

Messtechnik 2 – Übersicht

Grundlagen ✓

Geometrische und mechanische Größen ✓

Optische Größen
Messen aus Bildern



Schwerpunktthema ✓

Temperatur

Druck

Durchfluss, Viskosität, Dichte, Füllstand

Akustische Größen

Ionisierende Strahlung

Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen

- Messgröße
 - Definition, Einheit
- Physikalische Effekte
- Sensoren, Bauarten, Randbedingungen
- Vor- und Nachteile

Temperatur

Kelvin K

Energetische Zusammenhänge im idealen Gas

$$\overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} k_B T \quad pV = Nk_B T$$

k_B ... Boltzmann Konstante, N ... Teilchenanzahl, p ... Druck

- Die häufigste Messgröße in der Verfahrenstechnik
- Wirtschaftlich bedeutend → Normung der wichtigsten Messverfahren
- Berührungsthermometer
- Strahlungsthermometer

Berührungstermometer

- Zeigt *eigene* Temperatur an!
- Einbau so, dass
 - Temperatur des Mediums angenommen werden kann
 - geringe Störung des Temperaturfeldes
 - repräsentative Stelle bei großen Volumen
 - geringe Temperaturabfuhr durch den Sensor
- Richtlinien für Einbau:
VDI/VDE 3511 Technische Temperaturmessung

Berührungstermometer Bauarten/T-Bereich

Tabelle 3.1 Einsatzbereiche von elektrischen Berührungsthermometern

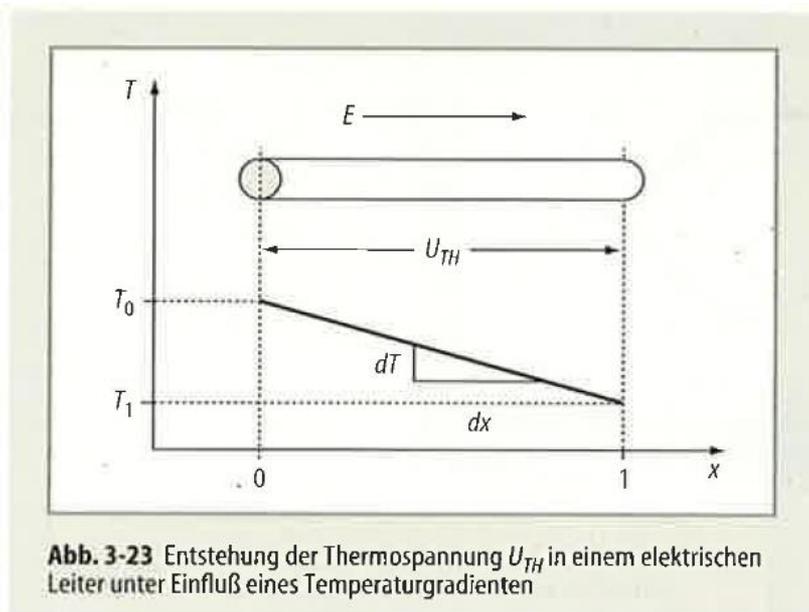
Aufnehmer	Anwendungsbereich	Empfindlichkeit oder TK
	-200 0 400 800 °C 1200	
(NiCr-Ni)- Thermoelement	—	0,04 mV/K
Ni-Widerstand	—	+0,006 K ⁻¹
Pt-Widerstand	—	+0,004 K ⁻¹
NTC-Widerstand	— - - - -	+0,040 K ⁻¹
PTC-Widerstand	—	+0,250 K ⁻¹
Si-Ausbreitungs- widerstand	—	+0,008 K ⁻¹
Si-Sperrschicht- sensor	—	1 mV/K
Quarz	—	1,5 kHz/K

[Hoffmann, TB der MT]

Seebeck-Effekt (Thermoelektrischer Effekt)

Physikalischer Effekt, für *ein Material* !

Zwischen den Enden eines stromlosen Leiters, der einen Temperaturgradienten aufweist, baut sich eine Potentialdifferenz – die *Thermospannung* U_{TH} – auf.



$$U_{TH}(T) = \int_0^1 E(x, T) dx$$

[Tränkle, Obermeier, Sensortechnik]

Für ein *homogenes* Material:

$$U_{TH} = \alpha_S \int_{T_0}^{T_1} dT$$

α_S ... Seebeck-Koeffizient

Thermoelement / Thermopaar

Nutzt den Seebeck-Effekt

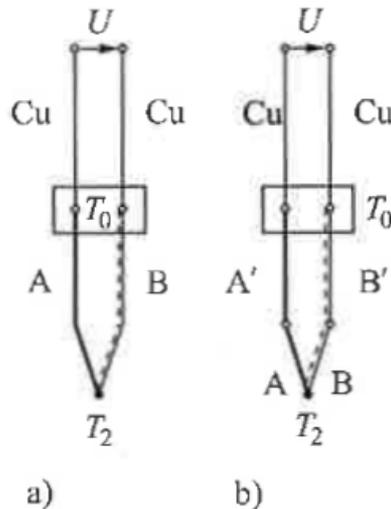
Punktförmige Verbindung zweier unterschiedlicher Leiter

$$U_{TH}(T_0, T_2) = (\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_0) = k_{AB}\Delta T$$

Materialien A, B ; Seebeck-Koeffizienten α_A, α_B

Empfindlichkeit k_{AB} [mV/K]

- auch: *relativer Seebeck-Koeffizient* d. Materialpaares A, B



[Hoffmann, TB der MT]

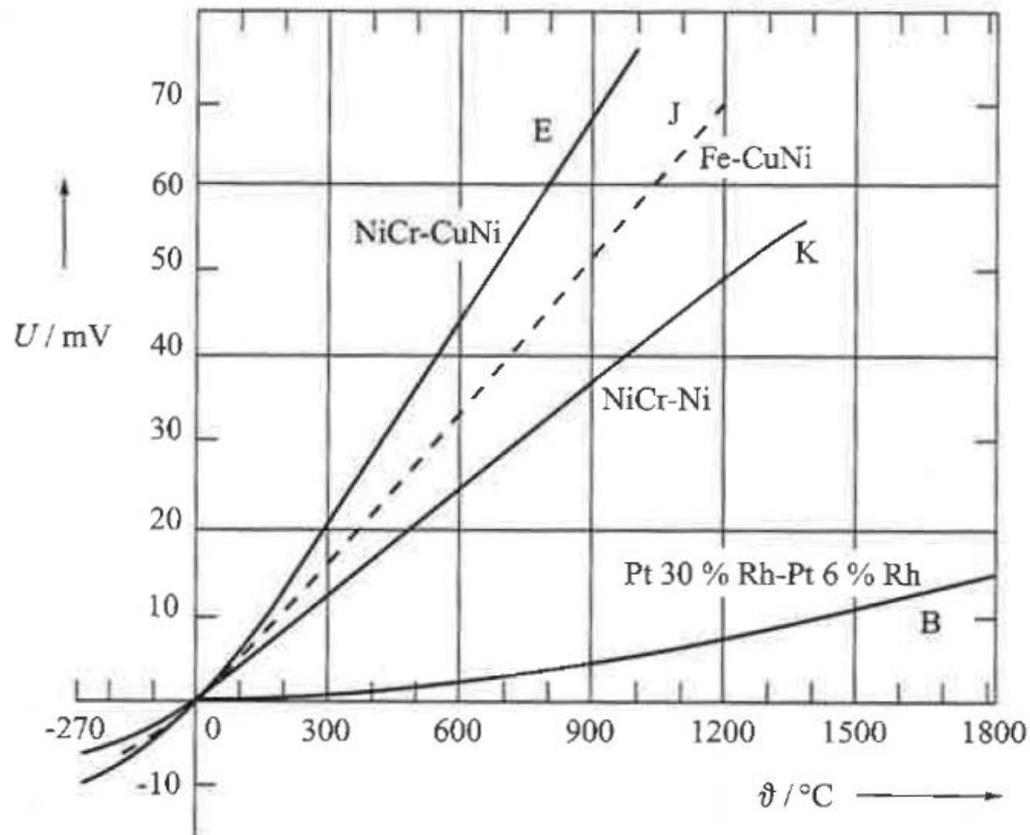
Bild 3.1 Anschluss eines Thermoelements aus den Materialien A und B an Kupferleitungen Cu
 a) ohne Ausgleichsleitungen
 b) mit den Ausgleichsleitungen A' und B'

<http://www.omega.de/prodinfo/thermoelement-rtd-thermistor-anschlussleitungen.html>

Thermoelemente Kennlinie

Abhängig vom Materialpaar A, B ; Nichtlinear

Zur vollständigen Beschreibung sind neben k_{AB} auch noch Koeffizienten höherer Ordnung nötig

