

VORLESUNGSGEHALT

- 1 Einleitung**
- 2 Sensorprinzipien der Mechanik**
- 3 Sensorprinzipien der Wärmelehre**
- 4 Sensorprinzipien der Elektrostatik und –dynamik**
 - 4.1 Resistive Sensorprinzipien
 - 4.2 Kapazitive Sensorprinzipien
 - 4.3 Induktive Sensorprinzipien
 - 4.4 Weitere magnetische Sensorprinzipien
 - 4.5 Piezoelektrische und weitere elektrische Sensorprinzipien
- 5 Sensorprinzipien der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und der Optik**

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

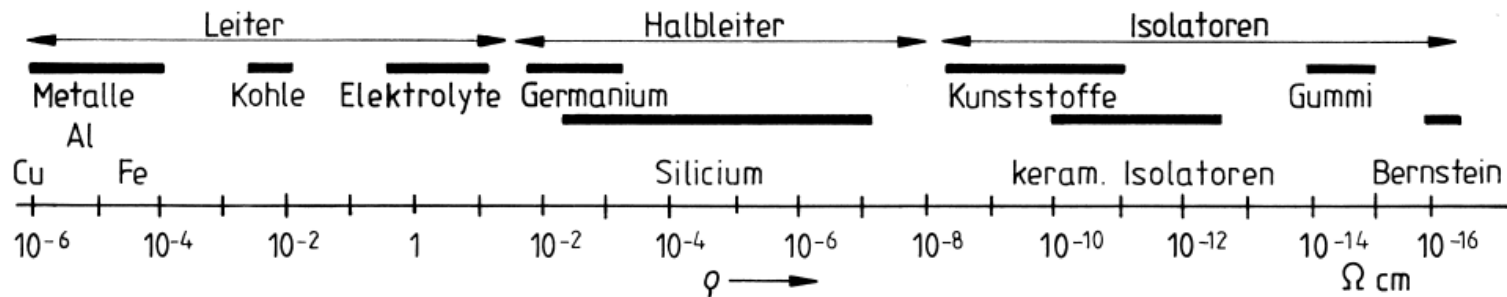
4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (1)

Ohmscher Widerstand
eines fadenförmigen Leiters

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

⇒ Wegmessung, Winkelmessung

$$\Delta I \approx I_0 \cdot \frac{U_M}{U_0} \quad \Delta \alpha \approx \frac{l_0}{r} \cdot \frac{U_M}{U_0}$$

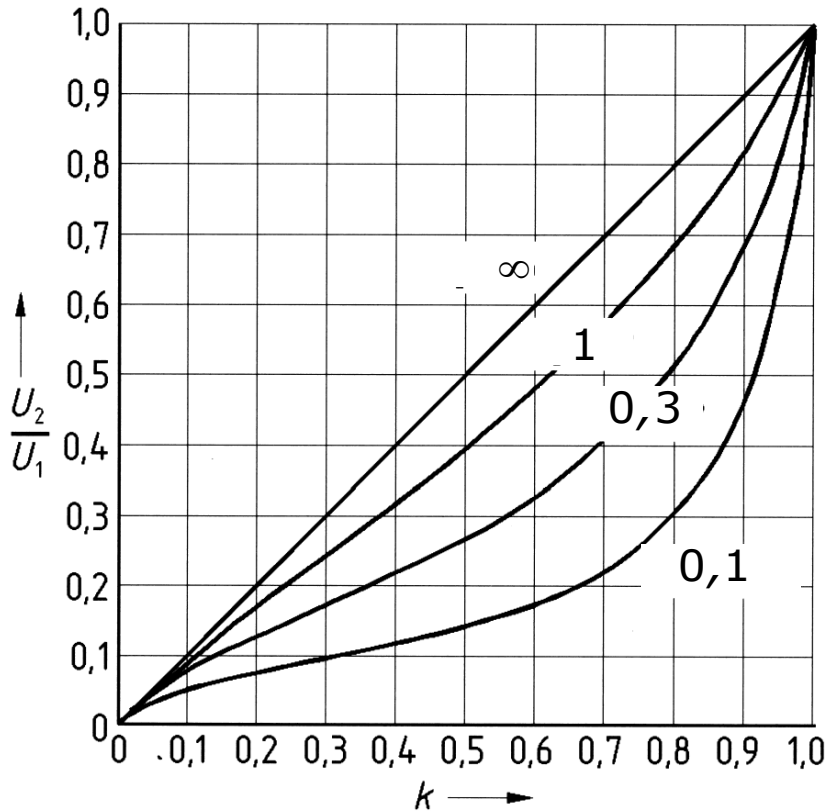


Spezifische elektrische Widerstände verschiedener Stoffe

[F. Heywang et al: Physik für Techniker]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

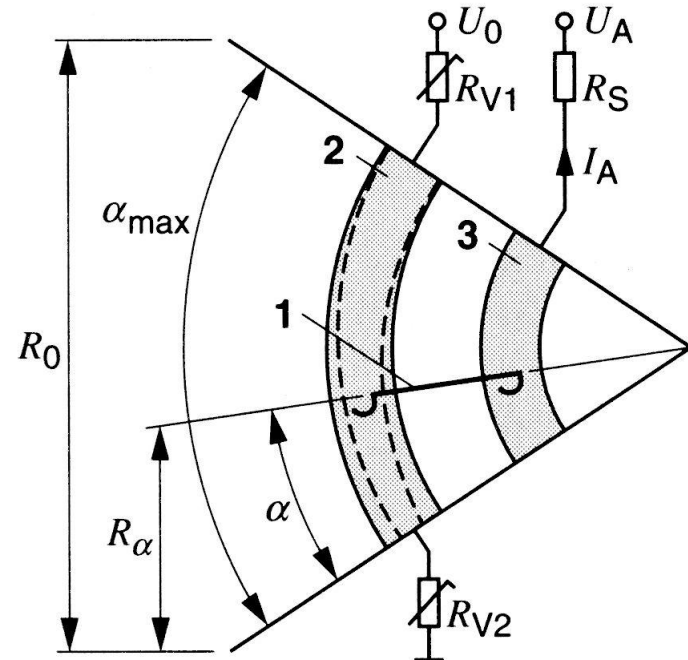
4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (2)



