

Inhaltsverzeichnis:

Thema	Bereiche	Seite
Brückenschaltung	Prinzip	4-2
	Viertelbrücke	4-2
	Halbbrücke	4-2
	Vollbrücke	4-2
	Übersicht Ausschlagmessbrücken	4-3
Messen nichtelektrischer Größen	Prinzip	4-4
	aktive Messwertaufnehmer	4-4
	passive Messwertaufnehmer	4-4
Dehnungsmeßstreifen	Aufbau und Anordnung	4-5
	Prinzip	4-5
	Messwerterfassung in Brückenschaltung	4-5
	Werkstoffe für Dehnungsmeßstreifen	4-6
	Kenngroßen von Dehnungsmeßstreifen	4-6
	Querrichtungsausdehnung (Poison-Zahl)	4-7
	Mechanische Spannung	4-7
	Temperatureinflüsse bei DMS (scheinbare Dehnung)	4-8
	Temperaturkompensation	4-8
Analoge Weg- und Winkelmessung	Einsatzgebiete	4-8
	Ausführungsformen	4-8
Ohmsche Weg- und Winkelmesser	Schleifdraht- oder Leitplastikpoti	4-9
	Schaltung	4-9
	Berechnung	4-9
	Kenngroßen	4-10
	Absoluter Gesamtfehler	4-10
Induktive Weg- und Winkelmesser	Aufbau und Prinzip	4-11
	Kennlinie	4-11
	Signalauswertung in der Messbrücke	4-11
	Querankeraufnehmer	4-12
	Ankermaterialien	4-12
	Differential-Tauchanker-Spule	4-12
	Trägerfrequenz-Messverstärker	4-13
Kapazitiver Weg- und Winkelmesser	Kennwerte	4-13
	Prinzip	4-14
	Änderung des Plattenabstandes	4-14
	relative Kapazitätsänderung	4-14
	absolute Kapazitätsänderung	4-14
	Signalauswertung in der Messbrücke	4-15
	Differentialkondensator	4-15
	Änderung der Plattenfläche	4-15
	Füllstandhöhenmessung leitender Flüssigkeiten	4-16
	Dickenänderung des Dielektrikums	4-16
	Höhenänderung des Dielektrikums	4-17
Füllstandhöhenmessung nichtleitender Flüssigkeiten	4-17	

Brückenschaltung:

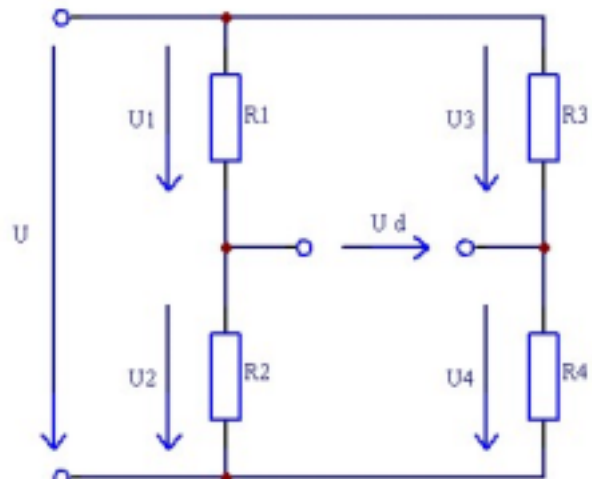
$$U_d = U \cdot \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

Die Brücke ist abgeglichen d.h. $U_d = 0V$,

$$\text{wenn } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ oder } \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

Als Voraussetzung für die größtmögliche Änderung der Brückenspannung U_d bei Änderung des Widerstandsverhältnisses muß gelten:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \text{ mit } R = \text{Grundwiderstand in } \Omega$$

**Viertelbrücke:**

R2 oder R3 positiv veränderlich:

$$R_2 = R + \Delta R \text{ oder } R_3 = R + \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx +\frac{1}{4} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

R1 oder R4 positiv veränderlich:

$$R_1 = R + \Delta R \text{ oder } R_4 = R + \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx -\frac{1}{4} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

R2 oder R3 negativ veränderlich:

$$R_2 = R - \Delta R \text{ oder } R_3 = R - \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx -\frac{1}{4} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

R1 oder R4 negativ veränderlich:

$$R_1 = R - \Delta R \text{ oder } R_4 = R - \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx +\frac{1}{4} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Halbbrücke:

R2 und R3 positiv veränderlich:

$$R_2 = R + \Delta R \text{ und } R_3 = R + \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx +\frac{1}{2} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

R2 positiv und R4 negativ veränderlich:

$$R_2 = R + \Delta R \text{ und } R_4 = R - \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx +\frac{1}{2} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

R2 positiv und R3 negativ veränderlich:

$$R_2 = R + \Delta R \text{ und } R_3 = R - \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx -\frac{1}{4} \cdot U \cdot \left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2$$

R1 negativ und R2 positiv veränderlich:

$$R_1 = R - \Delta R \text{ und } R_2 = R + \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d \approx +\frac{1}{2} \cdot U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Vollbrücke:

R2 und R3 positiv, **R1 und R4** negativ veränderlich:

$$R_2 = R + \Delta R, R_3 = R + \Delta R, R_1 = R - \Delta R, R_4 = R - \Delta R$$

$$\Rightarrow U_d = U \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Ausschlagmessbrücken