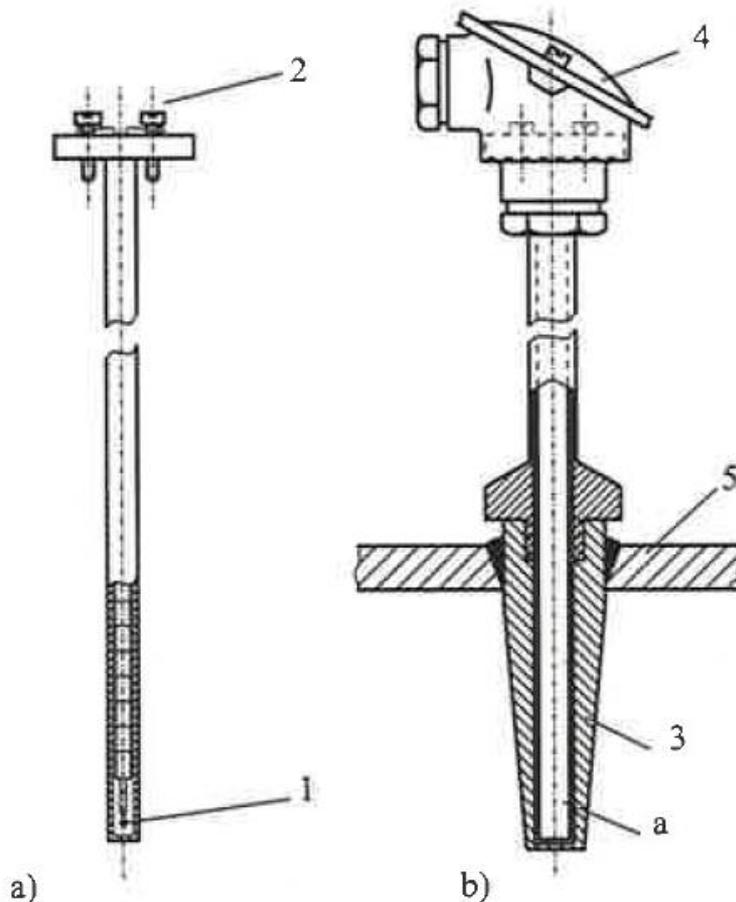


[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.2 Kennlinien von Thermoelementen

Einbau von Thermoelementen

Messeinsätze ohne/mit Schutzrohr:



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.3 Einbau von Thermoelementen

a) Messeinsatz mit Thermopaar 1 und Anschlussklemmen 2

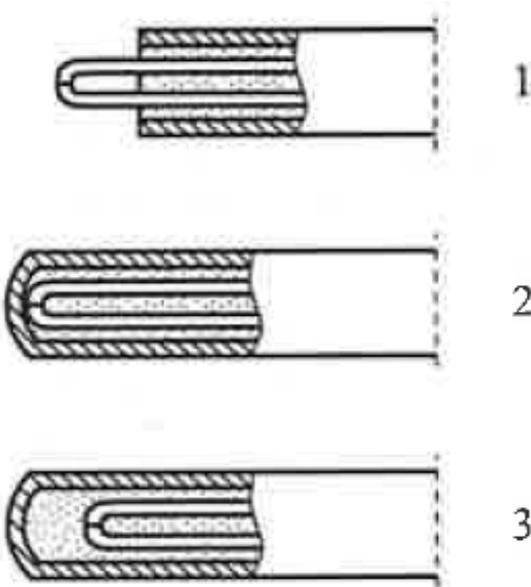
b) Armatur mit Messeinsatz a; 3 Schutzrohr, 4 Anschlusskopf, 5 Wand der Rohrleitung oder des Behälters

Mantelthermoelemente Bauarten

Flink vs. träge

Korrosionsgefahr → Mantel

Elektrisch leitende/isolierte Verbindung



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.4 Mantelthermoelemente; 1 Thermopaar offen, 2 Thermopaar mit dem Mantel verschweißt, 3 Thermopaar vom Mantel isoliert

Thermoelemente Diskussion

Empfindlichkeit, Kennlinie

Genauigkeit zB $\pm(1,5^{\circ}\text{C oder } 0,004|\vartheta|)$ ← Es gilt jeweils der höhere der beiden Werte!

Vergleichsstelle: T_0 muss bekannt sein!

- Thermostat: T_0 bekannt und konstant halten
- Kompensation: von T_0 abhängige Spannung addieren

Ausgleichsleitung

Ausführung

- Messeinsatz
- Mantelthermoelement

Signalverarbeitung: mV → Messverstärker

Punktförmige, Messung möglich

Trägheit abhängig von Bauart

Größter Temperaturbereich aller besprochenen T-Sensoren:

-200 ... 1200 (1800) °C

T – Abhängigkeit d. Elektr. Widerstandes

Mehrere physikalische Effekte können genutzt werden:

- Metall-Widerstandsthermometer – Ohm'scher Widerstand: $T \uparrow \Rightarrow R \uparrow$

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$$

- Heißleiter – Eigenleitfähigkeit im Halbleiter: $T \uparrow \Rightarrow R \downarrow$

$$R(T) = R_0 e^{b\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} = K_0 e^{b/T}$$

- Kaltleiter – Halbleiter + ferroelektrisches Material: Ab „Curie-Temperatur“ (Auflösung der Ausrichtung der Kristallite): $T \uparrow \Rightarrow R \uparrow$ exponentiell

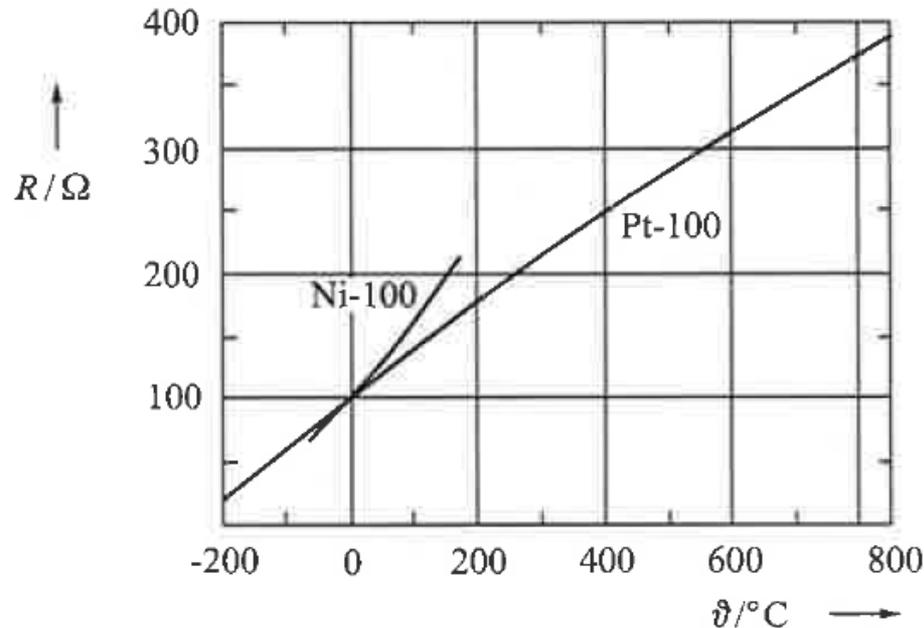
Metall-Widerstandsthermometer (1)

Wenn ϑ in $^{\circ}\text{C}$, und $\beta \ll \alpha$: $R(\vartheta) = R_0(1 + \alpha\vartheta)$

R_0 : Nennwiderstand bei 0°C

Material: Z.B. Pt-100: 100Ω bei 0°C

Kennlinien:



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.5 Kennlinie des Pt- und des Ni-Messwiderstandes

Metall-Widerstandsthermometer (2)

Bauarten:

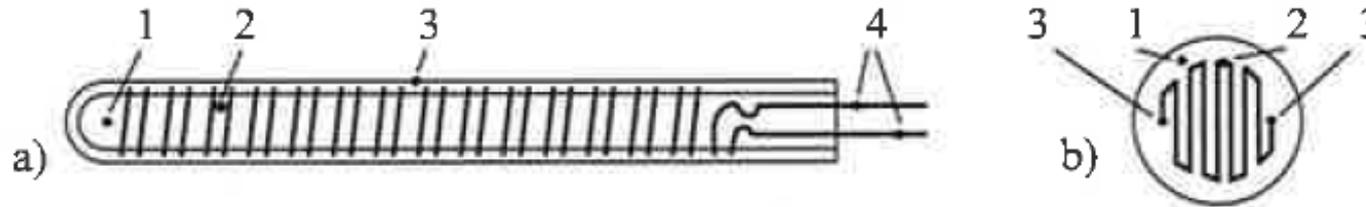


Bild 3.6 Platinmesswiderstände

a) Glasausführung: 1 Glaskörper, 2 bifilar gewickelter Platindraht, 3 Glasüberzug, 4 Anschlußdrähte

b) Schichtwiderstand: 1 Substrat, 2 Widerstandsschicht, 3 Anschlußdrähte

[Hoffmann, TB der MT]