Spannungsteilungsverhältnis eines belasteten linearen Potentiometers,

Parameter: R_L/R_0

[Frohne et al: Moeller / Grundlagen der Elektrotechnik]



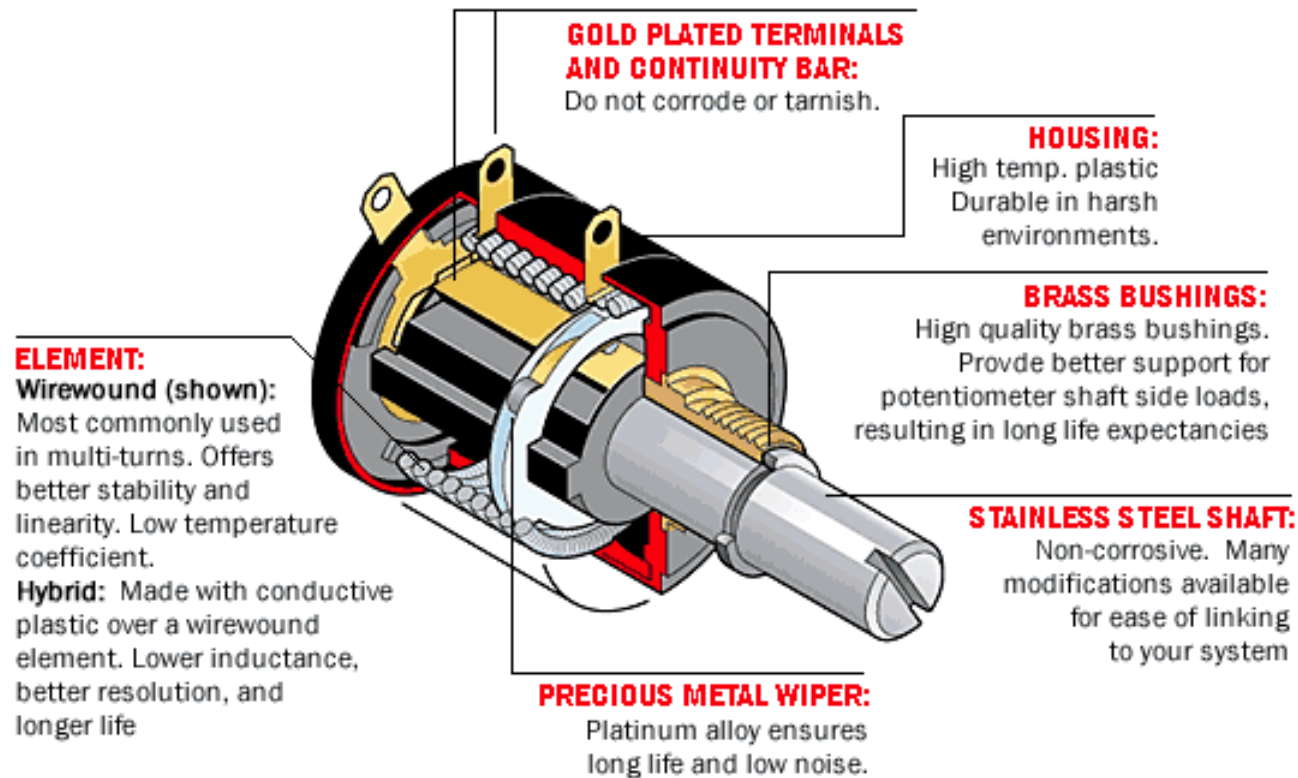
- 1: Schleifer
- 2: Widerstandsbahn
- 3: Kontaktbahn

Schleifpotentiometer

[Bosch: Autoelektrik/Autoelektronik]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (3)



Drehpotentiometer
[EISYSTEMS]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (4)

Material	k
Konstantan (57 % Cu, 43 % Ni)	2,05
Karma (73 % Ni, 20 % Cr, Rest Fe, Al)	2,1
Nichrome V (80 % Ni, 20 % Cr)	2,2
Platin-Wolfram (92 % Pt, 8 % W)	4,0
Si (P-Typ)	120-150
Ge	102

Ohmscher Widerstand
eines Leiters:

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

⇒ Dehnungsmessung

$$\varepsilon = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

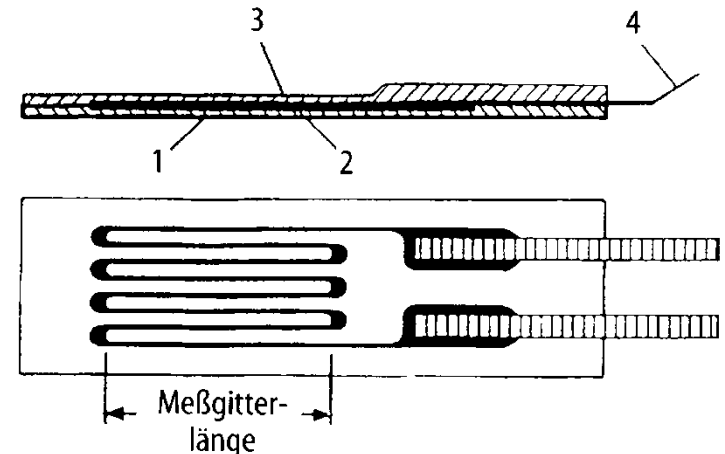
K-Faktoren verschiedener Stoffe

[K. Hoffmann: Eine Einführung in die Technik des Messens
mit Dehnungsmessstreifen, Infomaterial der VTS Zlin]

