien-Dehnungsmessstreifen (DMS)
aber auch Dickschicht- und Dünnschichttechnik

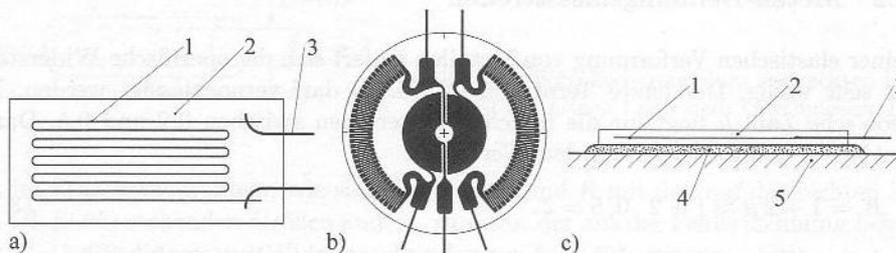


Bild 3.42: Dehnungsmessstreifen

- a) Draht-Messstreifen
- b) Folien-Messstreifen als Membranrosette (Hottinger Baldwin Messtechnik)
- c) Querschnitt durch einen aufgeklebten Messstreifen; 1 Messgitter, 2 Abdeckung, 3 Streifenanschluss, 4 Kleber, 5 zu untersuchendes Werkstück

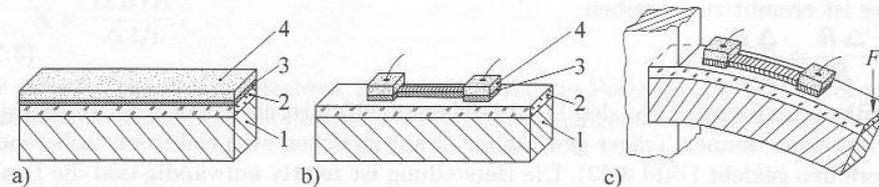
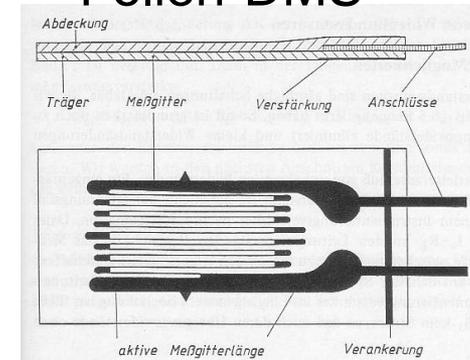


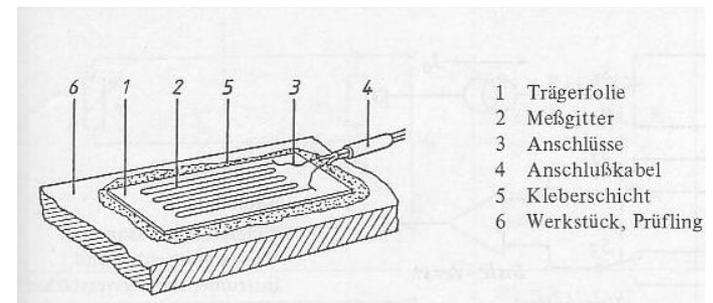
Bild 3.43: Biegebalken-Kraft-Messaufnehmer mit Dünnschicht-DMS [3.10]

- a) nach einseitig-vollflächiger Beschichtung; 1 Federkörper aus Bronze oder Stahl, 2 Isolierschicht, 3 dehnungsempfindliche Widerstandsschicht, 4 niederohmige Leiterschicht
- b) nach fotolithografischer Strukturierung
- c) Aufnehmer unter Belastung