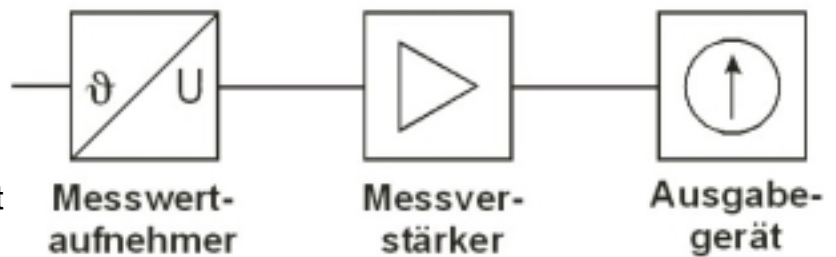
		U_o - gespeist	I_o - gespeist	
a		$U_d \approx + \frac{U_o}{4} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d \approx \frac{I_o}{4} \Delta R$	Viertel- brücke
b		$U_d \approx - \frac{U_o}{4} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d \approx - \frac{I_o}{4} \Delta R$	
c		$U_d \approx - \frac{U_o}{4} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d \approx - \frac{I_o}{4} \Delta R$	
d		$U_d \approx \frac{U_o}{2} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d = \frac{I_o}{2} \Delta R$	Halb- brücke
e		$U_d \approx \frac{U_o}{2} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d = \frac{I_o}{2} \Delta R$	
f		$U_d = \frac{U_o}{2} \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d = \frac{I_o}{2} \Delta R$	
g		$U_d \approx - \frac{U_o}{4} \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)^2$	$U_d = - \frac{I_o}{4} \frac{\Delta R}{R_o} \Delta R$	
h		$U_d = U_o \frac{\Delta R}{R_o}$	$U_d = I_o \Delta R$	Voll- brücke

Diagonalspannung U_d für verschiedene Brückenanordnungen:

Die nicht bezeichneten Widerstände haben den Wert R_o , die mit + gekennzeichneten den Wert $R_o + \Delta R$ und die mit -markierten den Wert $R_o - \Delta R$.

Messen nichtelektrischer Größen:**Prinzip:**

Beim Messen nichtelektrischer Größen wird die gemessene Größe auf ein elektrisches Signal abgebildet. Dies geschieht im Messwertempfänger.



Über einen geeigneten Messverstärker wird das elektrische Signal so verstärkt, das auf dem Ausgabegerät eine leicht abzulesende Messgröße erscheint.

aktive Messwertempfänger:

- Piezo-Element
- Photo-Element
- Thermoelement

aktive Messwertempfänger benötigen keine Hilfsenergie. Sie erzeugen bereits ein elektrisches Signal.

passive Messwertempfänger:

- R, L, C
- Dehnungsmeßstreifen
- temperaturabhängige Widerstände

passive Messwertempfänger benötigen eine zusätzliche Hilfsenergie, um den Messwert in ein elektrisches Signal umzuwandeln.

Dehnungsmeßstreifen:

Aufbau und Anordnung:

Metallische DMS bestehen entweder aus Widerstandsdrähten mit etwas 20 µm Durchmesser, oder aus etwa 4 µm dicken Metallfolien. Halbleiter-DMS sind P-Siliziumscheiben mit etwa 200 µm Dicke.

Die DMS sind zwischen Träger- und Abdeck-Kunststoffolie eingeschweißt und werden auf den Meßobjekten mit Spezialkleber fixiert.

Prinzip:

Ein Draht wird gedehnt. Dadurch verändert sich die Länge l, der Querschnitt A und die spezifische Leitfähigkeit

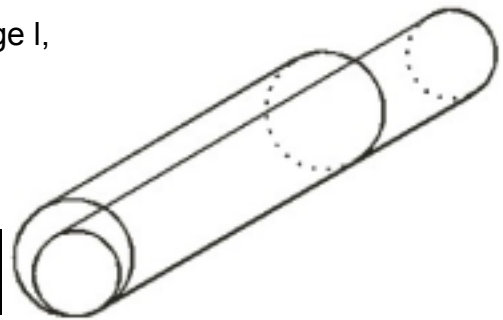
$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

$$\Delta R = \frac{R \cdot k \cdot \Delta l}{l}$$

$$\Delta l = \frac{\Delta R \cdot l}{R \cdot k}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R \cdot k}$$

$$k = \frac{\Delta R}{R \cdot \varepsilon}$$



ΔR = Widerstandsänderung in Ω

R = Grundwiderstand in Ω

$\frac{\Delta R}{R}$ = relative Widerstandsänderung (Ohne Einheit !!)

k = k-Faktor = materialspezifische Empfindlichkeit (Ohne Einheit !!)

ε = Dehnung = relative Längenänderung (Ohne Einheit !!)

Δl = Längenänderung in m

l = Grundlänge in m

Messwertverfassung in Brückenschaltung mit DMS:

Viertelbrücke:

R₂ oder R₃ veränderlich:

$$U_d = U \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon$$

R₁ oder R₄ veränderlich:

$$U_d = -U \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon$$

Halbbrücke:

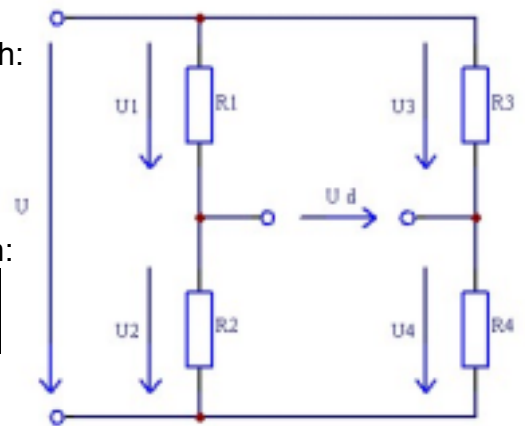
R₁ und R₄ veränderlich:

$$U_d = -U \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_4)$$

R₂ und R₃ veränderlich:

$$U_d = U \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot (\varepsilon_2 + \varepsilon_3)$$

Sind R₁ und R₂ oder R₂ und R₄ veränderlich, so heben sich unter Umständen die Änderungen auf !!