- 1: Trägerschicht
- 2: Messwiderstand
- 3: Deckschicht
- 4: Anschlussleitung

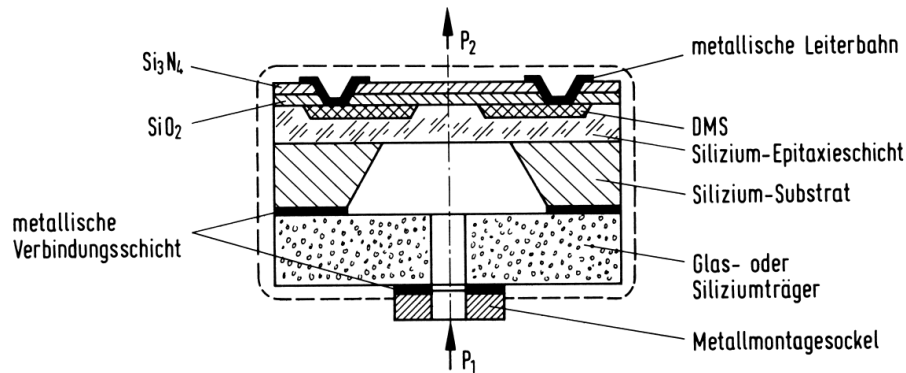
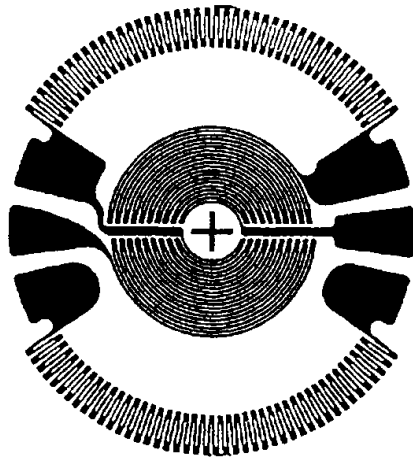
DMS-Aufbau

[H.-J. Gevatter: Automatisierungstechnik 1]

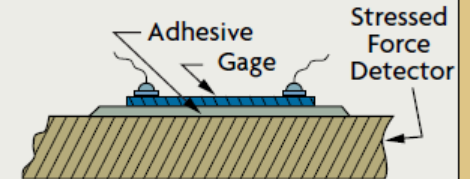


4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

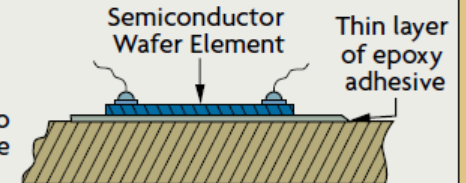
4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (5)



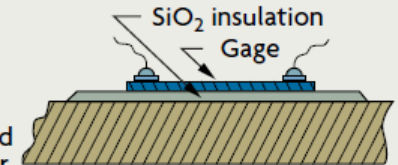
A. Adhesive bonded metallic foil element



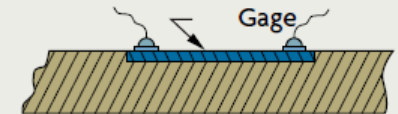
B. Semiconductor wafer made of resistance element diffused into substrate and bonded to surface by thin adhesive layer



C. Thin-film element molecularly bonded (no adhesives) into a ceramic layer which is deposited directly onto the force detector



D. Diffused semiconductor element

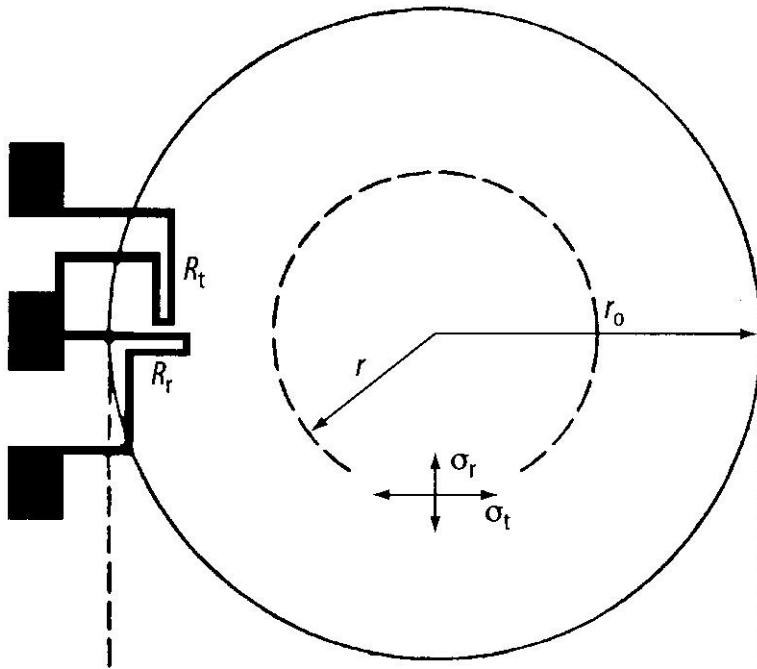


Technischer Aufbau von DMS-Drucksensoren

[HBM, P. Hauptmann: Sensoren, OMEGA: Transactions Vol. III]

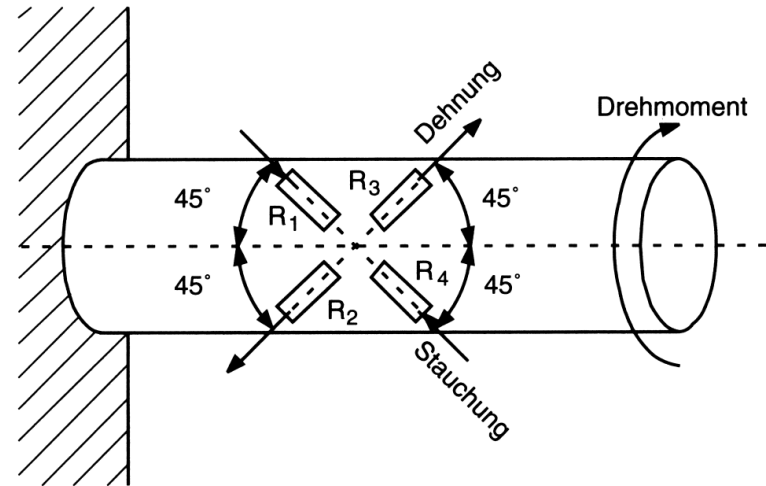
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (6)



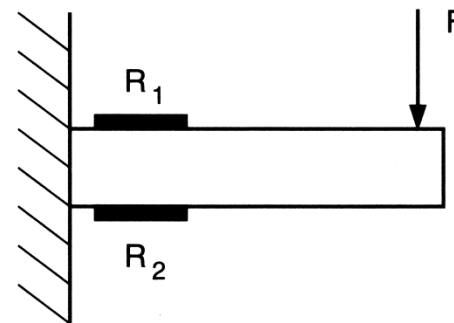
DMS-Applikation Druckmessung

[H.-J. Gevatter: Automatisierungstechnik 1]