Folien-DMS

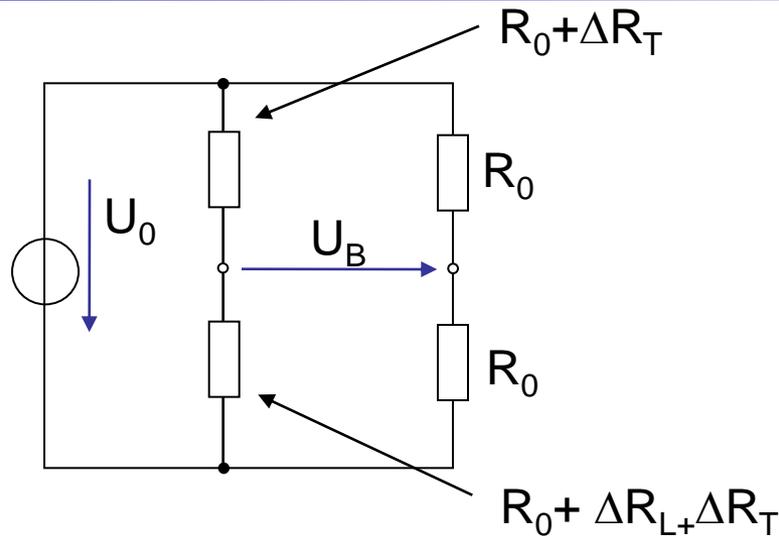


applizierter Folien-DMS



Dehnungsmessstreifen

Temperaturkompensation & Messschaltung



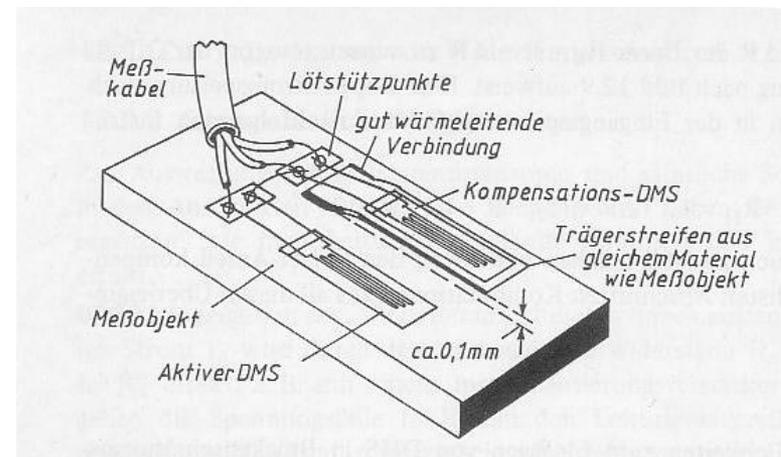
ohne T-Kompensation:

$$U_B \approx U_0 \frac{\Delta R_L + \Delta R_T}{4R_0}$$

mit T-Kompensation:

$$U_B \approx U_0 \frac{\Delta R_L + \Delta R_T - \Delta R_T}{4R_0}$$

Messstelle mit
Temperaturkompensation



Induktive Aufnehmer

Kapazitive Aufnehmer

- Tauchanker zur Längen- und Winkelmessung
- induktiver Schleifendetektor

- Differential-Kondensator
- Änderungen des Dielektrikum

Induktiver Aufnehmer

Induktivität einer Spule:

$$L = \frac{N^2}{R_M}$$

$$R_M = \frac{s}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$R_M = \frac{s_{Fe}}{\mu_0 \mu_{r,Fe} A_{Fe}} + \frac{s}{\mu_0 \mu_{r,Luft} A_{Fe}} + \frac{s_{au\ddot{a}}}{\mu_0 \mu_{r,Luft} A_{Au\ddot{a}}}$$