Vollbrücke:

Alle Widerstände veränderlich:

$$U_d = U \cdot \frac{1}{4} \cdot k \cdot (-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

U = Speisespannung der Brücke in V

U_d = Diagonalspannung in V

k = k-Faktor des Meßstreifen

ε = Dehnung oder Stauchung des Meßstreifens

Werkstoffe für Dehnungsmeßstreifen:**Metallische Werkstoffe:**Konstantan:

Legierung aus 60% Kupfer (Cu) und 40% Nickel (Ni)

Temperaturbeiwert $\alpha = -3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}$

k-Faktor $k = 2,1$

zulässige Dehnung: $\varepsilon_{\max} = 10 \frac{mm}{m}$

Temperaturbereich: $-75 \text{ °C} < T < 238 \text{ °C}$

Karma:

Legierung aus Nickel (Ni) und Chrom (Cr)

k-Faktor $k = 2,2$

Temperaturbereich: $T < 315 \text{ °C}$

Platin-Iridium bzw. Platin:

k-Faktor $k = 6$

Temperaturbereich: $T < 1000 \text{ °C}$

Halbleiter:Germanium, Silizium:

k-Faktor $k = 100 \dots 200$

stark temperaturabhängig (Eigenleitfähigkeit !!)

Betriebsströme:

Die Betriebsströme sind abhängig vom Trägermaterial

Papierträger: $I < 25 \text{ mA}$

Phenolträger: $I < 50 \text{ mA}$

Kunststoffträger: $I < 5 \dots 6 \text{ mA}$

Kenngrößen von DMS:

	Metall-DMS	Halbleiter-DMS
zulässige Dehnung ε bei relativem Linearitätsfehler $< 0,1\%$	4000 $\mu\text{m} / \text{m}$	
zulässige Dehnung ε bei relativem Linearitätsfehler $< 1\%$	10000 $\mu\text{m} / \text{m}$	1000 $\mu\text{m} / \text{m}$
Nennwiderstand	120 Ω , 350 Ω , 600 Ω	120 Ω
Zulässige Strombelastung	20 mA bei 350 Ω	10 mA
zulässiger Biegeradius	2 mm	3 mm

Querrichtungsausdehnung (Poisson-Zahl):

Wird ein Werkstück in Längsrichtung gedehnt oder gestaucht erfährt es, in Querrichtung zur anliegenden Kraft, eine Dehnung oder Stauchung.

$$\varepsilon_q = \frac{\Delta d}{d}$$

$$d = \frac{\Delta d}{\varepsilon_q}$$

$$\Delta d = \varepsilon_q \cdot d$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_q}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = -\frac{\varepsilon_q}{\mu}$$

$$\varepsilon_q = -\varepsilon \cdot \mu$$

ε_q = Querrichtungsdehnung (Ohne Einheit !!)

Δd = Querlängenänderung (Breitenänderung) in m

d = Querlänge (Breite) in m

μ = Poisson-Zahl (Ohne Einheit !!)

ε = Dehnung (Ohne Einheit !!)

Mechanische Spannung:

Greift an einem Werkstück eine Kraft an, so entsteht im Werkstück eine Spannung.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

$$F = A \cdot \sigma$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$M = F \cdot l$$

$$W_{\text{Quadrat}} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$b = \frac{W_{\text{Quadrat}} \cdot 6}{h^2}$$

$$h = \sqrt{\frac{W_{\text{Quadrat}} \cdot 6}{b}}$$

$$W_{\text{Zylinder}} = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{W_{\text{Quadrat}} \cdot 32}{\pi}}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{M}{\sigma}$$

$$M = \sigma \cdot W$$

σ = mechanische Spannung in $\frac{N}{mm^2}$

F = Kraft in N

A = Fläche in mm^2

ε = Dehnung (Ohne Einheit !!)

E = Elastizitätsmodul in $\frac{N}{mm^2}$; $E_{\text{Stahl}} = 21 \cdot 10^4 \frac{N}{mm^2}$; $E_{\text{Alu}} = 7 \cdot 10^4 \frac{N}{mm^2}$

M = Biegemoment in Nm

l = Länge des Hebels in m

W_{Quadrat} = Flächenträgheits(Widerstands-)moment eines quadratischen Werkstücks in mm^3

b = Breite in mm ; h = Höhe in mm

W_{Zylinder} = Flächenträgheits(Widerstands-)moment eines zylindrischen Werkstücks in mm^3

d = Durchmesser in mm

Temperatureinflüsse bei DMS (Scheinbare Dehnung:)

Temperatureinflüsse können bei der Anwendung von DMS zu großen Messfehlern führen. Mit der Temperatur können sich der spezifisch Widerstand des Widerstandsdrahtes, die Länge des Meßobjektes und die Länge des DMS ändern. Daraus ergibt sich die scheinbare Dehnung ε_s

$$\varepsilon_s = (\alpha_M - \alpha_{DMS} + \alpha_\rho) \cdot \Delta T$$

Als Gegenmaßnahme kann schaltungstechnisch eine Temperaturkompensation mit einem Kompensations-DMS durchgeführt werden, oder ein geeigneter DMS ausgewählt werden.

Für einen geeigneten DMS gilt:

$$\alpha_M = \alpha_{DMS} \quad \text{und} \quad \alpha_\rho \rightarrow 0$$

Wenn die Bedingungen erfüllt sind, spricht man von einem **selbstkompensierenden DMS**

ε_s = scheinbare Dehnung

α_M = Temperaturkoeffizient des Messobjektes

α_{DMS} = Temperaturkoeffizient des Dehnungsmeßstreifen

α_ρ = Temperaturkoeffizient des Messgitters

Temperaturkompensation bei DMS:

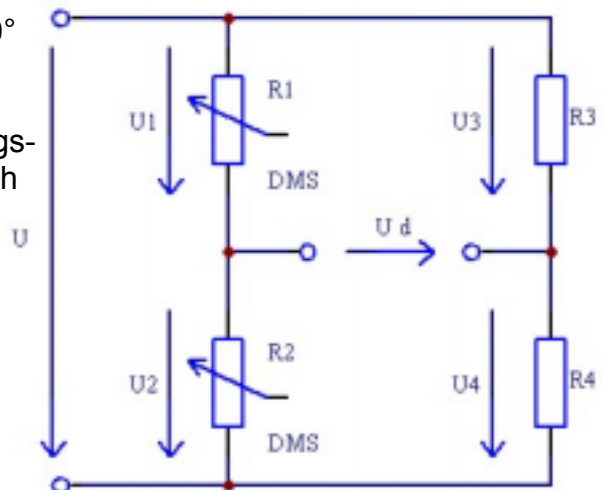
Ein Dehnungsmeßstreifen wird in Dehnungs- oder Stauchungsrichtung (R2) und ein DMS wird um 90° gedreht angebracht. (R1) Dadurch ändert sich bei beiden DMS durch die Temperatureinwirkung der Widerstand gleich. Nur beim DMS, der in Dehnungs- oder Stauchungsrichtung angebracht ist, wirkt noch zusätzlich eine Kraft. Werden nun beide DMS in eine Brückenschaltung geschaltet, so kann man durch geeignete Verschaltung eine Temperaturkompensation erreichen.

$$R_1 = R + \Delta R_T \quad R_2 = R + \Delta R_T + \Delta R_F$$

R = Grundwiderstand in Ω

ΔR_T = Widerstandsänderung durch Temperatur

ΔR_F = Widerstandsänderung durch Kraftwirkung

**Analoge Weg- und Winkelmessung:****Einsatzgebiete:**

Hochauflösende Positionsmessung z.B. bei automatischer Drehbank, Ablängmaschinen, Werkzeugmaschinen, Spritzgießmaschinen und in der Halbleiterherstellung.

Ausführungsformen:

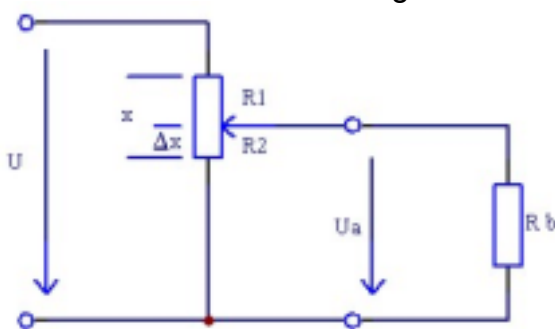
- ohmsche Aufnehmer
- induktive Aufnehmer
- kapazitive Aufnehmer

Ohmsche Weg- und Winkelaufnehmer:**Schleifdraht- oder Leitplastikpotentiometer:**

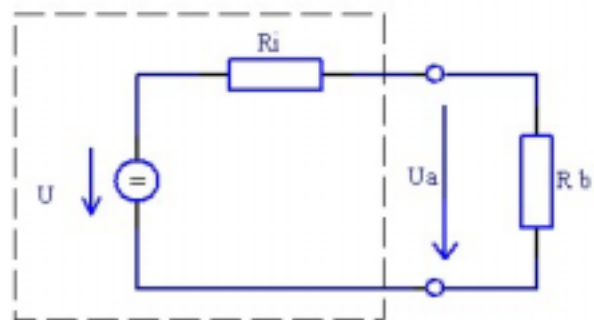
	Schleifdrahtpoti	Leitplastikpoti
Material	Als Material wird Silber-Paladium oder Silber-Gold verwendet. Bei Temperaturabhängigkeit wird auch Konstantan verwendet. Der Schleifer ist meist aus Gold um Korrosion zu verhindern.	Elektrisch leitender Kunststoff
Aufbau	Auf einem 2mm starken isolierten Trägerdraht befindet sich ein sehr dünner Widerstandsdraht.	Das Material wird in ein Glasfaserprofil eingezogen
Vorteil	geringe Korrosion, leicht ziehbar, geringer Temperaturkoeffizient	bessere Linearität, höhere Auslösung

Schaltung:

Grundschialtung



ESB im belasteten Fall



im idealen Fall ($R_b \rightarrow \infty$) gilt:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_g}$$

$$\frac{U_a}{U} = \frac{\Delta x}{x} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_g}$$

$$U_a = \frac{U \cdot \Delta x}{x} = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U \cdot R_2}{R_g}$$

im realen Fall gilt:

$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_g}$$

$$U_{ESB} = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{U_a}{U_{ESB}} = \frac{R_b}{R_i + R_b}$$

$$U_a = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_b}{R_i + R_b}$$

$$\Rightarrow U_a = U \cdot \frac{\Delta x}{x} \cdot \frac{R_b}{R_i + R_b}$$

Δx = Längenänderung in m

x = Gesamtlänge des Poti

U_a = Ausgangsspannung in V

U = Eingangsspannung in V

U_{ESB} = Ersatzspannung im ESB in V

R_1, R_2 = Teilwiderstände in Ω

R_g = Gesamtwiderstand in Ω

R_i = Innenwiderstand des ESB in Ω

R_b = Belastungswiderstand in Ω (Innenwiderstand des Messgerätes)

Kenngrößen von verschiedenen ohmschen Weg- oder Winkelaufnehmern:

	Stabpoti	Ringpoti	Ringrohpoti	Wendelpoti
Meßspanne	> 50 mm	≈ 350°	≈ 170°	10 bis 25 Umdrehungen
Reibungskraft bzw. Reibungsdrehmoment	0,03 N bis 0,3 N	0,3•10 ⁻³ Nm bis 3•10 ⁻³ Nm	≈ 0,3•10 ⁻³ Nm	1•10 ⁻³ Nm bis 10•10 ⁻³ Nm
Stufigkeit durch Drahtwindungen (=Auflösung)	5 bis 20 Windungen / mm	1 bis 10 Windungen / °	stufenlos	1 bis 5 Windungen / °