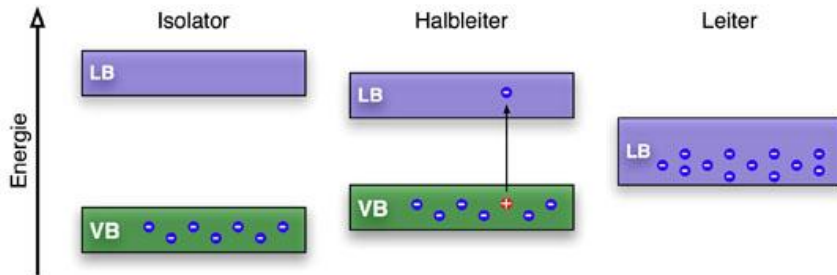
DMS-Applikation Torsionsmessung (oben) und Wägung (unten)

[J. Niehuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren 1]



4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (7)



Verkleinerung der
Elektronenbeweglichkeit
durch Stöße mit Ionengitter

$$\kappa = e \cdot n \cdot \mu = \frac{1}{\rho}$$

Bändermodell der Festkörperphysik
[ETH Zürich]

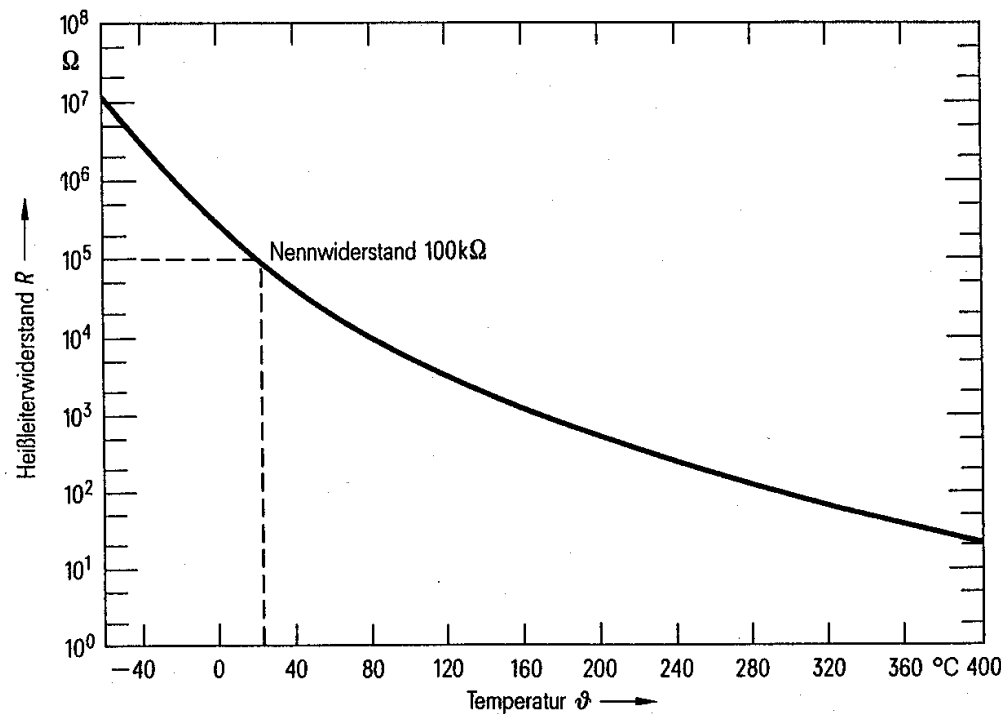
⇒ Temperaturbestimmung $\vartheta \approx \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{R(\vartheta)}{R_0} - 1 \right)$

Typ	R_0/Ω	$\vartheta_0/^\circ\text{C}$	$A/(1/^\circ\text{C})$	$B/(1/^\circ\text{C})^2$	$C/(1/^\circ\text{C})^4$	$D/(1/^\circ\text{C})^6$
Pt 100	100	0	$3,9083 \cdot 10^{-3}$	$-0,5775 \cdot 10^{-6}$	$-4,183 \cdot 10^{-12}$	-
Ni 100	100	0	$5,485 \cdot 10^{-3}$	$6,65 \cdot 10^{-6}$	$28,05 \cdot 10^{-12}$	$2,111 \cdot 10^{-17}$

Pt 100 (-200 °C ... 0 °C):	$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2 + C \cdot (\vartheta - 100 \text{ °C}) \cdot \vartheta^3)$
Pt 100 (0 ... 850 °C):	$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2)$
Ni 100 (-60 °C ... 250 °C):	$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2 + C \cdot \vartheta^4 + D \cdot \vartheta^6)$

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (8)



Temperaturabhängige
Ladungsträgerdichte

$$n \cdot p \sim T^3 \cdot e^{-E_g / (kT)}$$

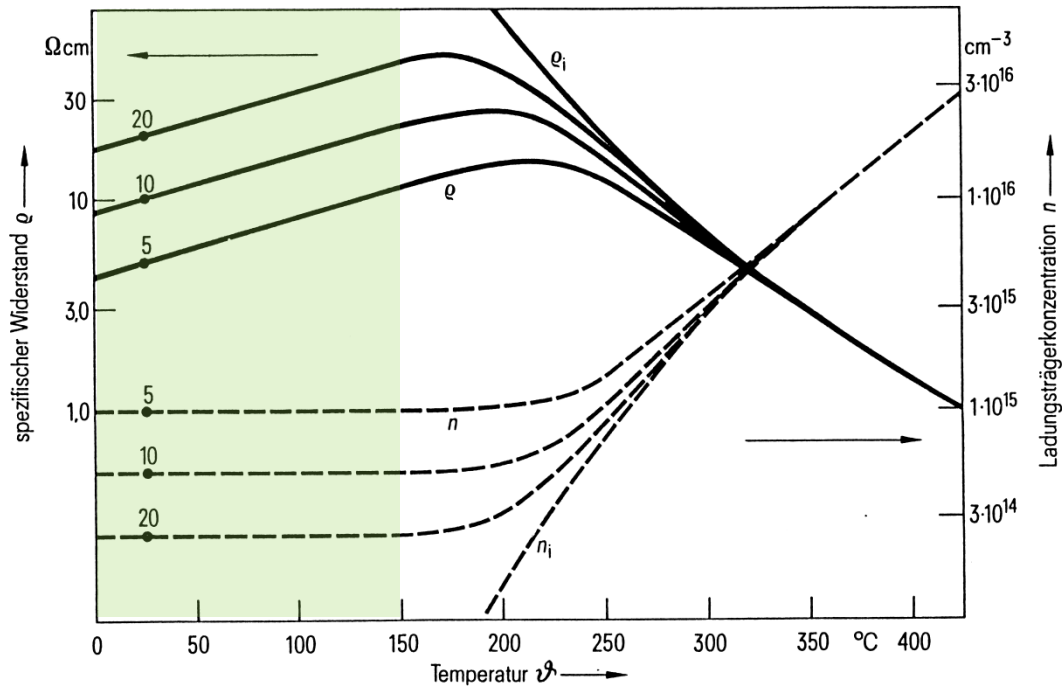
⇒ Temperaturbestimmung

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{R_T}{R_N}\right) + \frac{B}{T_N}}$$