$$R_M \approx \frac{s}{\mu_0 A_{Fe}}$$

$$L(s) \approx \frac{\mu_0 AN^2}{s} = \frac{k}{s}$$

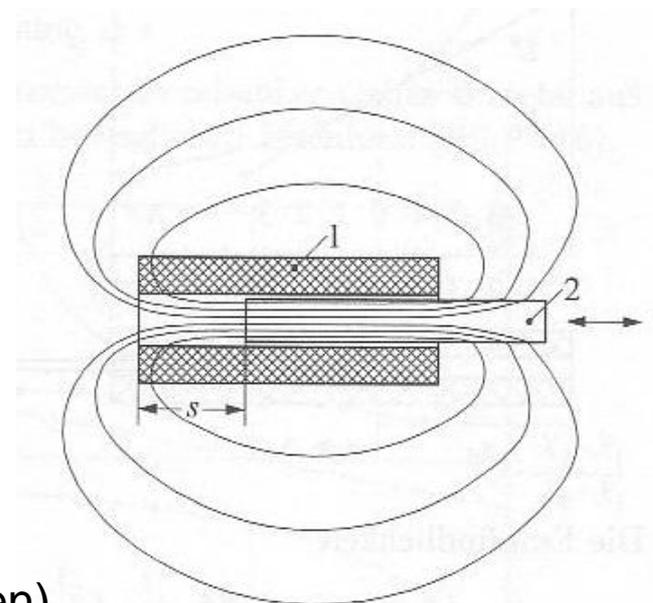
s : Weglänge der Feldlinien im Medium

R_M : Magnetischer Widerstand

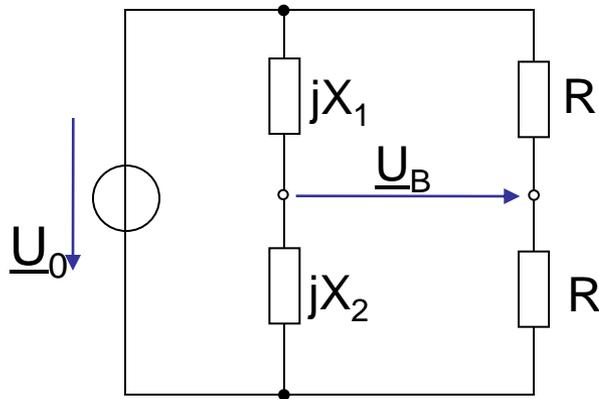
μ_0, μ_r : magn. Feldkonstante, Permeabilität

A : von Feldlinien durchsetzte Fläche

1: Spule
2: Kern
(Weicheisen)



Induktiver Aufnehmer in Ausschlagbrücke für Wechselspannung



Viertelbrücke ($X_1=X_0$; $X_2=X_0+\Delta X$)

$$\underline{Z}_2(\Delta s) = jX_2 = j\omega L_2 = \frac{\omega k}{s_0 + \Delta s}$$

$$\underline{Z}_1 = jX_1 = j\omega L_1 = \frac{\omega k}{s_0}$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_0 \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3 - \underline{Z}_1 \underline{Z}_4}{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)(\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4)}$$

$$\underline{U}_B = \frac{\underline{U}_0}{2} \frac{X_2 - X_1}{X_1 + X_2} = \frac{\underline{U}_0}{2} \frac{\frac{\omega k}{s_0 + \Delta s} - \frac{\omega k}{s_0}}{\frac{\omega k}{s_0 + \Delta s} + \frac{\omega k}{s_0}} = -\frac{\underline{U}_0}{2} \frac{\Delta s}{2s_0 + \Delta s}$$

$$\underline{U}_B \approx -\frac{\underline{U}_0}{4s_0} \Delta s$$

Tauchanker-Aufnehmer als Differentialaufnehmer

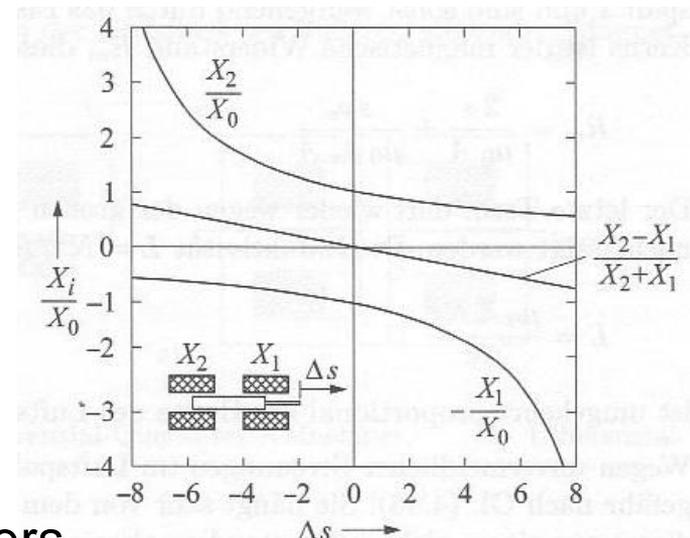
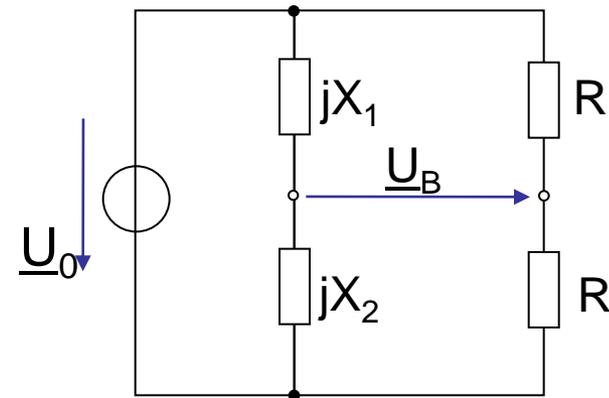
Halbbrücke ($X_1=X_0-\Delta X$; $X_2=X_0+\Delta X$)