Absoluter Gesamtfehler eines ohmschen Weg- und Winkelmessers:

$$F_{abs,g} = F_{Lin} \pm F_{Stuf}$$

$$F_{Lin} = \frac{f_{Lin} \cdot Länge}{100\%}$$

$$f_{Lin} = \frac{F_{Lin}}{Länge} \cdot 100\%$$

$$F_{Stuf} = \frac{Länge}{Windungen}$$

$F_{abs,g}$ = absoluter Gesamtfehler

F_{Lin} = absoluter Linearitätsfehler f.S. (full Scale)

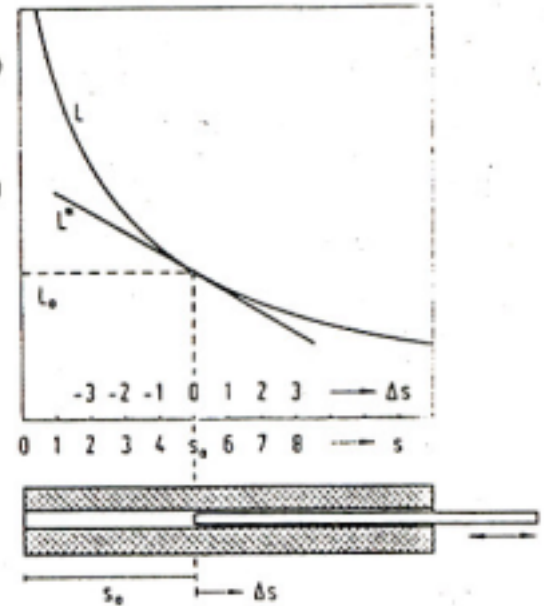
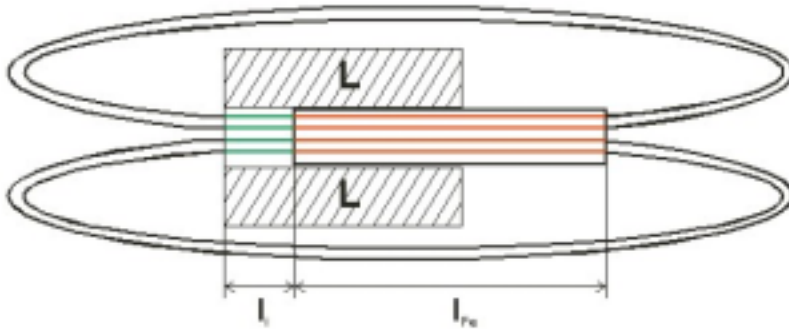
F_{Stuf} = absoluter Stufigkeitsfehler

f_{Lin} = relativer Linearitätsfehler in %

Länge = Länge des Poti (= x)

Windungen = Anzahl der Windungen des Poti

Induktive Weg- und Winkelaufnehmer:



Prinzip:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A_{Kern}}{l_i}$$

$$L = \frac{k}{l_i} \text{ mit } k = N^2 \cdot \mu_0 \cdot A_{Kern}$$

L = Induktivität in H

N = Anzahl der Windungen

μ_0 = magnetische Feldkonstante $1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$

A_{Kern} = Fläche des beweglichen Eisenkernes in m^2

l_i = Spulenlänge ohne Eisenkern in m (Luftspulenlänge)

⇒ Die Induktivität ändert sich umgekehrt proportional zur Luftspulenlänge

Signalauswertung in einer Meßbrücke:

$$\underline{U}_d = \underline{U} \cdot \frac{(X_1 \cdot R_4) - (X_2 \cdot R_3)}{(X_1 + X_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

mit $R_3 = R_4 = R$

$$\underline{U}_d = \underline{U} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{(X_1 - X_2)}{(X_1 + X_2)}$$

⇒ Als Näherung gilt: $\underline{U}_d \approx \underline{U} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta l}{l}$

L_1 = Vergleichsspule, Induktivität in H

X_1 = Wechselstromwiderstand von L_1 in Ω

L_2 = Messwertaufnehmer, Induktivität in H

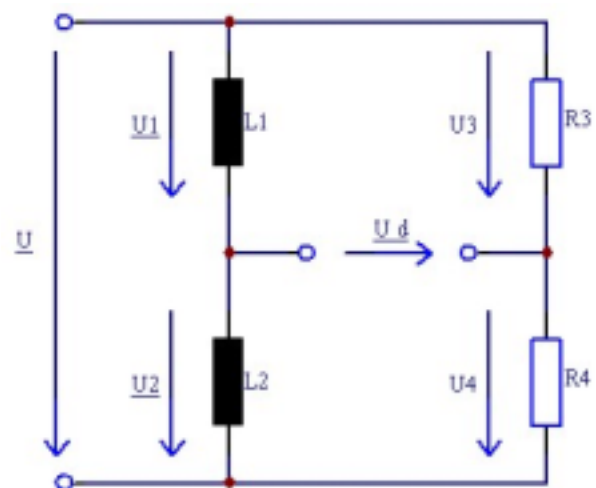
X_2 = Wechselstromwiderstand von L_2 in Ω

Δl = Längenänderung der Spule in m

l = Länge der Spule in m

\underline{U}_d = Diagonalspannung in V

\underline{U} = Speisespannung in V



Querankeraufnehmer:

Der Querankeraufnehmer wird verwendet, um berührungslos Wegstrecken bzw. Dicken zu messen. Zwischen Queranker (unten) und Spulenanker läuft das Material durch. Dieses erzeugt durch seine Dicke einen verschieden großen Luftspalt.

