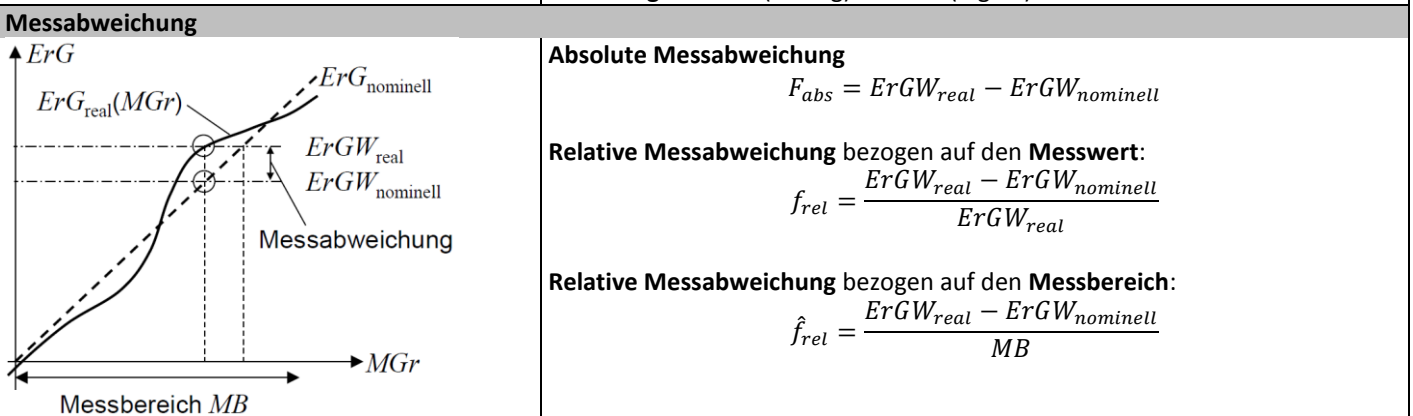
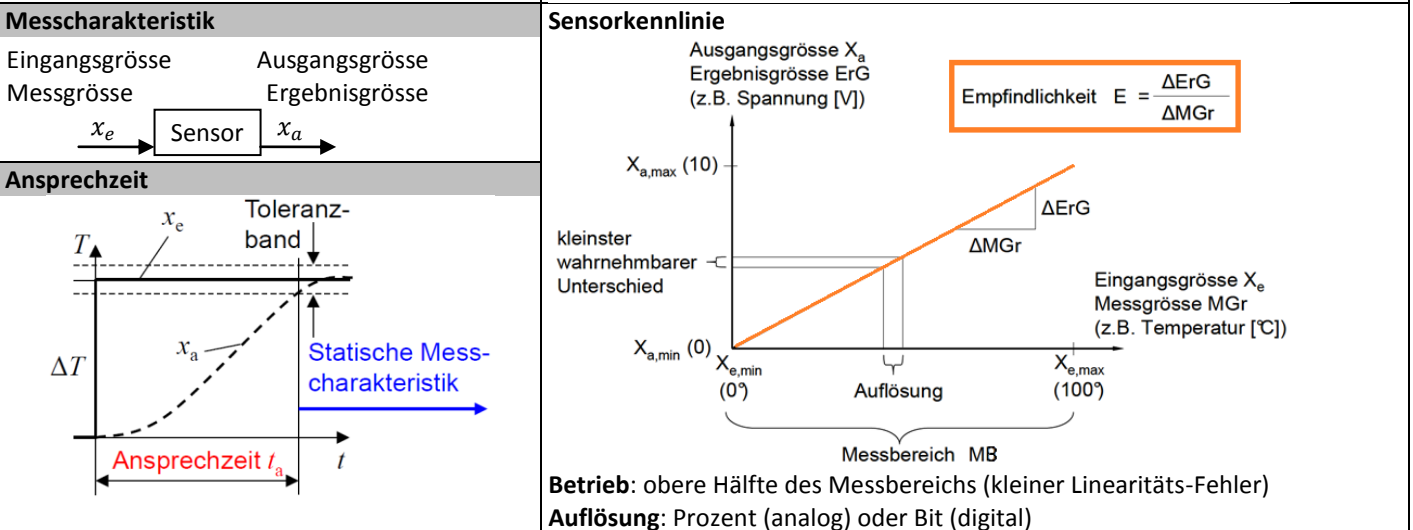
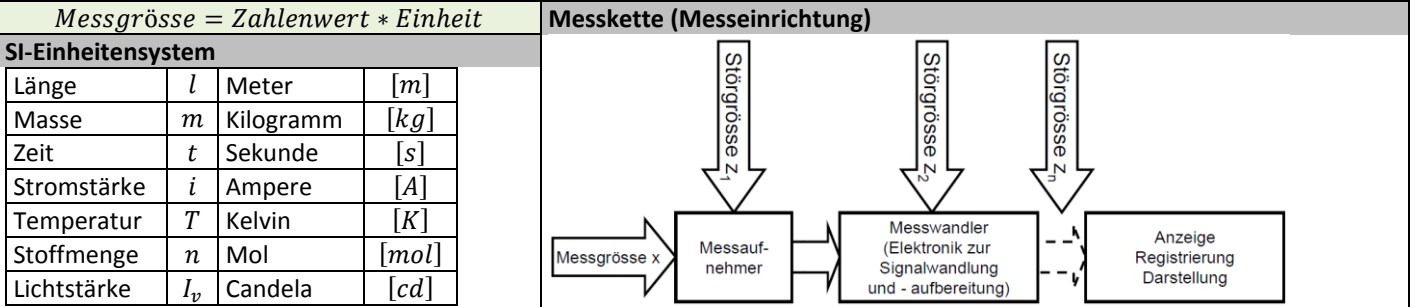