**Kennlinie eines
Negative Temperature Coefficient-Widerstands
(Heißeleiters)** [W. Heywang: Sensorik]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (9)



Si (-30 °C ... 130 °C):

$$R(\Delta\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A \cdot \Delta\vartheta + B \cdot (\Delta\vartheta)^2 + C \cdot \Delta\vartheta^3)$$

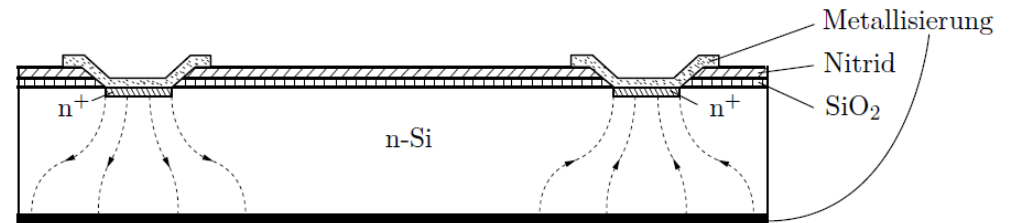
$$A = 7,93 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}; \quad B = 1,93 \cdot 10^{-5} / (^\circ\text{C})^2;$$

$$C = -4,82 \cdot 10^{-8} / (^\circ\text{C})^3$$

$$R_0 = 2 \text{ k}\Omega; \quad \vartheta_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

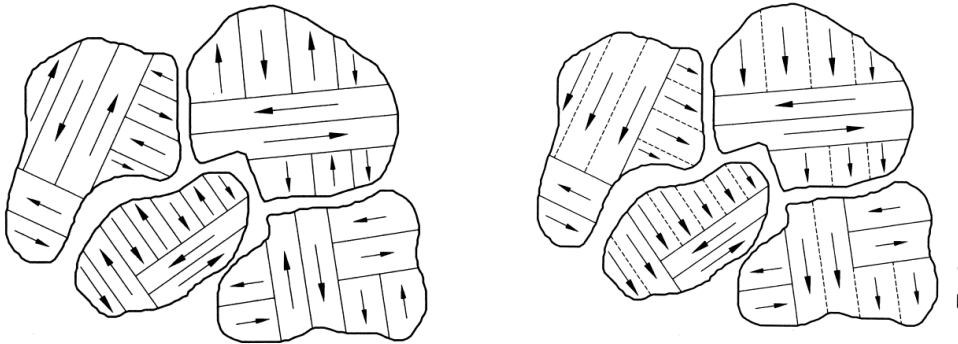
Si-Temperatursensor: Kennlinie und Aufbau

[W. Heywang: Sensorik; TU München, LTE]



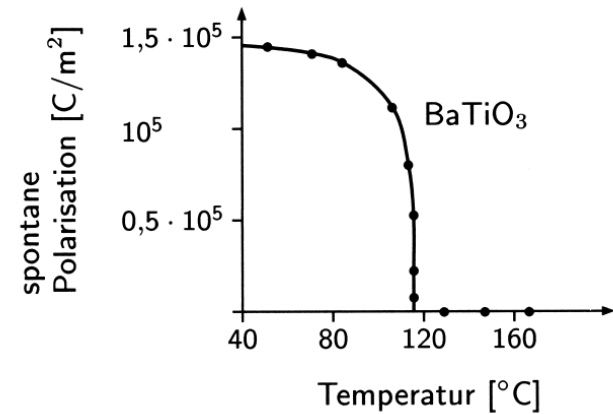
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (10)



Spontanpolarisierter Keramikwerkstoff

[H. Fischer: Werkstoffe in der Elektrotechnik]

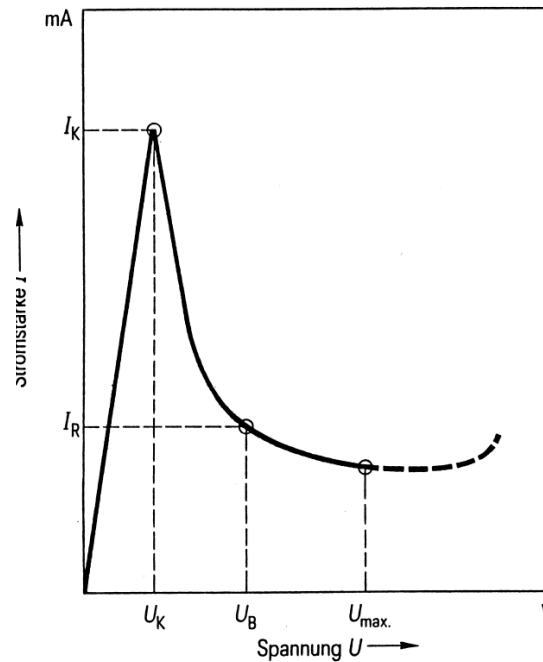
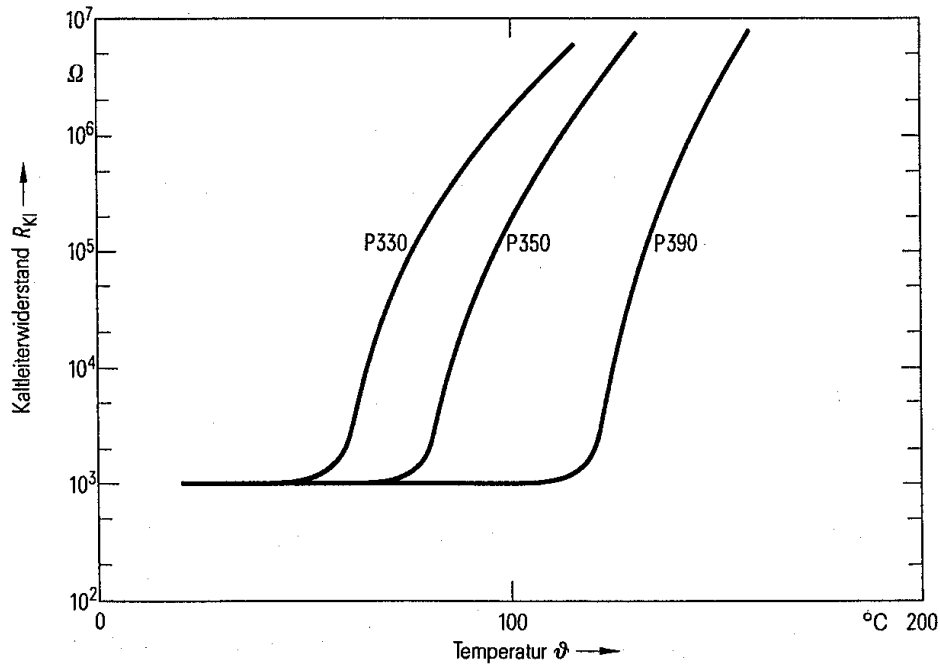