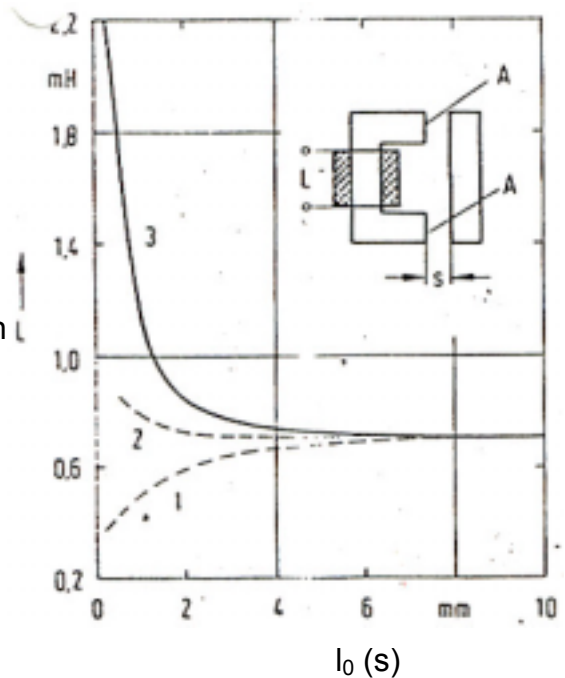
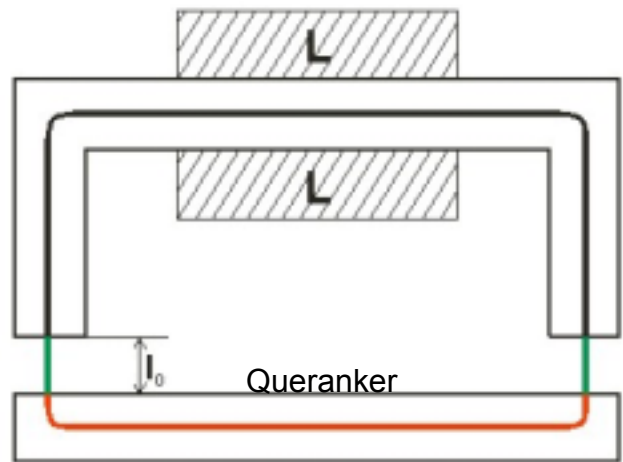
Die Änderung des Luftspaltes wird als Δl aufgefasst.

Das Material des Querankers hat Einfluß auf die Änderung der Induktivität.

Werden Messing oder Kupfer, also elektrisch leitende aber nicht ferromagnetische Werkstoffe für den Queranker verwendet, so wird durch die, im Queranker entstehenden Wirbelströme, das magnetische Feld geschwächt. Je kleiner der Luftspalt l_0 wird, desto kleiner wird auch die Induktivität L. (Kurve 1)

Werden Weicheisenkerne verwendet, die elektrisch leitend und ferromagnetisch sind, so wird der feldschwächende Einfluss der Wirbelströme zum Teil mit dem feldstärkenden Einfluss des Ferromagnetismus kompensiert. (Kurve 2)

Werden Ferrite verwendet, die eine geringe elektrische Leitfähigkeit aber ein sehr großes μ_r haben, so entsteht durch den Queranker ein feldstärkender Einfluss auf das Magnetfeld. Dadurch steigt L wenn der Luftspalt l_0 kleiner wird.

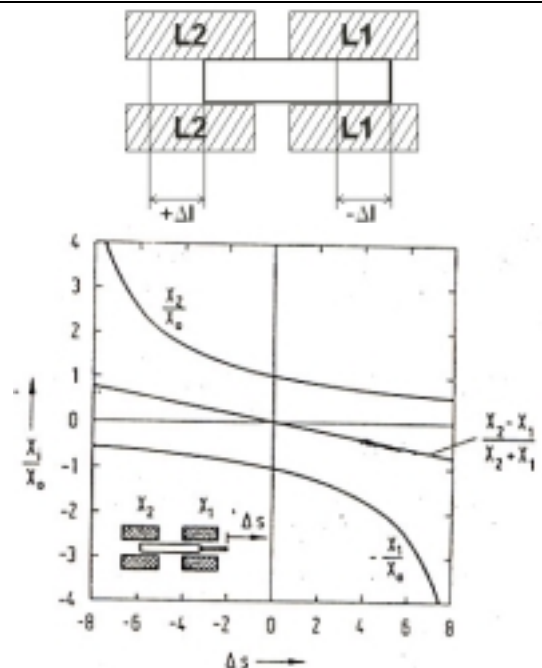


Differenzial-Tauchanker-Spule:

Da die Messwertaufnahme mit nur einem Messwertaufnehmer nicht linear ist, wird oft auch eine Differenzial-Tauchanker-Spule verwendet. Durch die jeweils entgegengerichtete Längenänderung in den Spule wird eine Linearität hergestellt. \Rightarrow **konstante Empfindlichkeit !!**

$$\underline{U}_d = \underline{U} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{(X_1 - X_2)}{(X_1 + X_2)} \Rightarrow \underline{U}_d = \underline{U} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

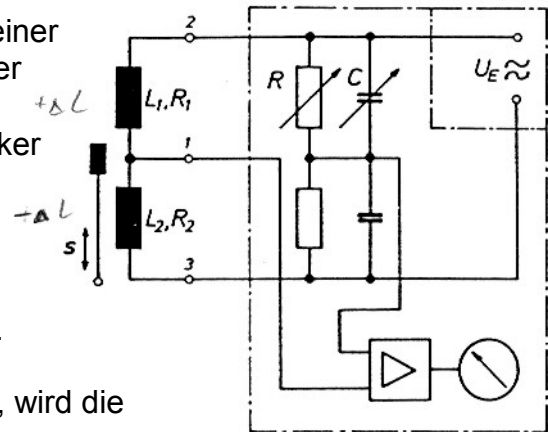
- Δl = Längenänderung der Spule in m
- l = Länge der Spule in m
- \underline{U}_d = Diagonalspannung in V
- \underline{U} = Speisespannung in V



Meßschaltung mit Trägerfrequenz-Meßverstärker:

Induktive Weg- und Winkelaufnehmer werden mit einer Wechselfspannung gespeist, damit die Änderung der Lage des Eisenkerns (Δl) in eine Spannungsänderung umgesetzt wird. Üblich sind Messverstärker mit einer Trägerfrequenz mit 5 kHz.