SYS_A - MESSEN

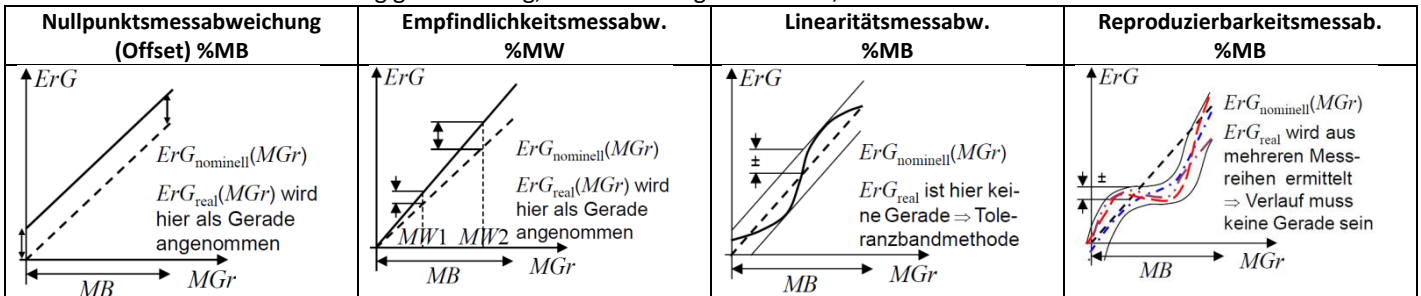
Grundlagen der Messtechnik

Galilei (1564-1642) legte den Grundstein der Messtechnik

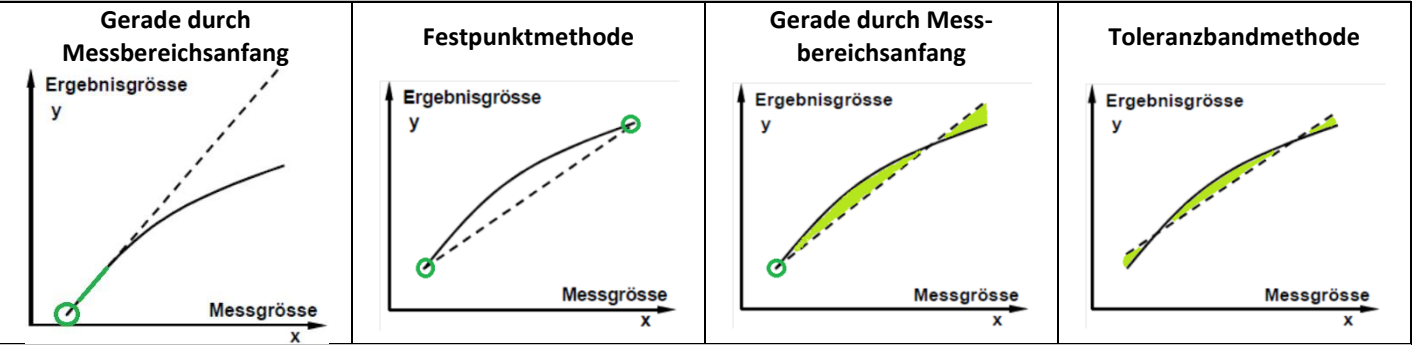


Systematische Messabweichungen

Verhält sich eine Messabweichung gesetzmässig, kann sie korrigiert werden, sofern sie bekannt ist.

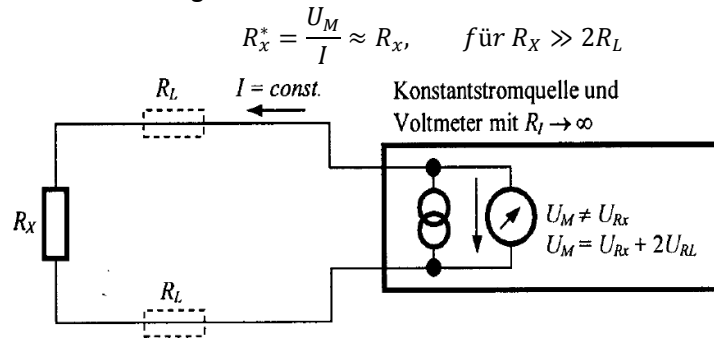


Linearisierung



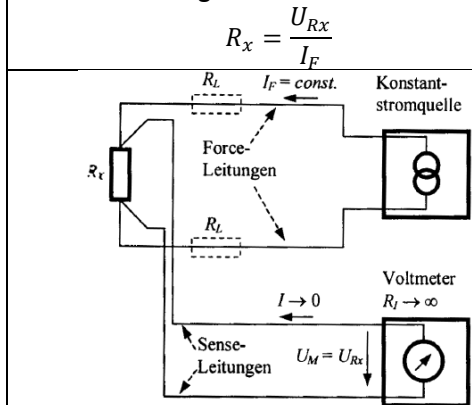
Elektrische Messverfahren

2- Leiterschaltung

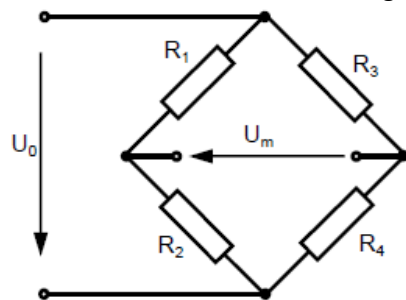


Nachteil von 2- Leiterschaltung gegenüber 4-er:
Abweichung des Messwertes durch Leitungswiderstand R_L

4- Leiterschaltung



Wheatstonesche Brückenschaltung



Prinzip
Differenzmessung

Vorteil
geringerer Fehler

Nachteil
mehr Sensorelemente

δ für DMS: $\epsilon \cdot k$

Brückenspannung mit Spannungsquelle

$$U_m = U_0 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

Brückenspannung mit Stromquelle

$$U_m = I_0 \left(\frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \right)$$