Metall-Widerstandsthermometer (3)

Diskussion, Vergleich mit Thermoelement:

- Genauer
- Träger
- Keine punktförmige Messung möglich
- Max. bis 850 °C
- Keine Referenztemperatur nötig
- Billiger

Heißleiter – negative temperature coefficient (NTC) – resistor (auch: Thermistor)

- Stark nichtlineare KL
- Hohe Empfindlichkeit
- Hoher Nennwiderstand
- Punktförmige Messung
- Große Stückzahlen
- Billig

[Hoffmann, TB der MT]

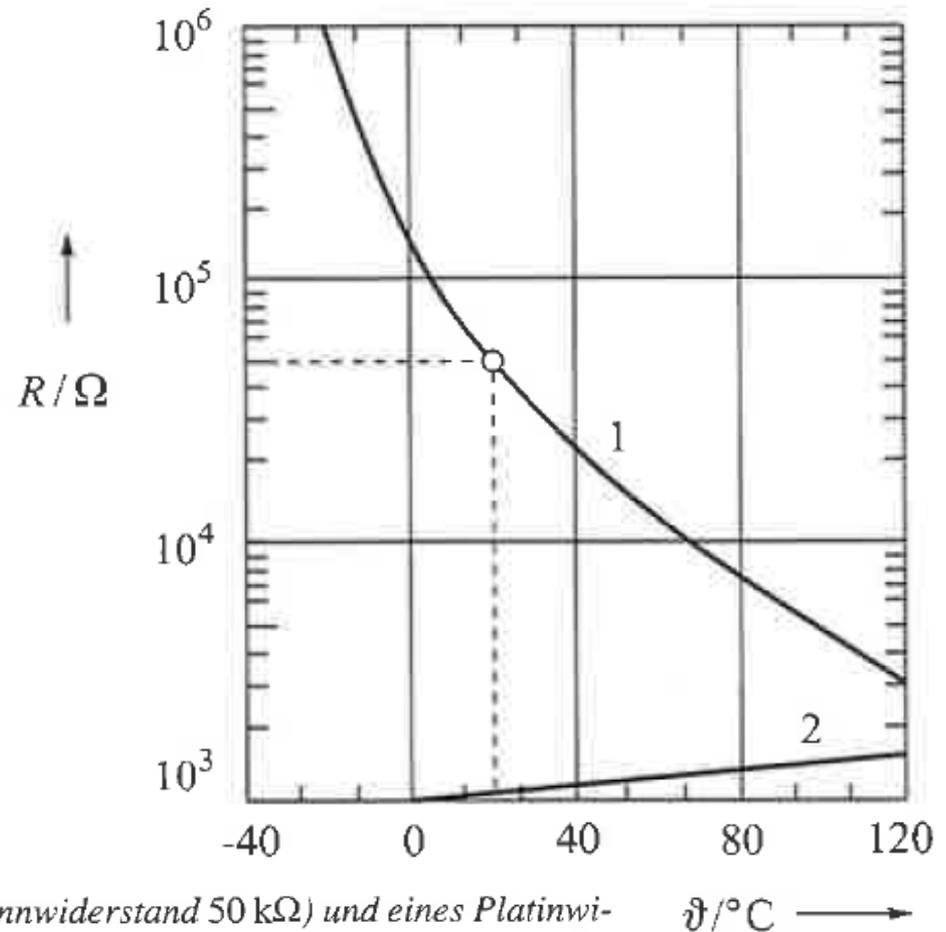


Bild 3.7 Widerstand eines Heißleiters 1 (Nennwiderstand $50 \text{ k}\Omega$) und eines Platinwiderstandsthermometers 2 (Nennwiderstand 1000Ω) in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ .

Kaltleiter – positive temperature coefficient (PTC) – resistor

- Sehr hoher T-Koeffizient
- Sehr empfindlich
- Schmalere Messbereich
- Punktförmige Messung
- Ungenau, große Streuung
- Einfache Überwachungsaufgaben

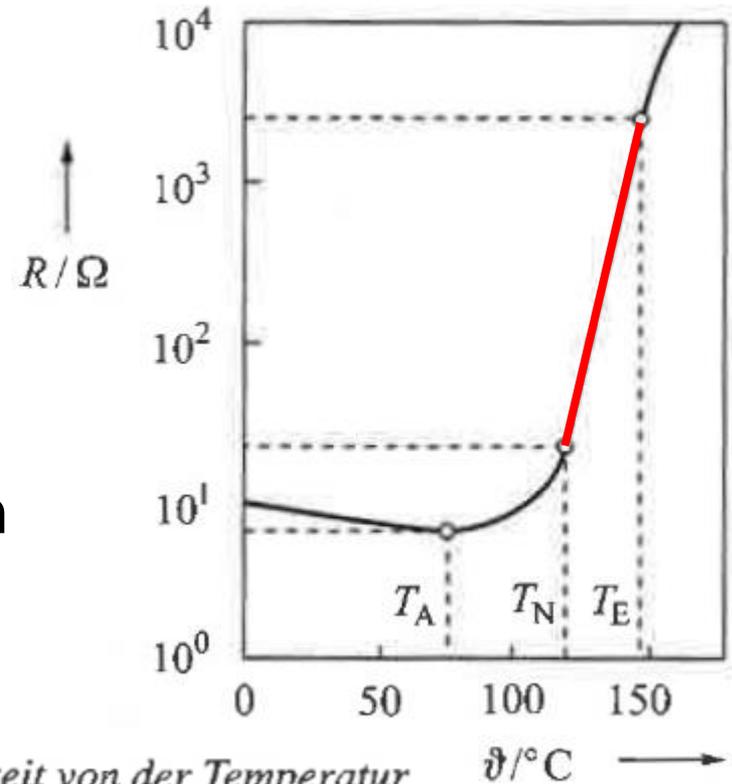


Bild 3.8 Widerstand eines Kaltleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

T_A Temperatur, bei der der Temperaturkoeffizient positiv wird

T_N Nenntemperatur, Beginn des steilen Widerstandsanstiegs

T_E Endtemperatur, Ende des steilen Widerstandsanstiegs

[Hoffmann, TB der MT]

Temperaturmessung im Silizium

Physikalische Effekte:

- Ausbreitungswiderstand bei Störstellenerschöpfung –
Beweglichkeit der Ladungsträgerpaare sinkt: $T \uparrow \Rightarrow R \uparrow$
- T-abhängigkeit des pn-Übergangs in einer Diode

$$I = I_S e^{e_0 U / kT} \quad U = \frac{k}{e_0} \left(\ln \frac{I}{I_S} \right) T$$

I_S ... Sättigungsstrom

k ... Boltzmannkonstante

e_0 ... Elementarladung

Beide bis ca. 150°C nutzbar

Si – Widerstands-Temperatursensor

Störstellenerschöpfung wird erreicht durch $d \ll D \rightarrow R = \frac{\rho}{2d}$

n -dotiertes Si, dotierungsabhängiger T-Koeffizient $\frac{d\rho}{dT}$

Hohe Genauigkeit

Symmetrische Ausführung: Polaritätsunabhängig, Kontaktierung nur von oben

Nicht exakt lineare KL: $R(T) = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$

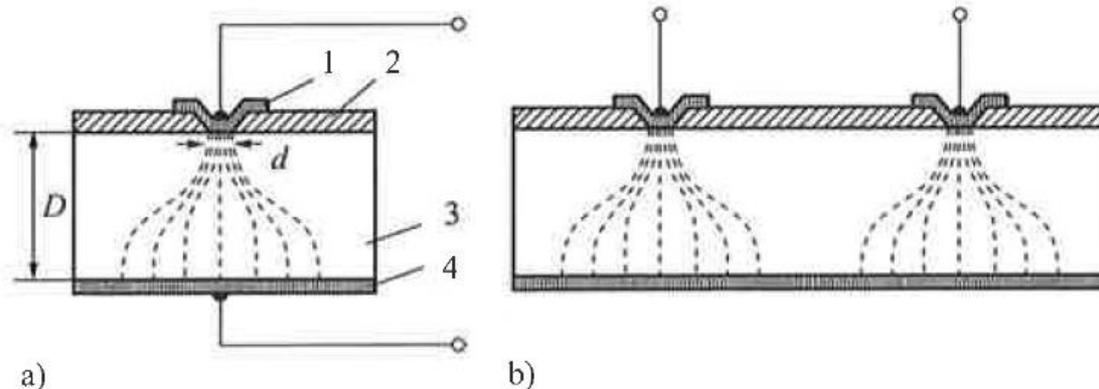


Bild 3.9 Silizium-Widerstandstemperatursensor

a) Ausführung mit einem spitzen Kontakt

b) Symmetrische Ausführung; 1, 4 Kontakt, 2 Passivierung mit Nitrid und Oxid, 3 Substrat