Spontane Polarisation des BaTiO₃

[K. Dransfeld, P. Kienle: Physik II]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (11)

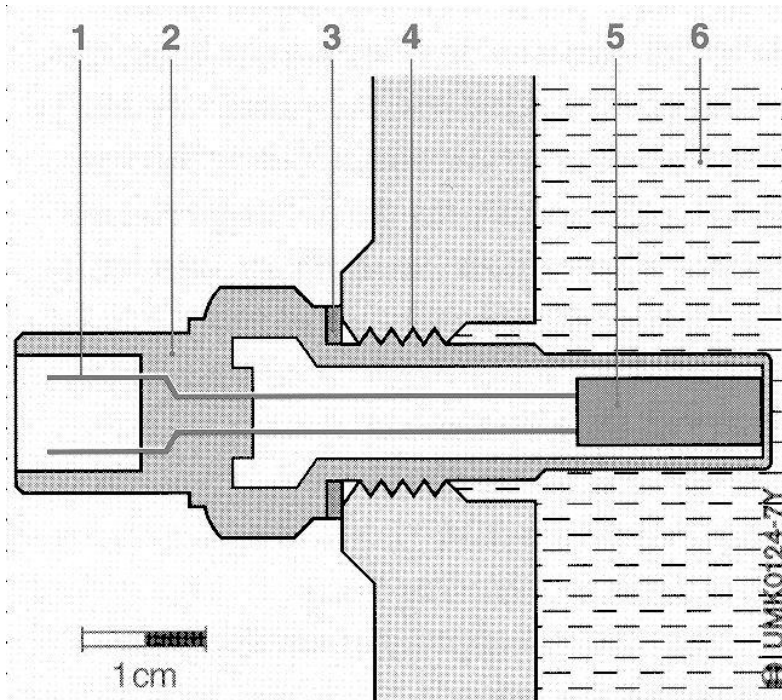


- I_K Kippstrom
bei angelgter
Spannung U_K
(Einsatz der Strombegrenzung)
- I_R Reststrom
bei angelegter
Spannung U_B
(Strom im
abgeregelten Zustand)
- $U_{max.}$ Maximale Betriebsspannung

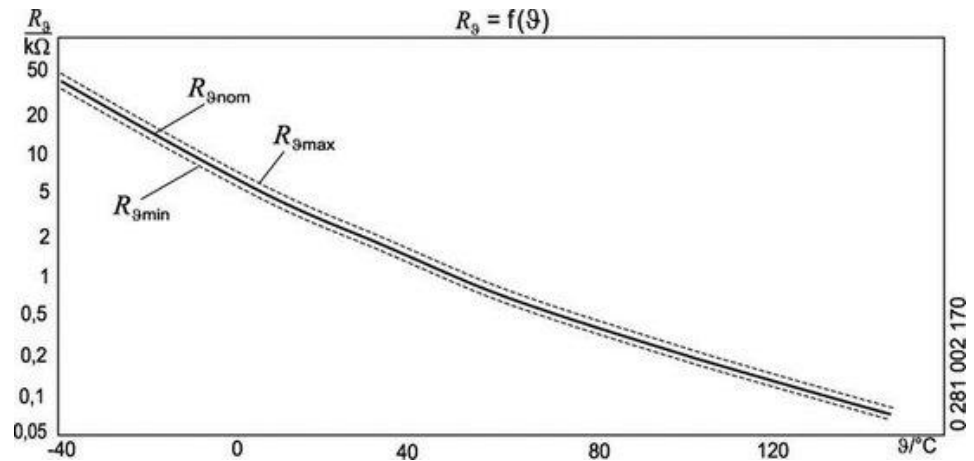
**Kennlinien von
Positive Temperature Coefficient-Widerständen
(Kaltleitern) [W. Heywang: Sensorik]**

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (12)