In der mechanischen Nullstellung werden kleine Unsymmetrien von L_1 und L_2 bzw. R_1 und R_2 mit Hilfe des eingebauten Abgleich-C bzw. Abgleich-R kompensiert, damit die Halbbrücke abgeglichen ist.



Mit der Bewegung des Eisenkerns, z.B. nach oben, wird die Brücke verstimm und es entsteht eine Diagonalspannung, die nun noch verstärkt wird.

$$U_a = U_e \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta l}{2 \cdot l} \right)$$

Bei abgeglichener Brücke gilt: $U_a = \frac{1}{2} \cdot U_e$

U_a = Spannung zwischen Punkt 1 und Punkt 3 in V

U_e = Spannung zwischen Punkt 2 und Punkt 3 in V

Kennwerte von Induktiven Wegaufnehmern:

Typ	W1	W20	W200
Nennweg	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 20 \text{ mm}$	$\pm 200 \text{ mm}$
Genauigkeitsklasse	0,5	0,5	0,5
Empfindlichkeit bei Nennweg in $\frac{mV}{V}$	80	80	80
Kleinster Messweg (=Auflösung)	10^{-3} mm	$2 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$	$2 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$
Trägerfrequenz	5 kHz	5 kHz	5 kHz
Brückenspeisepannung	5 V	5 V	5 V
Zulässige Umgebungstemperatur	- 200°C...+ 150°C	- 200°C...+ 100°C	- 200°C...+ 100°C

$$\text{Empfindlichkeit} = \frac{\Delta U_d}{U} = \frac{\text{Änderung der Diagonalspannung}}{\text{Brückenspeisepannung}}$$

Kapazitive Weg- und Winkelaufnehmer:**Prinzip:**

Bei kapazitiven Weg- und Winkelaufnehmer kann mit 3 verschiedenen Methoden eine Änderung der Kapazität C hervorgerufen werden:

- durch Änderung des Plattenabstandes d
- durch Änderung der Plattenfläche A
- durch Änderung des Dielektrikums ϵ_r

Änderung des Plattenabstandes:

$$E = -\frac{C}{d}$$

$$d = -\frac{C}{E}$$

$$C = -E \cdot d$$

E = Empfindlichkeit

C = Kapazität

d = Plattenabstand

⇒ Die Empfindlichkeit ist indirekt proportional zu d

⇒ Die **relative Kapazitätsänderung** ist direkt proportional zur relativen Plattenabstandsänderung:

$$\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d}{d}$$

$$\Delta C = -\frac{C \cdot \Delta d}{d}$$

$$d = -\frac{C \cdot \Delta d}{\Delta C}$$

$$\Delta d = -\frac{\Delta C \cdot d}{C}$$

$$C = -\frac{\Delta C \cdot d}{\Delta d}$$

Absolute Kapazitätsänderung:

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

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

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

$$A = \frac{C \cdot (d + \Delta d)}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

ΔC = Änderung der Kapazität in F

C = Kapazität in F

Δd = Änderung des Plattenabstandes in m

d = Plattenabstand in m

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{m}$

ϵ_r = Dielektrizitätszahl (Ohne Einheit !!)

A = Plattenfläche in m^2

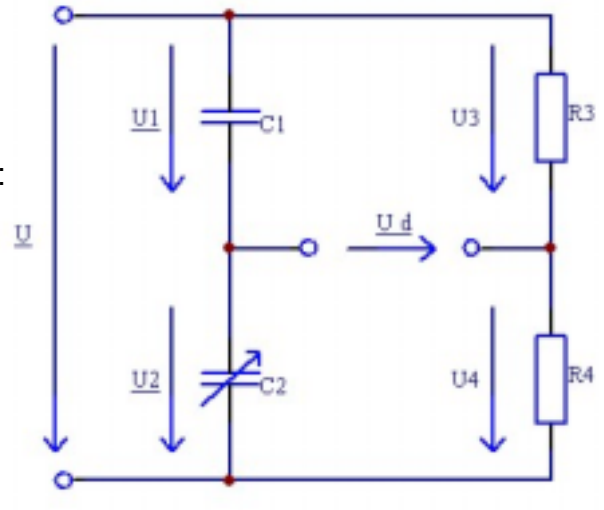
Kapazitive Weg- und Winkelmesser in der Messbrücke:

$$\underline{U}_d = \underline{U} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{X_1 - X_2}{X_1 + X_2} \right)$$

Für $C_1 =$ Grundkapazität von C_2 gilt als Näherung:

$$\underline{U}_d \approx -\underline{U} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

- $C_1 =$ Kompensationskondensator in F
- $X_1 =$ Wechselstromwiderstand von C_1 in Ω
- $C_2 =$ Wegaufnehmerkondensator in F
- $X_2 =$ Wechselstromwiderstand von C_2 in Ω
- $\underline{U}_d =$ Diagonalspannung in V
- $\underline{U} =$ Brückenspeisespannung in V
- $a =$ Plattenabstand in m
- $\Delta a =$ Abstandsänderung in m

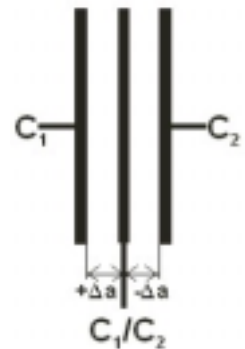


Differentialkondensator:

Durch die Verwendung eines Differentialkondensators wird die Nichtlinearität beseitigt. Er wird in einer Halbbrückenschaltung betrieben:

$$\underline{U}_d = -\underline{U} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

- $U_d =$ Diagonalspannung in V
- $U =$ Brückenspeisespannung in V
- $\Delta a =$ Abstandsänderung in m
- $a =$ Plattenabstand zwischen Mittelanzapfung und Außenplatte in m



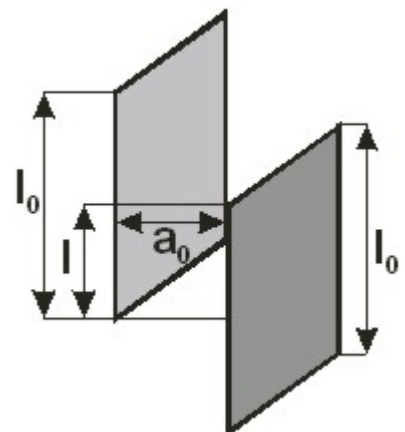
Änderung der Plattenfläche:

Der Kondensator hat seine max. Kapazität, wenn beide Platten (haben die gleiche Fläche) genau gegenüber stehen. Wenn nun eine Platte bei gleichbleibendem Abstand a_0 verschoben wird, so wird die Kapazität kleiner.