[Hoffmann, TB der MT]

Si – Sperrschicht-Temperatursensor

Transistor, Basis-Emitter Diode: $U = \frac{k}{e_0} \left(\ln \frac{I}{I_S} \right) T$

Konstantstromquelle $\rightarrow I$ einprägen \rightarrow streng lineare KL U/T

Sensor und Verstärker in einem Bauelement

Problem der starken Streuung von $I_S \rightarrow 2$ eng benachbarte Transistoren mit I_1 und I_2 betreiben, $I_{S1} \approx I_{S2}$ annehmen:

$$I_{S1} \approx I_{S2} : U_1 - U_2 = \frac{k}{e_0} \left(\ln \frac{I_1}{I_{S1}} - \ln \frac{I_2}{I_{S2}} \right) T = \frac{k}{e_0} \left(\ln \frac{I_1}{I_2} \right) T$$

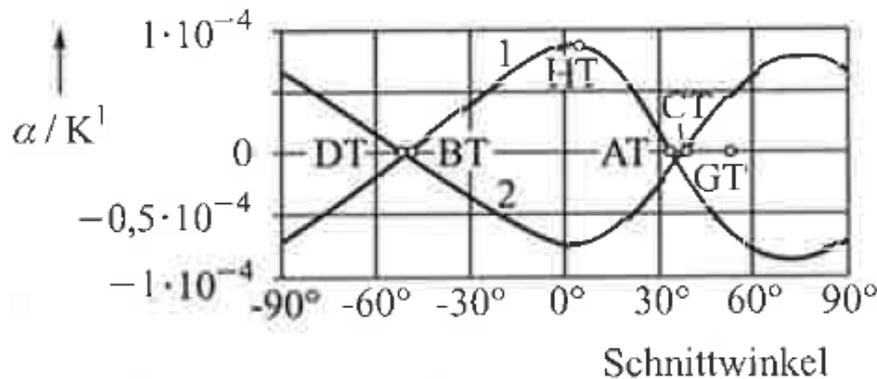
Quarztemperatursensor

Unterschiedliche Schnittwinkel \rightarrow kein (für Frequenzgeber) oder *hoher* Temperaturkoeffizient (für Temp-Sensor)

Frequenz sehr genau messbar \rightarrow gute Auflösung !

Signalverarbeitung: Frequenzmessung

$$f(T) = f_0 [1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3]$$



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.11 Linearer Temperaturkoeffizient α von Schwingquarzen in Abhängigkeit vom Schnittwinkel bei einer Temperatur von $25^\circ C$

1 Dicken-Scherschwinger, 2 Flächen-Scherschwinger

Faseroptisches Lumineszenzthermometer

Glasfaser, Lichtimpuls, lumineszierende Substanz wird angeregt

Messung von

- entweder T -abh. Wellenlänge des Lumineszenzlichtes, oder
- T -abh. Abklingzeit

Einsatz bis 300 °C

potentialfreie Übertragung

Messen bei hohen elektrischen Potentialen möglich

keine Störung durch elektromagnetische Felder

Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich

Strahlungsthermometer

Recap: Schwarzkörper, Spektrale spezifische Ausstrahlung
Planck'sches Gesetz, Wien'sches Verschiebungsgesetz

Stephan Boltzmann'sches Gesetz: Strahlungsdichte $W = \sigma T^4$
Achtung: 1) nichtlinear, 2) Emissionskoeffizienten beachten!

→ Methoden der berührungslosen Temperaturmessung:

Schwarze Membran absorbiert Strahlung → Erwärmung

- Thermospannung → Thermokette
 - Widerstandsänderung → Bolometer
 - Änderung der el. Polarisation → Pyrometer
- } → Empfindlichkeit
unabhängig von der Wellenlänge

Halbleiterdetektor → Strahlungspyrometer → wellenlängen-
abhängige Empfindlichkeit

Lichtquellen

Temperaturstrahler

- Schwarze Strahler
- Glühlampen
- Lichtbogen

Lumineszenzstrahler

- Leuchtstoffröhren
- LEDs
- Kohärente Quellen (Laser)

Schwarzer Strahler

Idealer Absorber

Ideale Strahlungsquelle

wellenlängenunabhängig

Absorptionskoeffizient = 1

Emissionskoeffizient = 1

$$\text{Plank'sches Strahlungsgesetz: } M_{e\lambda} = \frac{2\pi hc_0^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc_0/\lambda kT} - 1} \right)$$

h ... Plank'sches Wirkungsquant

c_0 ... Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

k ... Boltzmann-Konstante

$$\text{Wien'sches Verschiebungsgesetz: } \lambda_{max} T = const. = \frac{hc}{4,996 k} = 2,8971 \mu\text{m K}$$

Spektrale Verteilung der Schwarzkörperstrahlung

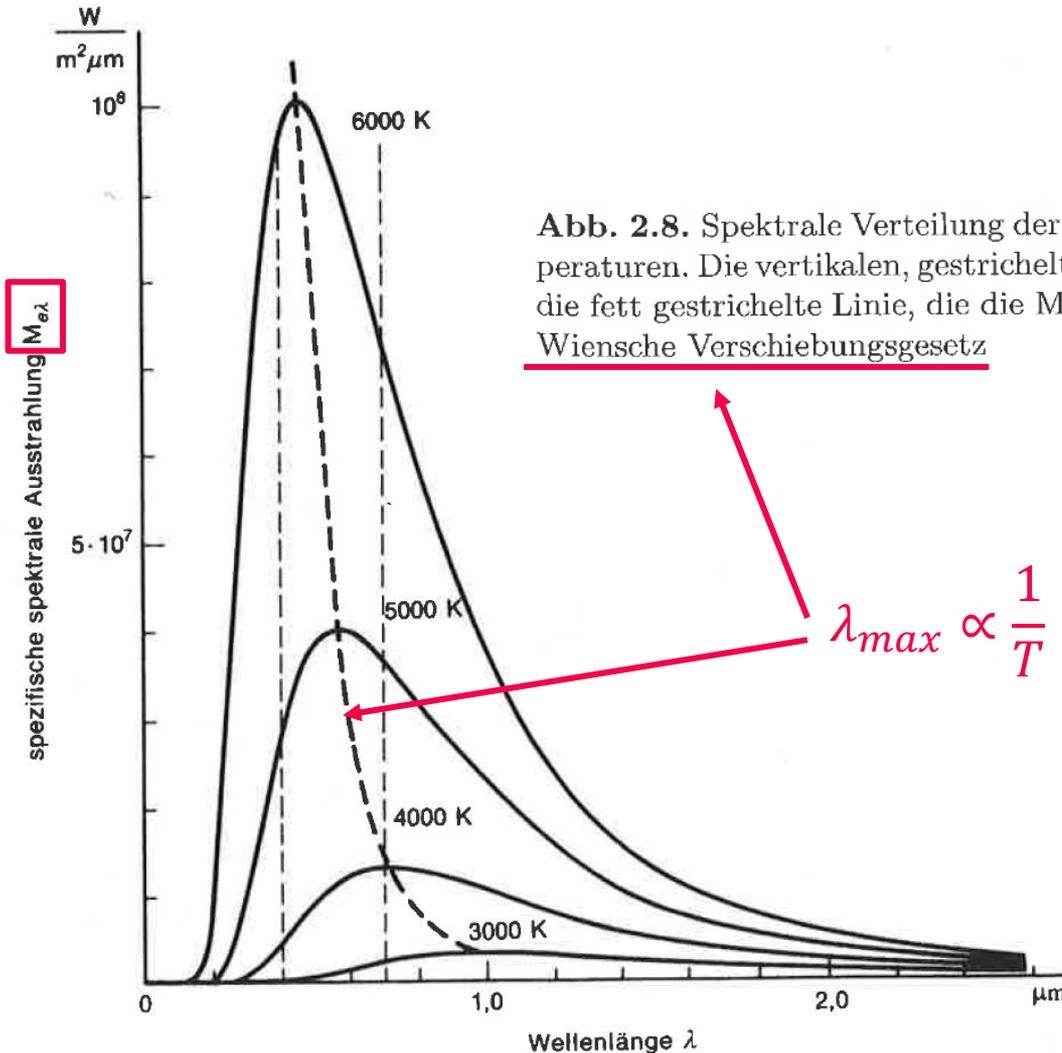


Abb. 2.8. Spektrale Verteilung der Schwarzkörperstrahlung für vier verschiedene Temperaturen. Die vertikalen, gestrichelten Linien kennzeichnen das sichtbare Spektrum und die fett gestrichelte Linie, die die Maxima der vier Kurven verbindet, kennzeichnet das Wiensche Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$$