$$X_1(\Delta s) = j\omega L_1 = \frac{\omega k}{s_0 - \Delta s}$$

$$X_2(\Delta s) = j\omega L_2 = \frac{\omega k}{s_0 + \Delta s}$$

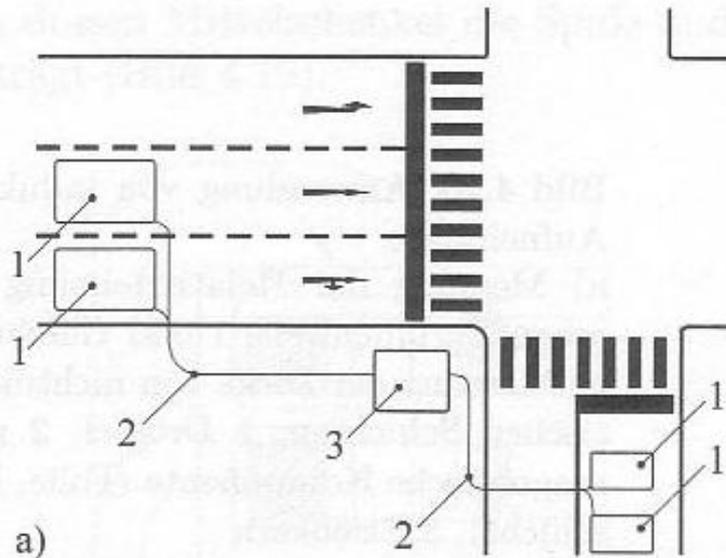
$$\underline{U}_B = \frac{\underline{U}_0}{2} \frac{X_2 - X_1}{X_1 + X_2} = \frac{\underline{U}_0}{2} \frac{\frac{\omega k}{s_0 + \Delta s} - \frac{\omega k}{s_0 - \Delta s}}{\frac{\omega k}{s_0 + \Delta s} + \frac{\omega k}{s_0 - \Delta s}}$$

$$\underline{U}_B = -\frac{\underline{U}_0}{2} \frac{\Delta s}{s_0}$$

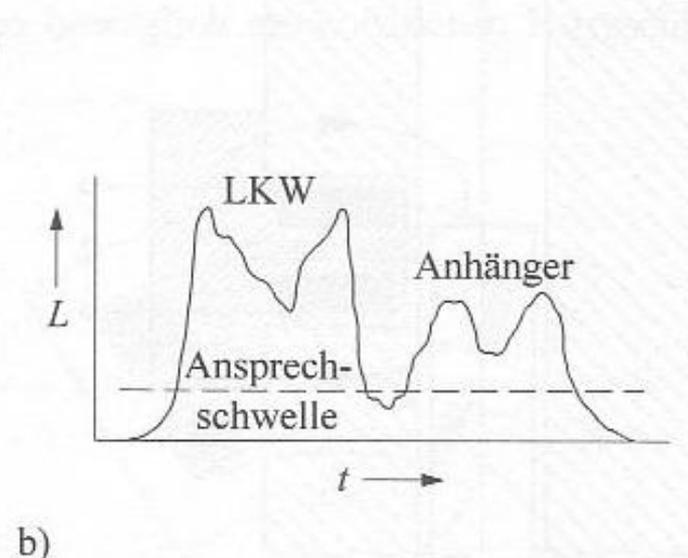


Kennlinie des Aufnehmers

Schleifen-Induktionsdetektor für Fahrzeuge



a) Prinzip



b) Schleifeninduktivität als Funktion der Zeit

Kapazitive Aufnehmer

Kapazität eines Plattenkondensators

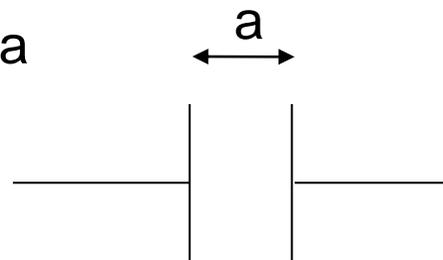
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{a} A$$

ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : rel. Permittivität (materialabhängig)
A: Plattenfläche
a: Plattenabstand

Beispiele:

1. Änderung des Plattenabstands um Δa

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{a_0} A \quad C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{a_0 + \Delta a} A$$



in Viertelbrücke:

$$X_2 = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-(a_0 + \Delta a)}{\omega(\epsilon_0 \epsilon_r A)} ; X_1 = \frac{-(a_0)}{\omega(\epsilon_0 \epsilon_r A)}$$

$$\underline{U}_B = \frac{U_0}{2} \frac{\Delta a}{2a_0 + \Delta a} \approx \frac{U_0}{4a_0} \Delta a$$

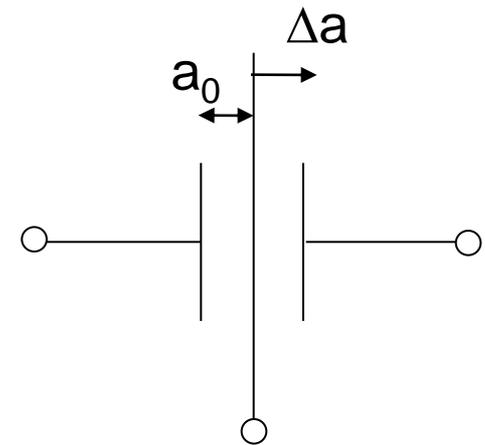
Kapazitive Aufnehmer

2. Differenzplattenkondensator

$$X_2 = \frac{-1}{\omega C_2} = \frac{-(a_0 + \Delta a)}{\omega(\epsilon_0 \epsilon_r A)} \quad X_1 = \frac{-1}{\omega C_1} = \frac{-(a_0 - \Delta a)}{\omega(\epsilon_0 \epsilon_r A)}$$

Einbau in Halbbrücke (diagonaler Zweig):

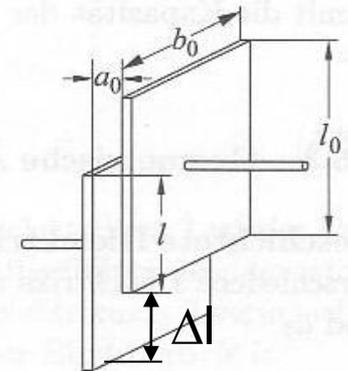
$$\underline{U}_B = \frac{\underline{U}_0}{2a_0} \Delta a$$



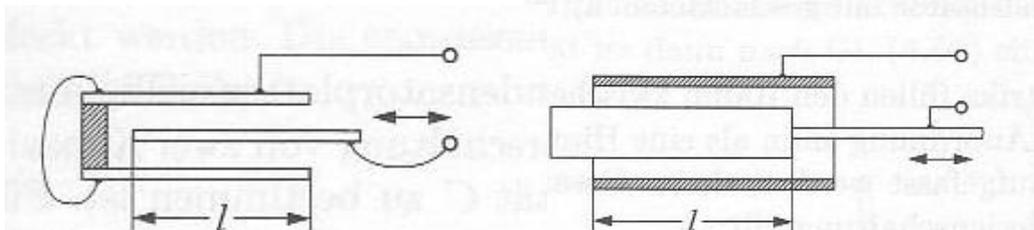
Kapazitive Aufnehmer

3. Änderung der Plattenfläche (in Luft, $\epsilon_r=1$)