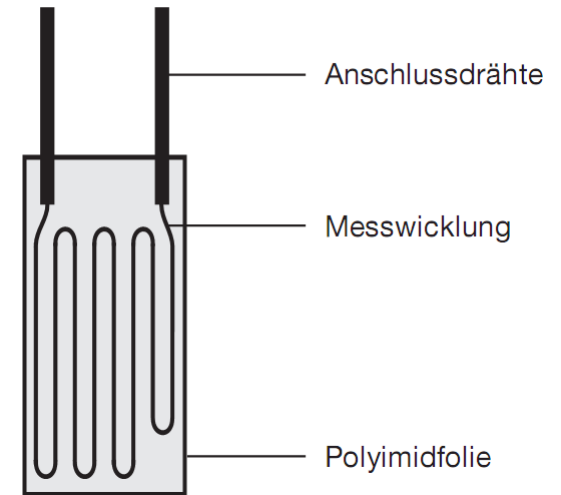
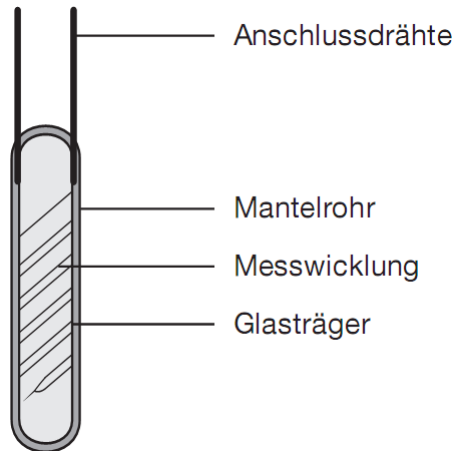
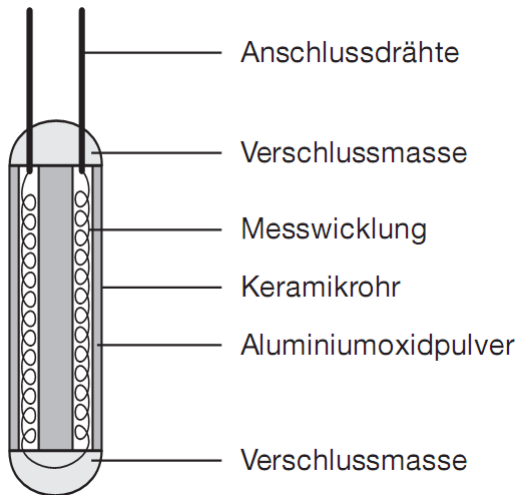
- 1: Elektrische Anschlüsse
- 2: Gehäuse
- 3: Dichtring
- 4: Einschraubgewinde
- 5: Messwiderstand**
- 6: Kühlmittel



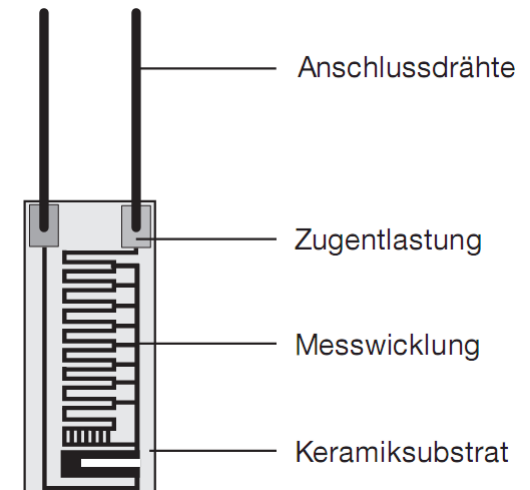
**PKW-Kühlmitteltemperatursensor:
Aufbau und Kennlinie [Bosch]**

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (13)



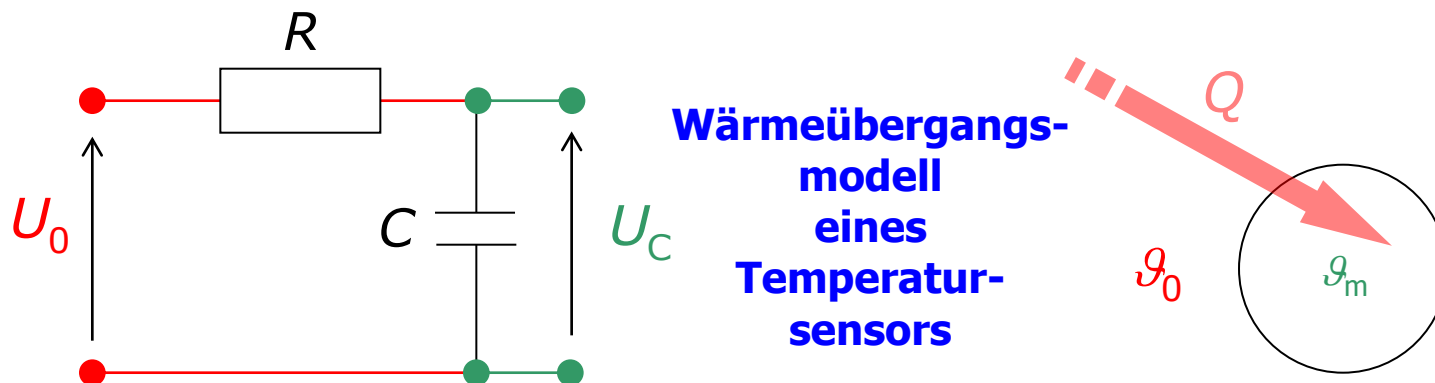
**Bauformen von Pt 100-Sensoren:
Drahtgewickelte Keramik-, Glas- und
Foliensensoren (oben, v. r. n. l.)
sowie Dünnschichtsensoren (rechts) [JUMO]**



4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

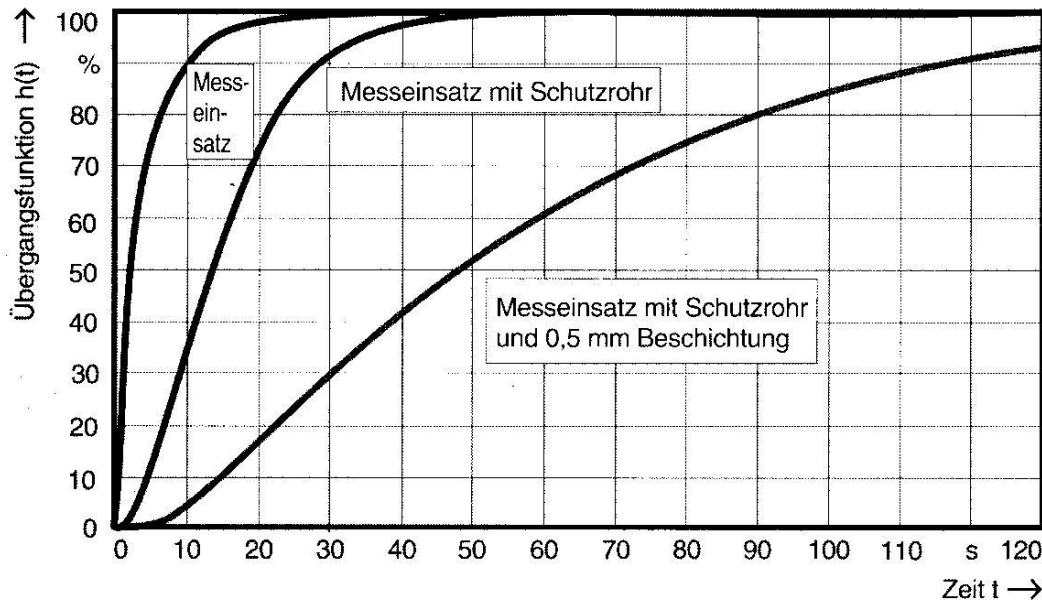
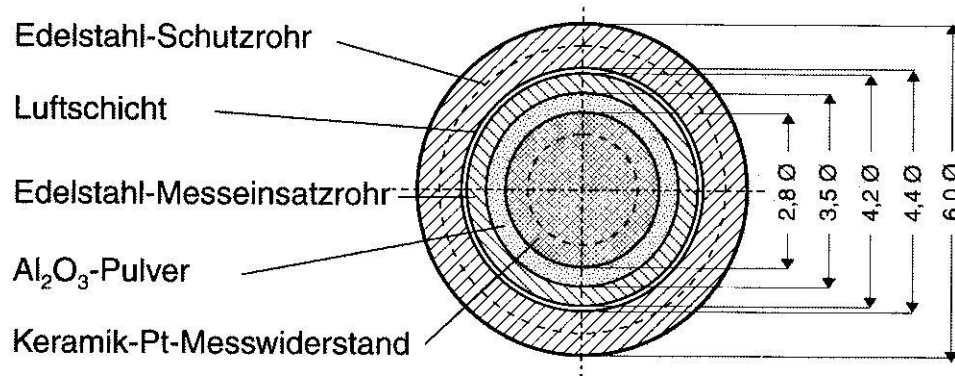
4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (14)