[Pedrotti et al.,
Optik für Ingenieure]

Thermokette (“thermopile”)

Reihenschaltung von vielen Thermoelementen

Dünnschicht- oder Siliziumtechnologie

Membran (1) absorbiert Wärmestrahlung

n Elemente \rightarrow n-fache Empfindlichkeit

Spannung \propto absorbiertes Strahlung $\propto T$

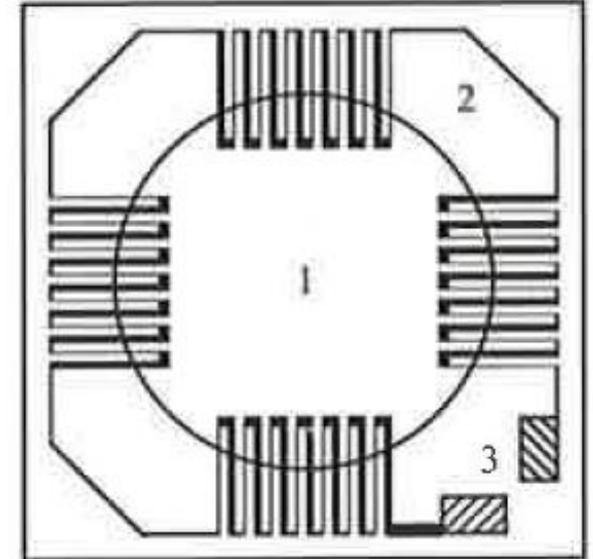
Bild 3.12 Prinzipschaltung einer Thermosäule

1 Membran mit heißen Kontaktstellen,

2 Substrat mit kalten Kontaktstellen,

3 Anschlusspunkte

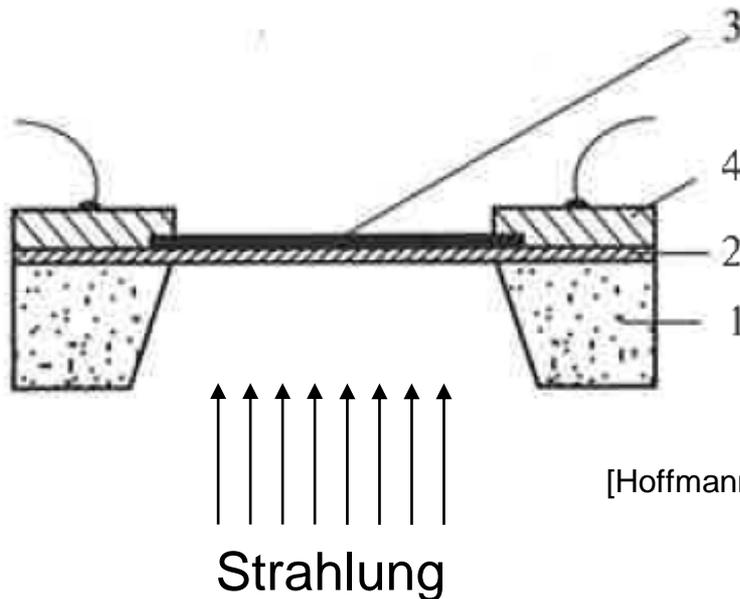
[Hoffmann, TB der MT]



Bolometer

Widerstandsschicht (3) auf dünner Membran (2)

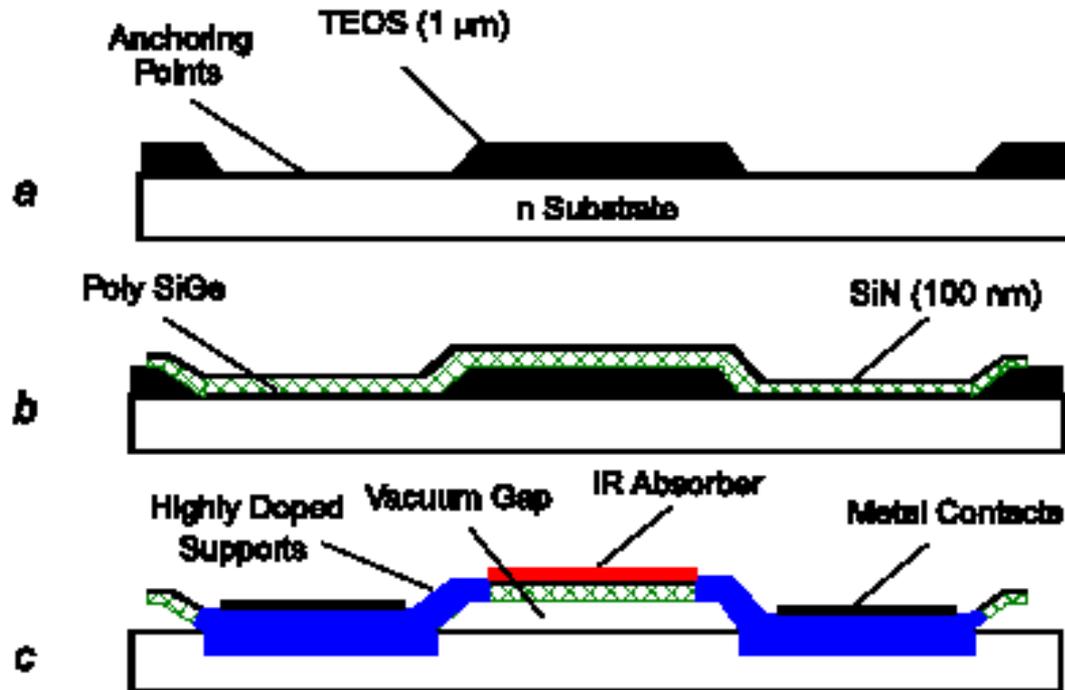
Widerstandsänderung \propto absorbierte Strahlung $\propto T$



*Bild 3.13 Prinzip eines Bolometers zum Nachweis einer thermischen Strahlung
1 Substrat, 2 Membran, 3 Widerstandsschicht, 4 Kontaktierung*

[Hoffmann, TB der MT]

Poly SiGe Bolometer → Bolometer-Arrays → Wärmebilder



[Sedky&Fiorini,
Poly SiGe Bolometers.
Vol. 1, Chapter 10
In Jähne (ed.), Handbook
of Computer Vision]

Figure 10.7: Process flow for the fabrication of poly SiGe bolometers (a, b, c are explained in the accompanying text; see Section 10.5.1).

Poly SiGe Bolometer (2)