δ : relative Widerstandsänderung

	Viertelbrücke	Quasihalbbrücke	Halbbrücke	Vollbrücke
Speisung mit Spannungsquelle	$\frac{U_m}{U_0} = \frac{\delta}{4 + 2\delta}$	$\frac{U_m}{U_0} = \frac{\delta}{2 + \delta}$	$\frac{U_m}{U_0} = \frac{\delta}{2}$	$\frac{U_m}{U_0} = \delta$
Speisung mit Stromquelle	$\frac{U_m}{I_0 \cdot R} = \frac{\delta}{4 + \delta}$	$\frac{U_m}{I_0 \cdot R} = \frac{\delta}{2}$	$\frac{U_m}{I_0 \cdot R} = \frac{\delta}{2}$	$\frac{U_m}{I_0 \cdot R} = \delta$
Empfindlichkeit	1/4	1/2	1/2	1
Linearitätsfehler	Mit Stromquelle lin. Fehler gering	Mit Stromquelle kein lin. Fehler	Kein lin. Fehler	Kein lin. Fehler

Temperatur-Sensoren

PT100

Prinzip Bei Temperaturänderung wird der Spannungsabfall über dem Widerstand gemessen.	Temperatur ϑ → Temperaturabhängigkeit elektr. Widerstände → El. Widerstand $R(\vartheta)$
Vorteile Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, korrosionsbeständig, langzeitstabil, geringer Linearitätsfehler Nachteile Für kleine Temperaturbereiche zu teuer, teure Messelektronik Anwendung genaue Temperaturmessungen	R_{ϑ}, R_0 Widerstandswerte $[R] = \Omega$
	ϑ Temperatur $[\vartheta] = ^\circ C$
	α Temp.-Koeffizient $[\alpha] = 0.00385/^{\circ}C$
$R_{\vartheta} = R_0(1 + \vartheta\alpha)$	

Thermoelement

Prinzip Zwischen unterschiedlich warmen Enden des Drahtes kommt es zur Ladungstrennung.	Temperaturdifferenz $\vartheta_M - \vartheta_V$ → Seebeck-Effekt → Spannung U							
Vorteile Grosser Messbereich, gute Linearität, Robustheit, langzeitstabil, geringe Kosten Nachteile Kleine Messspannung, die gestört werden kann, Vergleichsstellen-Thermostat erforderlich Anwendung Temperaturmessungen über grosse Bereiche	$U_{1VM} = K_1 * (\vartheta_M - \vartheta_V)$ $U_{2VM} = K_2 * (\vartheta_V - \vartheta_M)$ $U_{th} = K * (\vartheta_M - \vartheta_V)$							
	<table border="1"> <tr> <td>K_1, K_2</td> <td>Seebeck-Koeffizienten</td> <td rowspan="2">$[K] = \left[\frac{V}{^{\circ}C} \right]$</td> </tr> <tr> <td>$K = K_1 - K_2$</td> <td>different. Thermospannung</td> </tr> <tr> <td>ϑ_M, ϑ_V</td> <td>Temperaturen</td> <td>$[\vartheta] = ^\circ C$</td> </tr> </table>	K_1, K_2	Seebeck-Koeffizienten	$[K] = \left[\frac{V}{^{\circ}C} \right]$	$K = K_1 - K_2$	different. Thermospannung	ϑ_M, ϑ_V	Temperaturen
K_1, K_2	Seebeck-Koeffizienten	$[K] = \left[\frac{V}{^{\circ}C} \right]$						
$K = K_1 - K_2$	different. Thermospannung							
ϑ_M, ϑ_V	Temperaturen	$[\vartheta] = ^\circ C$						
Tripelpunkt als definierte Vergleichsstelle 1. Verlängerung mit Kupferleitungen 2. Verlängerung mit Ausgleichsleitungen								