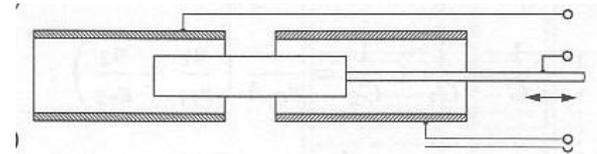
$$C_0 = \frac{\epsilon_0 b_0 l_0}{a_0} \quad C = \frac{\epsilon_0 b_0 l}{a_0} = C_0 \frac{l_0 - \Delta l}{l_0}$$



Wichtig: Plattenabstand muss konstant sein, oder Änderungen müssen kompensiert werden → Kondensatoren mit beweglicher Mittelplatte

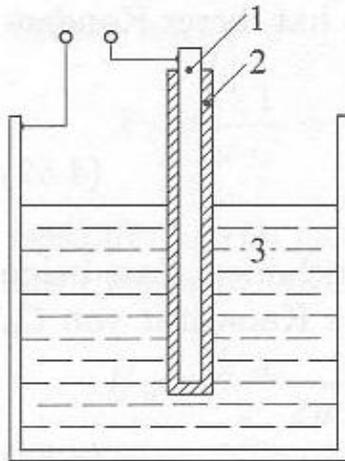


Differentialaufnehmer:



Kapazitive Aufnehmer

Füllstandsmessung bei elektrisch leitenden Flüssigkeiten



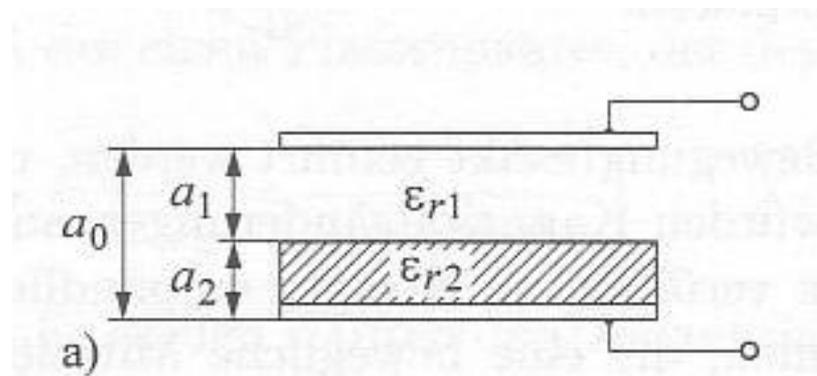
- 1: Innenelektrode des Kondensators
- 2: Isolation (Dielektrikum)
3. Flüssigkeit (als Außenelektrode des Kondensators)

Kapazitive Aufnehmer

4. Geometrische Änderung des Dielektrikums Schichtdickenmessung (z.B. Folienherstellung)

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{\epsilon_0 A} \left(\frac{a_1}{\epsilon_{r,1}} + \frac{a_2}{\epsilon_{r,2}} \right)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{a_1}{\epsilon_{r,1}} + \frac{a_2}{\epsilon_{r,2}}}$$



Kapazitive Aufnehmer

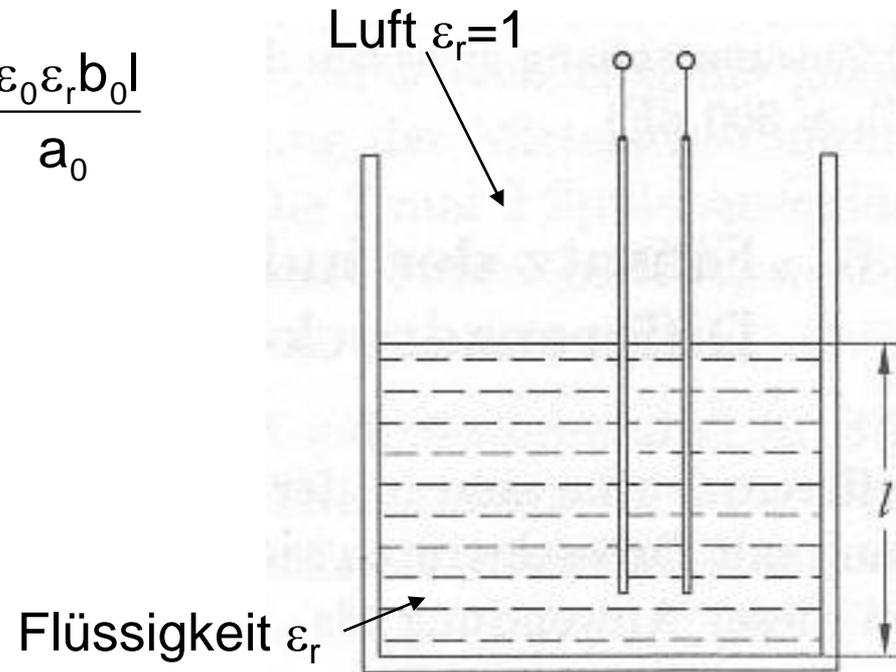
4. Geometrische Änderung des Dielektrikums