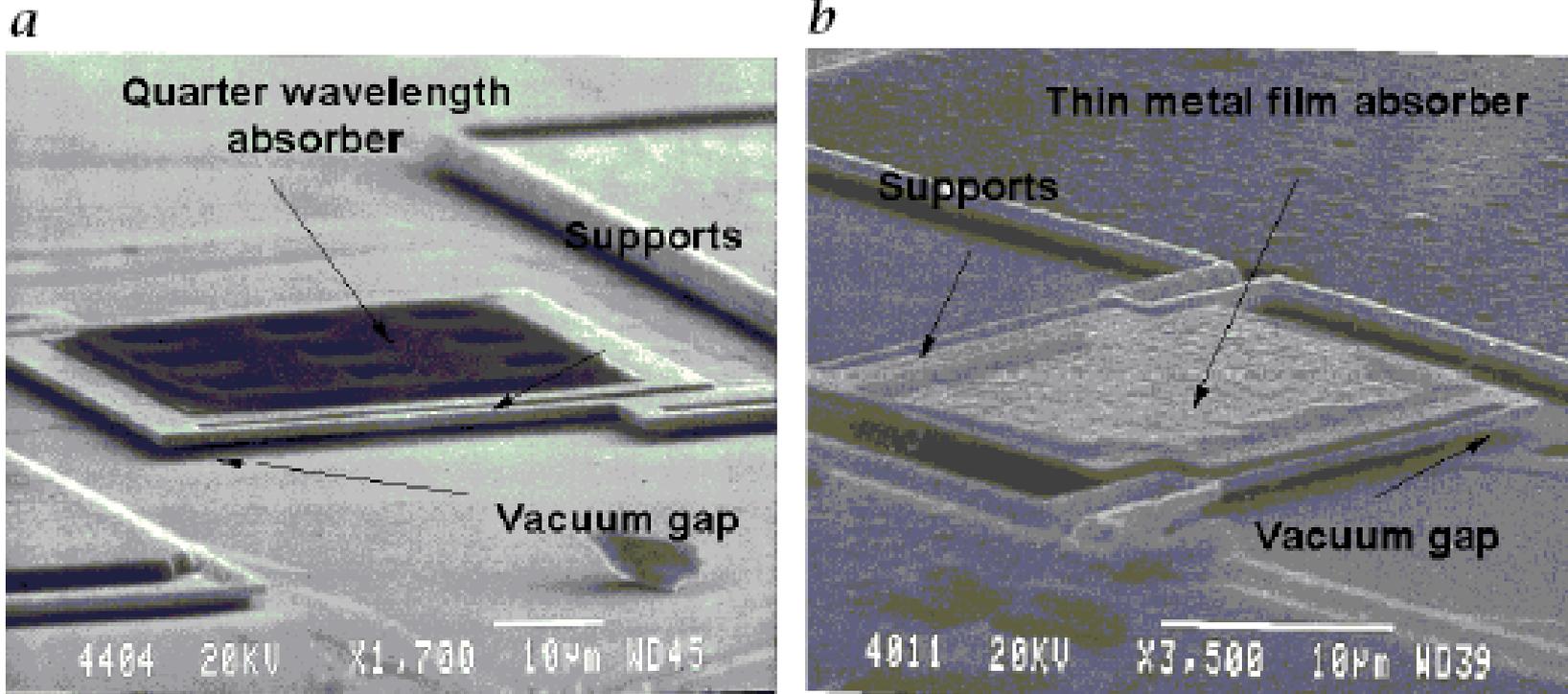


Figure 10.8: An SEM picture of poly SiGe bolometers: a $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ pixel, poly SiGe layer is $1\mu\text{m}$ thick and the supports are $1\mu\text{m}$ wide. b $25\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$ pixel, poly SiGe layer is $0.5\mu\text{m}$ thick and the supports are $0.6\mu\text{m}$ wide.

[Sedky&Fiorini, Poly SiGe Bolometers. Vol. 1, Chapter 10, In: Jähne (ed.), Handbook of Computer Vision]

Thermographie Kamera, Beispiel



FLIR ThermoVision A20 M (1)

160 x 120 pixel Mikrobolometer-Array

Spectral range: 7.5 – 13 μm (LW)

Praktische Aspekte im messtechn. Gebrauch

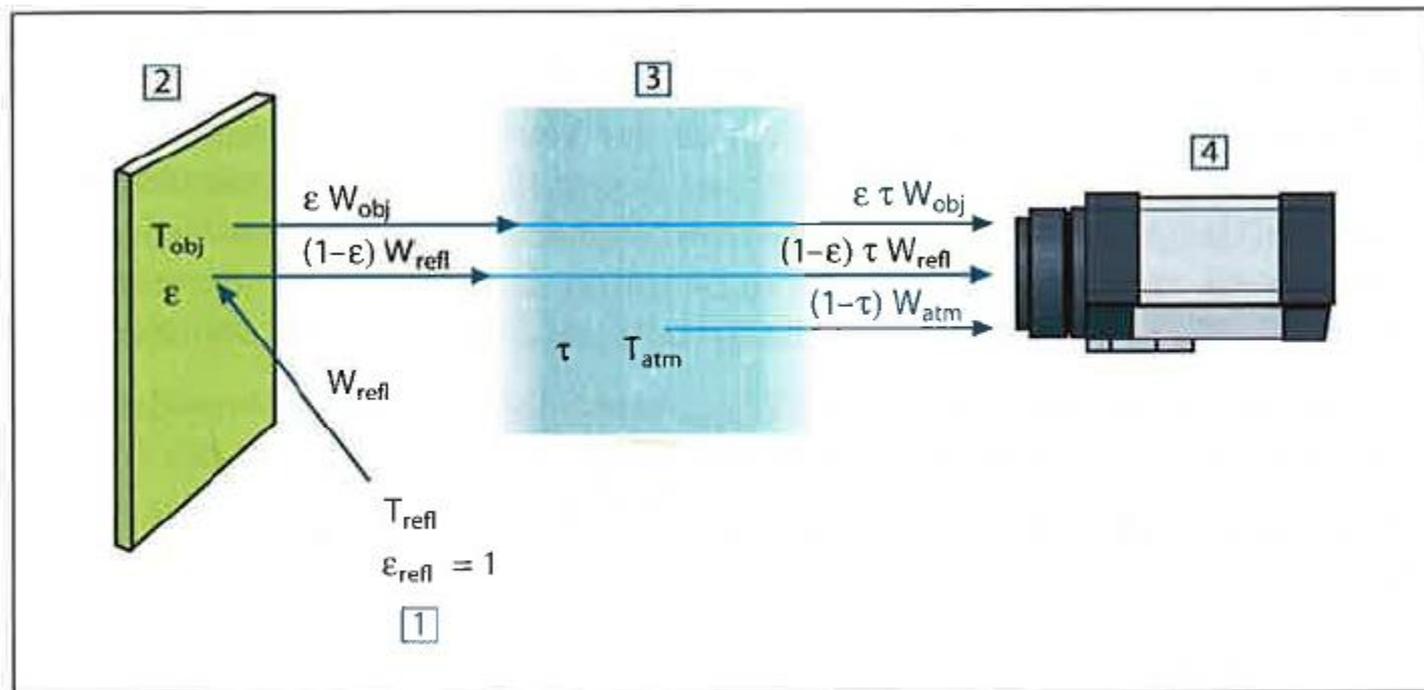


Abbildung 26.1 Schematische Darstellung der allgemeinen thermografischen Messsituation **1:** Umgebung; **2:** Objekt; **3:** Atmosphäre; **4:** Kamera

FLIR ThermoVision A20 M (2)

Praktische Aspekte im messtechn. Gebrauch

Emissionsgrad	0.96	
Emissionstabelle		
Abstand	2.0	m
Reflektierte Temp	20.0	°C
T Atmosphäre	20.0	°C
Rel. Feuchtigkeit	30	%
Externe Optik	Aus	
Transmission Optik	1.00	
Temperatur Optik	20.0	°C
Quelle Optiktemp.	Wert	

Abbildung 17.23 Das Dialogfeld Objektparameter

Emissionsgrad-Tabellen !

FLIR ThermoVision A20 M (3)

Praktische Aspekte im messtechn. Gebrauch

Spectral range: 7.5 – 13 μm (LW)

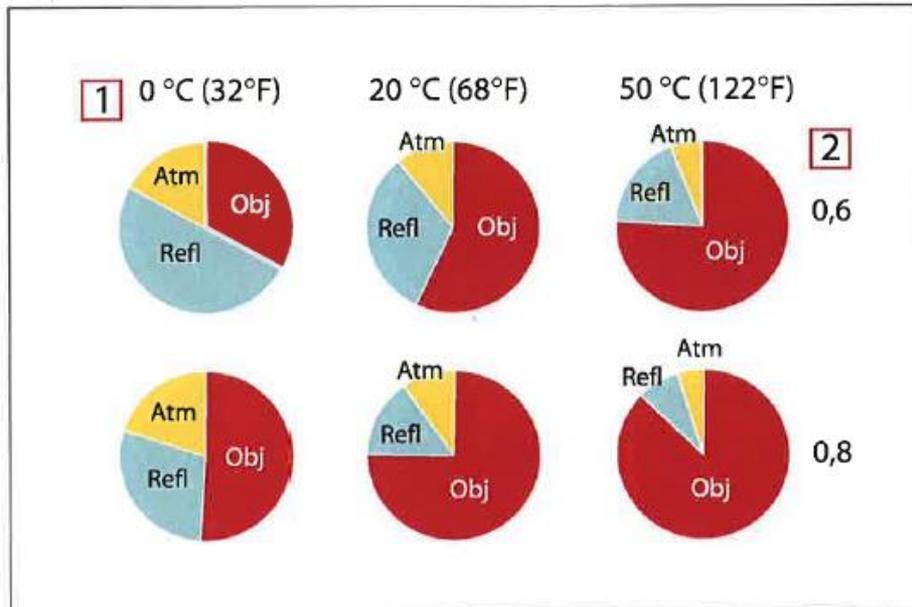


Abbildung 26.3 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (SW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20\text{ °C}$ (+68 °F); $T_{\text{atm}} = 20\text{ °C}$ (+68 °F).