Magnetfeld-Sensoren

Wirbelstromsensor – Induktiver Näherungssensor

Prinzip metallische, elektr. leitfähige Materialien erzeugen ein elektr. Wirbelfeld, in einem von Wechselstrom erzeugten Magnetfeld.	Distanz x → Wirbelstromverluste → Impedanz (x)												
Vorteile berührungslos, verschleissfrei, robust, korrosionsbeständig, hohe Schutzklasse, einfach, kostengünstig Nachteile kleiner Schaltabstand (vom Material abhängig), leitfähiges Material, geringe Genauigkeit Anwendung Positionserkennung	<table border="1"> <tr> <td>Induktionsgesetz $U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$</td> <td>$U_{ind}$</td> <td>Induzierte Spannung</td> </tr> <tr> <td>Eindringtiefe des Magnetfeldes $\delta = (\sigma * f * \mu * \pi)^{-\frac{1}{2}}$</td> <td>$\phi$</td> <td>Magnetischer Fluss</td> </tr> <tr> <td></td> <td>σ</td> <td>elektr. Leitfähigkeit</td> </tr> <tr> <td></td> <td>μ</td> <td>Permeabilität</td> </tr> </table>	Induktionsgesetz $U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$	U_{ind}	Induzierte Spannung	Eindringtiefe des Magnetfeldes $\delta = (\sigma * f * \mu * \pi)^{-\frac{1}{2}}$	ϕ	Magnetischer Fluss		σ	elektr. Leitfähigkeit		μ	Permeabilität
	Induktionsgesetz $U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$	U_{ind}	Induzierte Spannung										
	Eindringtiefe des Magnetfeldes $\delta = (\sigma * f * \mu * \pi)^{-\frac{1}{2}}$	ϕ	Magnetischer Fluss										
	σ	elektr. Leitfähigkeit											
	μ	Permeabilität											

Magnetoresistiver Sensor

Prinzip In einem magnetoresistiven Streifens führt ein magn. Feld zu einer Widerstandabnahme.	Magnetfeld B → AMR: „Anisotropic Magnetoresistive Effect“ → Widerstand R									
Vorteile grosser Anwendungsbereich, hohe Magnetfeldempfindlichkeit, geringe Kosten Nachteile Nichtlinearität, Empfindlichkeit ändert sich mit der Temperatur Anwendung Positionsbestimmung und -kontrolle	<table border="1"> <tr> <td>Magnetoresistiver Effekt $\Delta R = \Delta R_{max} \sin^2 \theta$</td> <td colspan="2">mit $\Delta R_{max} = R_{\theta=0^\circ} - R_{\theta=90^\circ}$</td> </tr> <tr> <td>$\Delta R, \Delta R_{max}$</td> <td>Widerstandswerte</td> <td>$[R] = \Omega$</td> </tr> <tr> <td>θ</td> <td>Winkel</td> <td></td> </tr> </table>	Magnetoresistiver Effekt $\Delta R = \Delta R_{max} \sin^2 \theta$	mit $\Delta R_{max} = R_{\theta=0^\circ} - R_{\theta=90^\circ}$		$\Delta R, \Delta R_{max}$	Widerstandswerte	$[R] = \Omega$	θ	Winkel	
	Magnetoresistiver Effekt $\Delta R = \Delta R_{max} \sin^2 \theta$	mit $\Delta R_{max} = R_{\theta=0^\circ} - R_{\theta=90^\circ}$								
	$\Delta R, \Delta R_{max}$	Widerstandswerte	$[R] = \Omega$							
θ	Winkel									

Übersicht

PT 100	Thermoelement	Wirbelstromsensor	Magnetoresistiver Sensor
 Platinfolie			

Kapazitive Sensoren

	Kapazität eines Plattenkondensators $C(d) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$	ϵ_r	Dielektrizitätszahl
		A	Plattenoberfläche
		d	Plattenabstand

Kapazitiver Beschleunigungssensor

	Grundgesetz	$\sum \vec{F} = m * \vec{a}$	$C(d) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$
	Prinzip	Eine Feder gibt über die Auslenkung die Beschleunigung bekannt.	
	Kräftegleichgewicht	$F_G - F_d - F_k = m * a_{abs}$ $m * g - d * \dot{x} - k * x = m * (\ddot{x} - \ddot{z})$	
	Vorteile	hohe Empfindlichkeit → sehr genaue Messung, gute Temperaturstabilität, grosser Temperaturbereich, unempfindlich gegen äussere Felder, linearer Zusammenhang, hohe Überlastfestigkeit	
	Nachteile	teuer	