Elektronische Schaltungstechnik	Wärmetechnik
Eingangsspannung U_0	Temperatur des Mediums ϑ_0
Ohmscher Widerstand R	Wärmeübergangswiderstand $(\alpha A)^{-1}$ [A : Sensorfläche, α : Wärmeübergangskoeffizient]
Elektrische Kapazität C	Wärmekapazität c_s
Spannung an Kapazität U_C	Gemessene Temperatur ϑ_m
Elektrischer Strom I	Wärmestrom Q



4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (15)



Temperatursensor:
Aufbaubeispiel (oben) und
Übertragungsfunktion (unten)
 [ABB: Praxis der industriellen Temperaturmessung]

4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

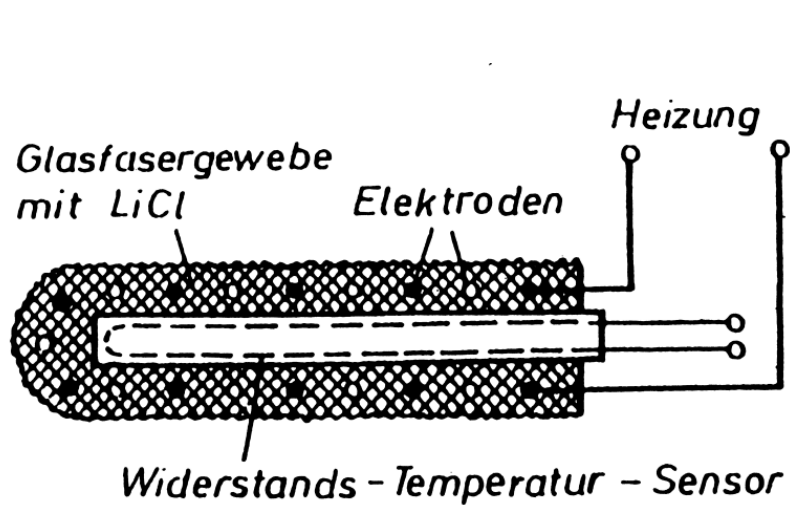
4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (16)

Toleranz- klasse	Temperatur- Bereich / °C	Toleranz / K	festgelegt durch:
Klasse A	-200 .. +650	$\pm(0,15+0,002 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	EN 60751, DIN 43760
½ Klasse B	-200 .. +650	$\pm(0,15+0,0025 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	ABB
1/3 Klasse B	-50 .. +300	$\pm(0,1+0,0017 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	ABB
1/3 Klasse B	-70 .. +250	$\pm(0,1+0,0017 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	JUMO
Klasse B	-200 .. +850	$\pm(0,3+0,005 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	EN 60751, DIN 43760
Klasse 0,5	-200 .. +850	$\pm(0,5+0,006 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	JUMO
$\pm 0,6$ K bei 0°C	-200 .. +850	$\pm(0,6+0,005 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	ABB
$\pm 1,5$ K bei 0°C	-200 .. +850	$\pm(1,5+0,005 \cdot \vartheta / ^\circ\text{C})$	ABB

Toleranzklassen von Pt-Widerstandsthermometern

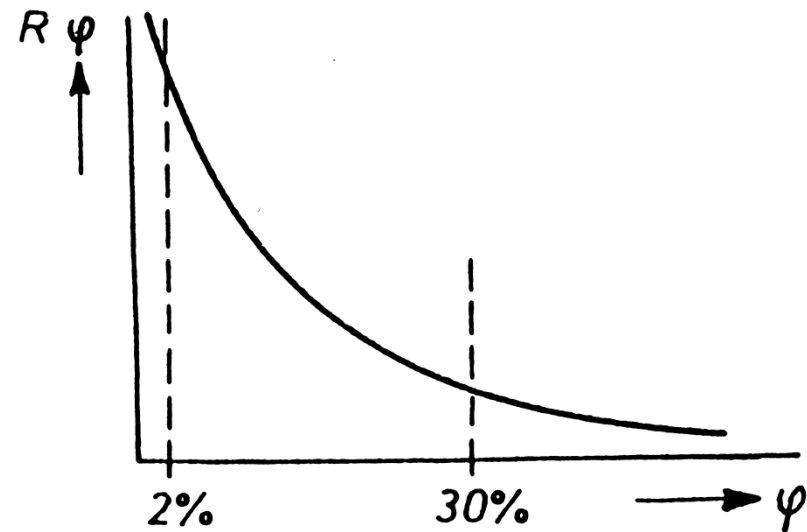
4. SENSORPRINZIPIEN DER ELEKTROSTATIK UND -DYNAMIK

4.1 RESISTIVE SENSORPRINZIPIEN (17)



LiCl-Feuchtesensor

[H. Herold: Sensortechnik]



Kennlinie eines resistiven Feuchtesensors

[Bosch]