SW

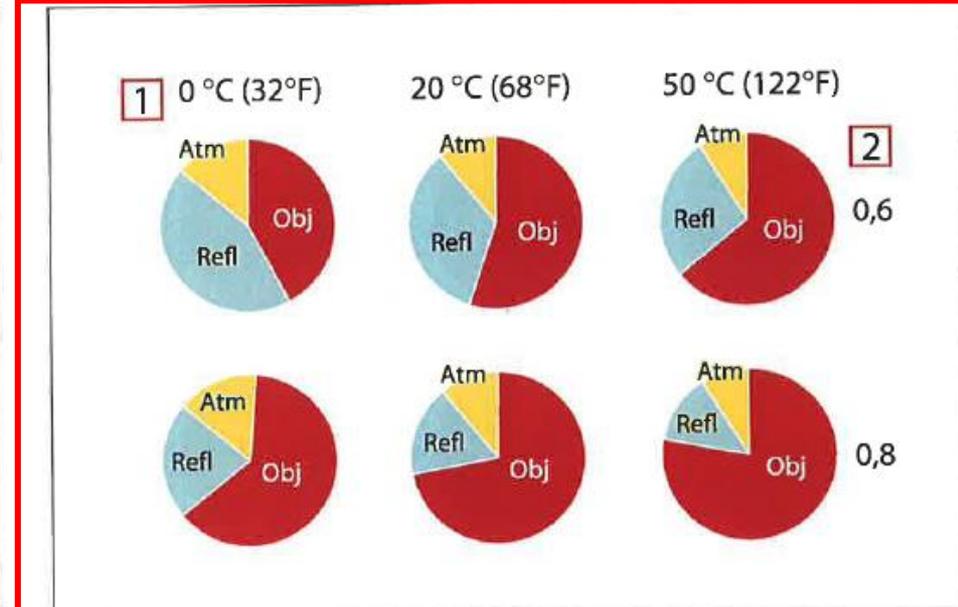


Abbildung 26.4 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (LW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20\text{ °C}$ (+68 °F); $T_{\text{atm}} = 20\text{ °C}$ (+68 °F).

LW

In diesem Abschnitt finden Sie eine Aufstellung von Emissionsdaten aus der Fachliteratur und eigenen Messungen von FLIR Systems.

27.1 Referenzen

1	Mikaél A. Bramson: <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> , Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R.P.: <i>Thermographic Instruments and Systems</i> . Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: <i>Handbook of Military Infrared Technology</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: <i>External thermography of buildings...</i> , Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London.
6	Paijak, Pettersson: <i>Thermography of Buildings</i> , Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J.: <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$</i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> , Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: <i>Emissionmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissionsmessungen mit AGEMA E-Box. Technischer Bericht, AGEMA 1999.)

27.2 Tabellen

Abbildung 27.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2 - 5 μm ; LW: 8 - 14 μm ; LLW: 6,5 - 20 μm ; 1: Werkstoff; 2: Spezifikation; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz

1	2	3	4	5	6
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	LW	0,03-0,06	9
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	SW	0,05-0,08	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	LW	0,97	9

!!!

Thermographie **benötigt**
Expertenwissen

Anzeige/Ergebnisse immer
kritisch hinterfragen!



1	2	3	4	5	6
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	SW	0,61	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	LW	0,95	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	SW	0,67	9
Aluminium	eloxiertes Blech	100	T	0,55	2
Aluminium	Folie	27	3 µm	0,09	3
Aluminium	Folie	27	10 µm	0,04	3
Aluminium	geraut	27	3 µm	0,28	3
Aluminium	geraut	27	10 µm	0,18	3
Aluminium	Guss, sandgestrahit	70	LW	0,46	9
Aluminium	Guss, sandgestrahit	70	SW	0,47	9
Aluminium	in HNO ₃ getaucht, Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	poliert	50-100	T	0,04-0,06	1
Aluminium	poliert, Blech	100	T	0,05	2
Aluminium	polierte Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	raue Oberfläche	20-50	T	0,06-0,07	1
Aluminium	stark oxidiert	50-500	T	0,2-0,3	1
Aluminium	stark verwittert	17	SW	0,83-0,94	5
Aluminium	unverändert, Blech	100	T	0,09	2



1	2	3	4	5	6
Aluminiumoxid	aktiviert, Pulver		T	0,46	1
Aluminiumoxid	rein, Pulver (Aluminiumoxid)		T	0,16	1
Asbest	Bodenfliesen	35	SW	0,94	7
Asbest	Brett	20	T	0,96	1
Asbest	Gewerbe		T	0,78	1
Asbest	Papier	40-400	T	0,93-0,95	1
Asbest	Pulver		T	0,40-0,60	1
Asbest	Ziegel	20	T	0,96	1
Asphaltstraßenbelag		4	LLW	0,967	8
Beton		20	T	0,92	2
Beton	Gehweg	5	LLW	0,974	8
Beton	rau	17	SW	0,97	5
Beton	trocken	36	SW	0,95	7
Blech	glänzend	20-50	T	0,04-0,06	1
Blech	Weißblech	100	T	0,07	2
Blei	glänzend	250	T	0,08	1
Blei	nicht oxidiert, poliert	100	T	0,05	4
Blei	oxidiert, grau	20	T	0,28	1
Blei	oxidiert, grau	22	T	0,28	4
Blei	oxidiert bei 200 °C	200	T	0,63	1
				0,93	4
				0,93	1
Bronze	Phosphorbronze	70	LW	0,06	9
Bronze	Phosphorbronze	70	SW	0,08	9
Bronze	poliert	50	T	0,1	1
Bronze	porös, rau	50-150	T	0,55	1

Emissionsgrad für menschliche Haut: $\epsilon = 0.97$

Pyroelektrischer T-Sensor (1)

Physikalischer Effekt: Pyroelektrischer Effekt

Piezoelektrische thermische Detektoren. Polarisation mancher dielektrischer Körper ändert sich bei T-Änderungen (dynamischer Vorgang!) $\rightarrow \Delta U$

Pyroelektrisches Plättchen, ΔT , Ladungsschwerpunkte verschieben sich $\rightarrow \Delta Q$, Spannung ΔU an der Sensorkapazität C_q

Pyroelektrischer T-Sensor (2)

Aufbau und Empfindlichkeit:

$$\Delta Q = k_Q A \Delta T$$

A ... Fläche d. Plättchens

k_Q ... Ladungsempfindlichkeit (As/Km²)

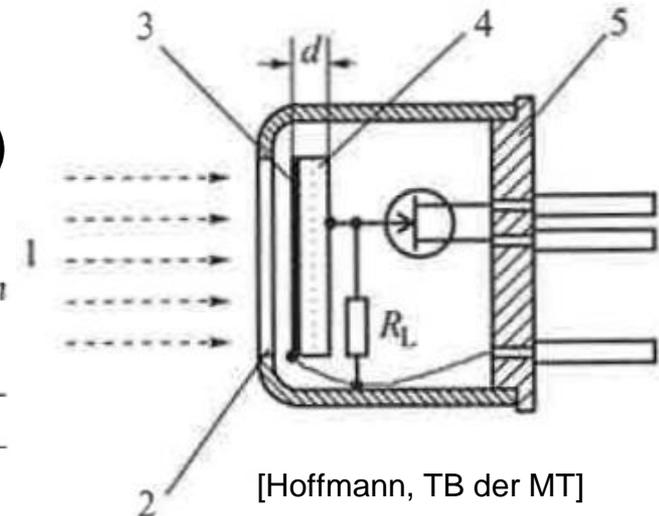
$$\Delta U = k_U d \Delta T$$

d ... Dicke d. Plättchens

k_U ... Spannungsempfindlichkeit (V/Km)

Bild 3.14 Aufbau eines pyroelektrischen Infrarotsensors

1 Infrarotstrahlung, 2 infrarotdurchlässiges Fenster, 3 Absorber, 4 pyroelektrisches Material, 5 Transistorgehäuse



[Hoffmann, TB der MT]

Pyroelektrischer T-Sensor (3)

Zeitverhalten:

Erwärmung: $\tau_1 = R_{th} C_{th}$

C_{th} ... Wärmekapazität, R_{th} ... Wärmewiderstand

Entladung: $\tau_2 = R_L C_q$

C_q ... Kapazität d. Sensors, R_L ... Lastwiderstand

Sprungantwort: $U(t) = k (e^{-t/\tau_2} - e^{-t/\tau_1})$

Pyroelektrischer T-Sensor – Zeitverhalten

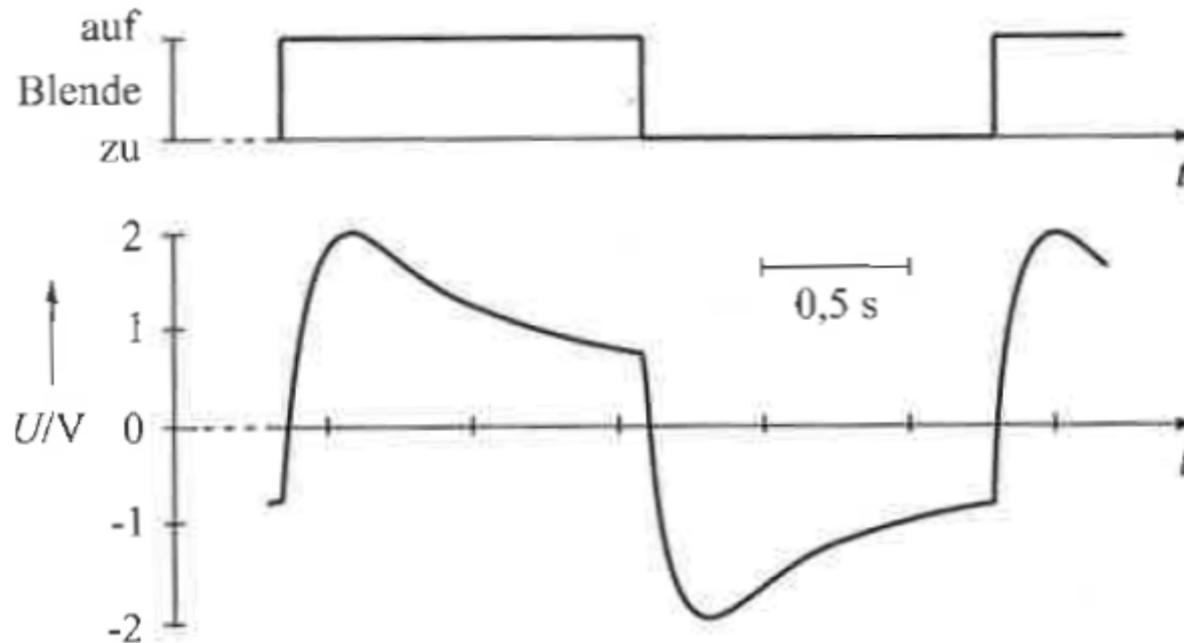


Bild 3.15 Signal eines zyklisch bestrahlten pyroelektrischen Infrarotsensors; bei offener Blende sieht der Detektor die infrarote Strahlung einer Wärmequelle, bei geschlossener die der Blende. Im Gleichgewichtszustand sind die Amplituden (Temperaturdifferenzen) beim Öffnen und Schließen der Blende gleich groß.

[Hoffmann, TB der MT]

Pyroelektrischer T-Sensor – Anwendungen

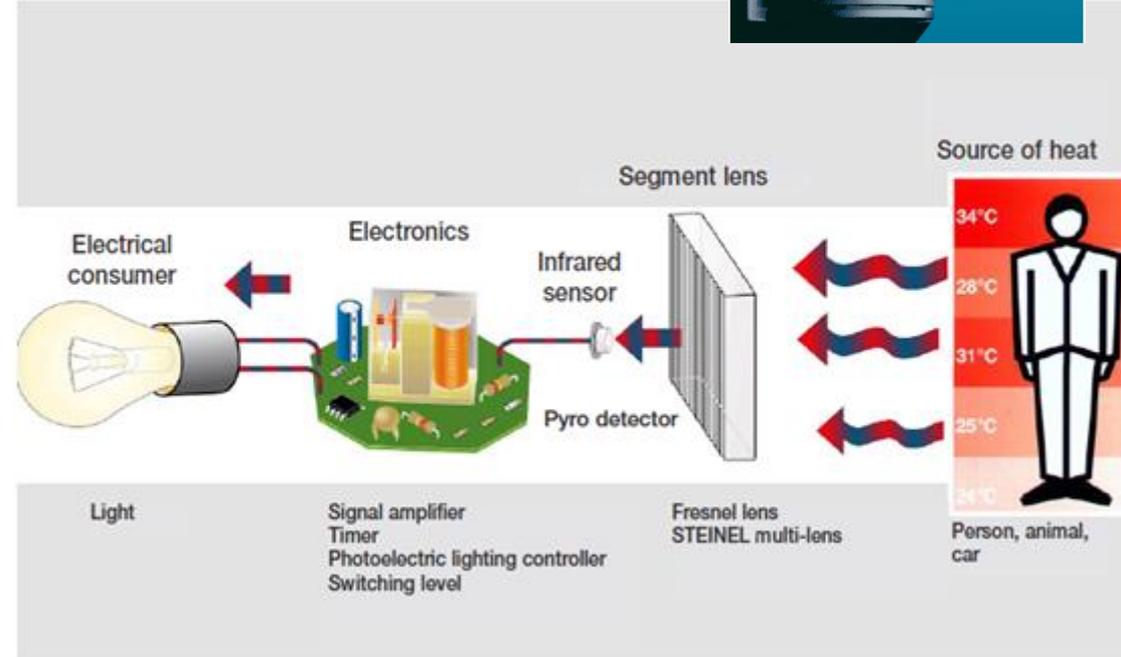
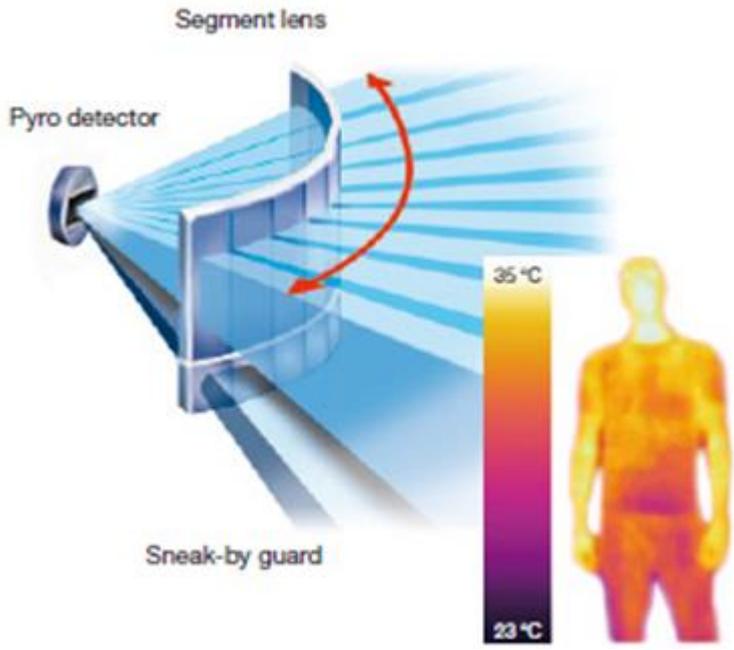
Zusammenfassung:

- berührungslos, Wärmestrahlung
- Empfindlichkeit unabhängig von Wellenlänge
- nur Strahlungsänderungen (evtl. chopper, Gitter, Fresnel-Linse)

Brandmelder, Einbruchmelder

Bewegungsdetektor

Pyroelektrischer Bewegungsmelder

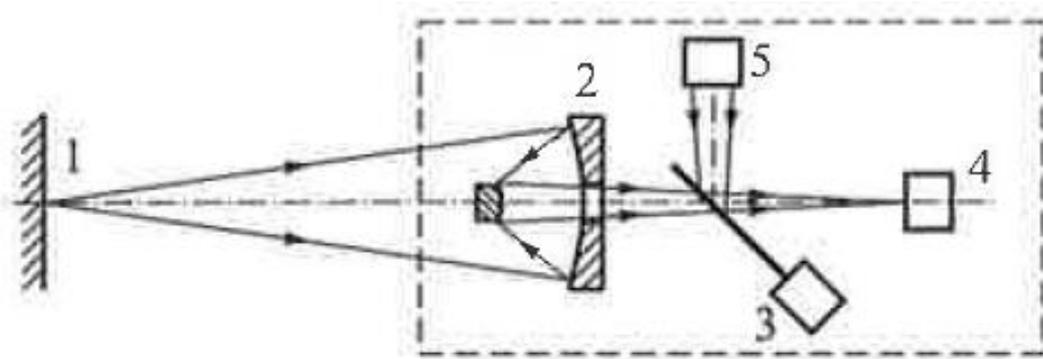


<https://pirtechnology.wordpress.com/>

PIR sensor – Passive Infrared sensor

Strahlungspyrometer

Aufbau:



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.16 Messkopf eines Infrarotpyrometers

1 Messobjekt, 2 Optik, 3 Schwingmodulator, 4 Strahlungssensor, 5 Vergleichsstrahler

Strahlungssensor im Pyrometer

Glühende Körper, Emission von sichtbarem Licht →
Fotodioden, Empfindlichkeit abhängig von Wellenlänge

geringeres T, kein Glühen → pyroelektrische Sensoren,
Thermosäulen, Bolometer (alle unabh. von Wellenlänge)

niedrige T → gekühlte **Halbleiterdetektoren**, Empfindlichkeit
abhängig von Wellenlänge

Strahlungsthermometer vs. Berührungsthermometer

- Temperaturfeld wird nicht verfälscht
- Sehr hohe Objekttemperaturen nur berührungslos messbar
- geringere Zeitkonstante → schnell!
- Messungen an bewegten oder schwer zugänglichen Objekten
- Aber: Berührungsthermometer sind genauer und billiger