Kapazitiver Füllstandssensor

	Grundgesetz	$\epsilon_0(Vakuum) = 8.8542 * 10^{-12} \frac{As}{Vm}$	$C(d) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$
	Prinzip	Die relative Dielektrizitätskonstante ist ein Mass für den Füllstand	
	El. Schaltung	Wechselstrombrückenschaltung ($f = 20kHz - 2MHz$)	
	Vorteile	kostengünstig, einfache Installation, mechanische Robustheit, kein Verschleiss, wartungsfrei, lange Lebensdauer	
	Nachteile	mangelnde Genauigkeit, Hysteresefehler, sehr kleinen Kapazitäten	

Messung von Dehnung, Kraft und Beschleunigung

DMS-Dehnungsmessstreifen

	Elektrische Widerstand des ungedehnten Drahtes												
	$R_0 = \frac{\rho_0 l_0}{\pi * r_0^2}$	<table border="1"> <tr><td>R_0</td><td>Grundwiderstand</td></tr> <tr><td>ρ_0</td><td>spezifischer Widerstand</td></tr> <tr><td>k</td><td>Empfindlichkeit des R auf ε</td></tr> <tr><td>π_p</td><td>piezoresistiver Koeffizient</td></tr> <tr><td>E</td><td>Elastizitätsmodul</td></tr> <tr><td>ν</td><td>Querkontraktionszahl</td></tr> </table>	R_0	Grundwiderstand	ρ_0	spezifischer Widerstand	k	Empfindlichkeit des R auf ε	π_p	piezoresistiver Koeffizient	E	Elastizitätsmodul	ν
R_0	Grundwiderstand												
ρ_0	spezifischer Widerstand												
k	Empfindlichkeit des R auf ε												
π_p	piezoresistiver Koeffizient												
E	Elastizitätsmodul												
ν	Querkontraktionszahl												
	Grundgesetz	$R = R_0 + \Delta R$ $R = R_0 * (1 + k * \epsilon)$ $k = \pi_p E + 2\nu + 1$											
	Prinzip	Der elektrische Widerstand verändert sich bei Deformation											
	Typen	<table border="1"> <tr> <td>Metall-DMS ($k \approx 2$)</td> <td>Halbleiter-DMS ($k \approx 200$)</td> </tr> <tr> <td>reagiert weniger auf ε temperaturempfindlicher</td> <td>k grösser und hängt von der Orientierung des Halbleiter-Einkristalls und der Dotierung ab</td> </tr> </table>	Metall-DMS ($k \approx 2$)	Halbleiter-DMS ($k \approx 200$)	reagiert weniger auf ε temperaturempfindlicher	k grösser und hängt von der Orientierung des Halbleiter-Einkristalls und der Dotierung ab							
	Metall-DMS ($k \approx 2$)	Halbleiter-DMS ($k \approx 200$)											
	reagiert weniger auf ε temperaturempfindlicher	k grösser und hängt von der Orientierung des Halbleiter-Einkristalls und der Dotierung ab											
Vorteile	enorme Auswahl, kostengünstig, kleine Abmessungen												
Nachteile	zeitintensives Aufbringen, beschränkte Lebensdauer, Empfindlich auf mechanische Beanspruchung												

Piezoelektrischer Sensor – Ladungstransfer

	Grundgesetz	Erzeugte Ladung	<table border="1"> <tr><td>d_{kl}</td><td>piezoelektrische Koeffizient $[\frac{pC}{N}]$</td></tr> <tr><td>k</td><td>Polarisationsrichtung</td></tr> <tr><td>l</td><td>Longitudinalverschiebung</td></tr> </table>	d_{kl}	piezoelektrische Koeffizient $[\frac{pC}{N}]$	k	Polarisationsrichtung	l	Longitudinalverschiebung
		d_{kl}	piezoelektrische Koeffizient $[\frac{pC}{N}]$						
k	Polarisationsrichtung								
l	Longitudinalverschiebung								
$Q_k = \sum_l d_{kl} * F_l$									
	Prinzip	Die Deformation eines Kristalls führt zu einer Verschiebung der Ladungsschwerpunkte der Kristallatome gegeneinander.							
	El. Schaltung	$c_L = C \text{ der Zuleitungen}$ $c_0 = C \text{ des Quarzes}$	$U(t) = U_0 * e^{-\frac{t}{R_L * (C_0 + C_L)}}$						
	Vorteile	Robuster Aufbau, Langzeitstabilität, grosser Temperaturbereich							
	Nachteile	Schaltungsaufwand, Zuleitungen, keine statischen Messungen							