Füllstandsmessung bei elektrisch nicht leitenden Flüssigkeiten

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\varepsilon_0 b_0 (l_0 - l)}{a_0} + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r b_0 l}{a_0}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 b_0}{a_0} [(l_0 - l) + \varepsilon_r l]$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{l - l_0}{l_0} + \frac{\varepsilon_r l}{l_0} - 1 = \frac{\varepsilon_r - 1}{l_0} l$$



Kapazitiver Aufnehmer

5. Änderung der rel. Permittivität des Dielektrikums (ϵ_r)

(z.B. Feuchtemessung)

Beispiel 1. Luftfeuchtemessung

Beispiel 2. Getreidefeuchtemessung

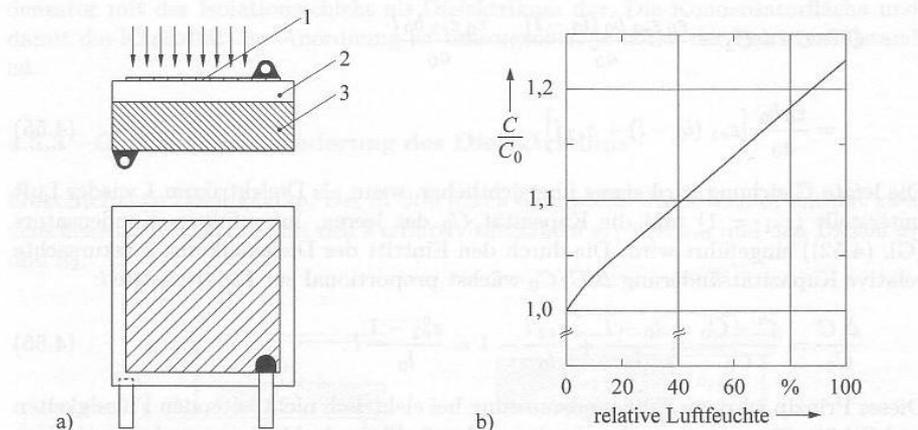


Bild 4.29: Kapazitive Messung der relativen Luftfeuchte

a) Aufbau des Fühlerelements mit wasserdurchlässiger Gold-Elektrode 1, feuchttempfindlichem Dielektrikum 2, Grundelektrode 3

b) Zusammenhang zwischen der Kapazität des Fühlerelements und der relativen Luftfeuchte ($C_0 \approx 300$ pF)



Vergleich induktive vs. kapazitive Aufnehmer

Vorteil beider gegenüber ohmschen Positionssensoren:
verschleißfrei, da berührungslose Aufnehmer

Messbrücken mit induktiven Aufnehmern können im Vergleich zu kapazitiven Aufnehmern größere Leistungen entnommen werden → größere Signale, weniger Abhängig von Einstreuungen und Rauschen

induktive Aufnehmer sind sehr temperaturabhängig (T-Abhängigkeit von Spulen-R)

induktive Aufnehmer zeigen schlechte Linearität

kapazitive Aufnehmer sind einfacher und genauer herzustellen.

Lernziele Kapitel 14

- Messkette
- Grundlegender Überblick über die (elektrische) Sensorik
- Spannungs- und Stromliefernde Aufnehmer
- Ohmsche, kapazitive, induktive Aufnehmer
- Ohmsche und nichtlineare Aufnehmer für Licht
- Einbau der Widerstandsaufnehmer in Messbrücken
 - Anwendung der Messbrückenschaltungen
 -

Vertiefungen in den Kursen:

- Sensorik (Bachelor 5. Semester)
- Optische und Optoelektronische Sensorik (Master)