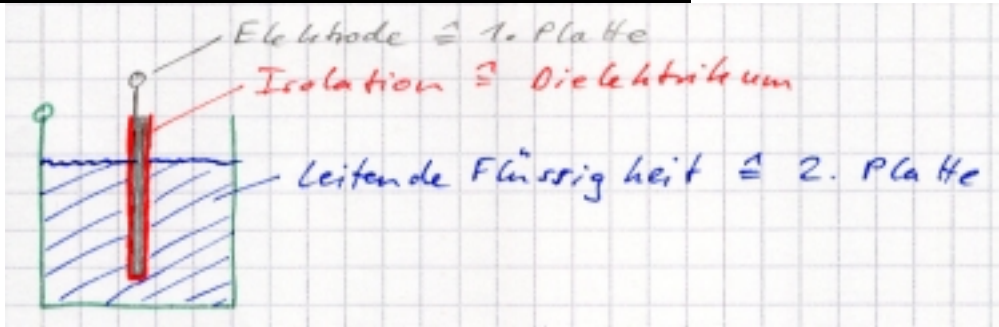
Es gilt: $l = l_0 - \Delta l$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot b \cdot (l_0 - \Delta l)}{a_0} \Rightarrow C = C_0 \cdot \frac{l}{l_0}$$

- $C =$ Kapazität in F
- $b =$ Breite der Platte in m
- $l_0 =$ Höhe der Platte in m, $a_0 =$ Abstand der Platten in m
- $l =$ wirksame Länge für Plattenfläche in m



$\epsilon_0 =$ elektrische Feldkonstante $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{m}$, $\epsilon_r =$ Dielektrizitätszahl (Ohne Einheit !!)

Füllstandshöhenmessung bei leitenden Flüssigkeiten:

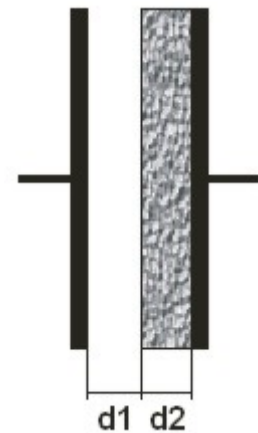
Bei dieser Messung wird auch das Prinzip der Plattenflächen verwendet. Die Kondensatorfläche wird um so größer, je höher der Füllstand ist. Also wird auch die Kapazität um so größer, je höher der Füllstand ist.

Änderung der Dicke des Dielektrikum:

Den Aufbau dieses Kondensators kann man als Reihenschaltung von zwei Kondensatoren betrachten. Aus der Berechnungsformel ergibt sich folgende Formel:

$$\frac{1}{C} = \frac{d_1}{\epsilon_0 \cdot A} + \frac{d_2}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot A} \cdot \left(d_1 + \frac{d_2}{\epsilon_r} \right) \text{ mit } d_1 = d - d_2$$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d - d_2 + \frac{d_2}{\epsilon_r}}$$



Diese Messmethode wird zur Berührungslosen Messung von Schichtdicken bei Papier, Kunststoff, Fäden und anderen Nichtleitern verwendet.

C = Kapazität in F

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{m}$

A = Plattenfläche in m^2

d = Gesamtabstand der Platten in m

d_1 = Breite des Luftspalt zwischen Dielektrikum und Platte in m

d_2 = Dicke des Dielektrikums in m

ϵ_r = Dielektrizitätszahl (Ohne Einheit !!)

Änderung der Höhe des Dielektrikum:

Den Aufbau dieses Kondensators kann man als Parallelschaltung von zwei Kondensatoren betrachten. Aus der Berechnungsformel ergibt sich folgende Formel:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot (l_0 - l) \cdot b}{a_0} + \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l \cdot b}{a_0}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \cdot b}{a_0} \cdot [l_0 - l + (\epsilon_r \cdot l)] \quad \text{Absolute Kapazitätsänderung}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{l_0 - l}{l_0} + \epsilon_r \cdot \frac{l}{l_0} - 1 \quad \text{Relative Kapazitätsänderung}$$

C = Kapazität in F

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{m}$

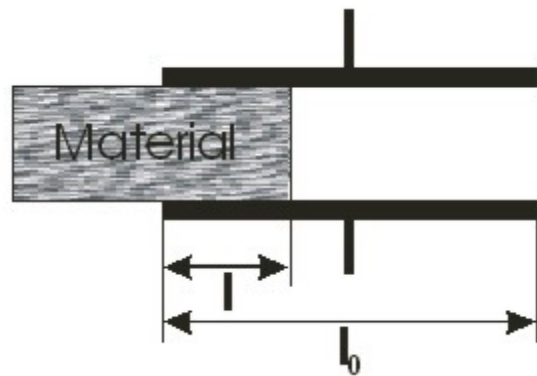
b = Breite der Platte in m

a_0 = Abstand der Platten in m

l_0 = Gesamtlänge der Platte in m

l = Länge des Materials im Kondensator in m

ϵ_r = Dielektrizitätszahl (Ohne Einheit !!)

**Füllstandshöhenmessung nichtleitender Flüssigkeiten:**

Je höher der Füllstand zwischen den Platten des Kondensators ist, desto höher wird auch die Kapazität des Kondensators.