Lichtoptische Sensoren

Fotodiode

<p>Licht (Photonen) elektr. Strom</p> <p>→ Energieerhöhung von Elektronen →</p>	<p>Sehr kleine Ströme -> müssen verstärkt werden Betrieb in Sperrrichtung -> Fotostrom proportional zur Bestrahlungsstärke z.B. Fernbedienungen</p>		
	<p>Grundgesetz</p> $E_{Ph} = h * f = \frac{h * c}{\lambda}$ $E_{Ph} \geq E_G$	E_{Ph} Photonenergie	h Planck'sche Konstante
		f Lichtfrequenz des Photons	λ Wellenlänge
<p>Prinzip</p>	Bei Bestrahlung eines Halbleitermaterials mit Licht können Photonen aus dem Valenzband ins Leitungsband anheben.		
<p>Typen</p>	<p>Lichtschranke</p> Lichtstrahlbündel trifft auf eine Fotodiode, bis 150m Sichtkontakt nötig	<p>Charge Coupled Device (CCD)</p> Bildverarbeitungstechnik Array aus CCD, für Kamera	

Laserdistanzmessung (LTS)

<p>Distanz Auslenkung x</p> <p>→ Strahlengang ähnliche Dreiecke →</p>	<p>Der Abstand eines Punktes kann gemessen werden Oberflächen benötigen für diffuse Rückstreuung eine minimale Rauigkeit und gutes Reflexionsvermögen,</p>		
	<p>Prinzip</p>	Mittels Triangulation auf dem Vergleich von ähnlichen Dreiecken	
	<p>Bauteile</p>	<p>Sender</p> Halbleiterlaserdioden	<p>Empfänger</p> CCD Detektoren
	<p>Vorteile</p>	berührungslos, verschleissfest, hohe Messraten, weiter Messbereich	
	<p>Nachteile</p>	teuer, oberflächenabhängig, winkelabhängig, Abschattung (keine Hindernisse zum Empfänger)	
	<p>Anwendung</p>	Einsatz in Produktionsanlagen zum Messen und Prüfen (Masstoleranzen, Sortieren, Durchbiegung, Vibration, ...	

Messtärker und Wandler

Operationsverstärker (Verstärker gleichen Referenzpotentials)

	$R_x = F(t)$	Sensorwiderstand
	$U_x = R_x * I_0$	Spannung am Sensorwiderstand
	$U_a = k * U_x$	Ausgangsspannung
	k	Verstärkungsfaktor (hängt nur von äusseren Beschaltung ab)
	ADU	Analog-Digital-Umsetzer
	OP	Operationsverstärker (keine galvanische Trennung)

Ideale Operationsverstärkerschaltungen

	$U_D = U_+ - U_- \approx 0$	Differenzspannung
	$A_D = \Delta U_a / \Delta U_d \rightarrow \infty$	Differenzverstärkungsfaktor
	$I_+, I_- \approx 0$	Eingangsströme
	$R_+, R_- \approx \infty$	Eingangswiderstände

Invertierender Verstärker

	$U_+, U_- = 0V$ $I_{R1} = \frac{U_e}{R_1}$ $I_{R2} = -I_{R1}$
	$U_a = -U_e * \frac{R_2}{R_1}$

Nicht invertierender Verstärker

	$U_+ = U_- = U_e$ $I_{R1} = \frac{U_e}{R_1}$ $I_{R2} = I_{R1}$
	$U_a = U_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Summation von Teilspannungen	Integration der Eingangsspannung	Transimpedanzverstärker
		(Strommessung) $(I - U - \text{Wandler})$ Licht
$I_{e1} = U_{e1} / R_{e1}$ $I_{e2} = U_{e2} / R_{e2}$ $I_{Ra} + I_{e1} + I_{e2} = 0$	$U_+, U_- = 0V$ $i_c = C * \frac{dU_c}{dt}$ $U_c(t) = U_a(t)$	Strom fließt in Sperrichtung Diode ist kurzgeschlossen $U_e = U_+ = U_- = 0V$ $I_{Ra} = I_e \propto \text{Lichtstärke}$
$U_a = -\frac{R_a}{R_{e1}} U_{e1} - \frac{R_a}{R_{e2}} U_{e2}$	$U_a(t) = U_c(0) - \frac{1}{R_e C} \int_0^t U_e(t) dt$	$U_a(t) = R_a * I_e(t)$

Abweichungen des realen OP vom idealen Verhalten

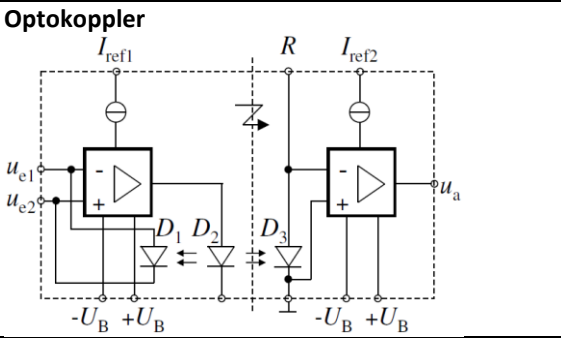
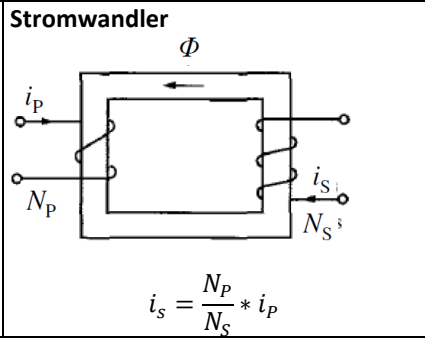
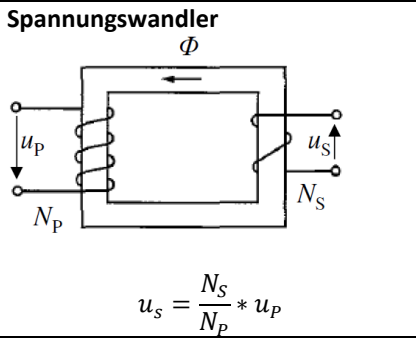
		Gründe $A_D \neq \infty$ A_D nimmt mit steigender Frequenz ab Bei Transitfrequenz $f_T \rightarrow A_D = 1$ Offsetspannung die temperaturabhängig ist.
--	--	---

Instrumentenverstärker (Verstärker mit Potentialtrennung)

<p>Brückenschaltung</p> <p>mit Gleichspannung gespeisen</p>	<p>Differenzverstärker bzw. Subtrahierverstärker</p>
<p>Gleichtaktspannung</p> $U_c = \frac{U_1 + U_2}{2}$ <p>Gleichtaktverstärkung</p> $A_c = \frac{U_a}{U_c}$	<p>CMRR - Gleichaktunterdrückung (Common Mode Rejection Ratio)</p> $G = \frac{A_D}{A_c}$
	$U_a = -U_1 \frac{R_3}{R_1} + U_2 \frac{R_4}{R_2 + R_4} \frac{R_1 + R_3}{R_1}$ <p>G möglichst gross: $R_1 = R_2, R_3 = R_4$</p> $U_a = (U_2 - U_1) * \frac{R_3}{R_1}$

Wandler, Transformator (Verstärker mit Potentialtrennung)

	<p>Problem</p> <p>Durch Anschluss der Sensorik an die Messelektronik darf kein Potential (z.B. Masse) eingeprägt (aufgezwungen) werden.</p> <p>Lösung</p> <p>Wandler (Übertrager) zur Potentialtrennung verwenden</p>
--	---



Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Störungen bei Signalverstärkern

