

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2. Temperatursensoren

2.1 Messbereich der verschiedenen Thermometerarten





Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.1.1 Einführung

Temperaturumrechnungen

Gesucht	Gegeben				
	Temperatur in K	°C	°F	°R	°Ré
K	x	$K = °C + 273,15$	$K = 5/9 (°F + 459,67)$	$K = 5/9 °R$	$K = 5/4 °Ré + 273,15$
°C	$°C = K - 273,15$	x	$°C = 5/9 (°F - 32)$	$°C = 5/9 °R - 273,15$	$°C = 5/4 °Ré$
°F	$°F = 9/5 K - 459,67$	$°F = 9/5 °C + 32$	x	$°F = °R - 459,67$	$°F = 9/4 °Ré + 32$
°R	$°R = 9/5 K$	$°R = 9/5 °C + 491,68$	$°R = °F + 459,67$	x	$°R = 9/4 °Ré + 491,68$
°Ré	$°Ré = 4/5 K - 218,52$	$°Ré = 4/5 °C$	$°Ré = 4/9 (°F - 32)$	$°Ré = 4/9 °R - 218,52$	x

Fundamentalfpunkte der thermodynamischen Temperaturskalen

Name	Symbol	Temperaturwert am absoluten Nullpunkt	Tripelpunkt des Wassers
Kelvin	K	0	273,16
Grad Celcius	°C	-273,15	0,01
Grad Fahrenheit	°F	-459,67	32,01
Grad Rankine	°R	0	491,68
Grad Réaumur	°Ré	-218,52	0

2.1.2 Besondere Temperaturmessverfahren

Meßverfahren	Temperaturbereich in °C	Fehlergrenzen	Besonderheiten
1. Segerkegel	600 bis 2000	-	zeigen das Erreichen oder Überschreiten bestimmter Temperaturen an
2. Schmelzkörper	bis 1600	bis zu ± 7 grd	zeigen das Erreichen oder Überschreiten bestimmter Temperaturen an
3. Temperaturmeßfarben	40 bis 1350	-	zeigen das Erreichen oder Überschreiten bestimmter Temperaturen an; für die Untersuchung von Temperaturfeldern geeignet
4. Photothermometrie	ab 250	-	für die Untersuchung von Temperaturfeldern geeignet

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.1.3 Übersicht über die gängigen Temperaturmessgeräte

Meßgeräte	Temperaturbereich in °C	Fehlergrenzen	Besonderheiten	Fernmessung, Registrierung möglich?	Kann ein Anzeigegerät für mehrere Temperaturfühler verwendet werden?	
I. Berührungsthermometer						
1. Flüssigkeits-Gasthermometer						
a) mit nicht benetzender (metallischer) thermometrischer Flüssigkeit	(-58) -38 bis 630 (1000)	Eichfehlergrenzen s. Tab. 4 und 5, Fehlergrenzen von Betriebsthermometern s. DIN 16178 Blatt 1	keine Zusatzgeräte erforderlich	nein	nein	
b) mit benetzender (organischer) thermometrischer Flüssigkeit	-200 bis 210					
2. Flüssigkeitsfederthermometer	-35 bis 500	1 bis 2% des Anzeigebereiches	keine Zusatzgeräte erforderlich	ja	nein	
3. Dampfdruckfederthermometer	(-200) -50 bis 350 (700)	1 bis 2% der Skalenlänge	keine Zusatzgeräte erforderlich	ja	nein	
4. Stabausdehnungsthermometer	0 bis 1000	1 bis 2% des Anzeigebereiches	keine Zusatzgeräte erforderlich	nein	nein	
5. Bimetallthermometer	-50 bis 400	1 bis 3% des Anzeigebereiches	keine Zusatzgeräte erforderlich	Fernmessung nein Registrierung nein	nein	
6. Elektrische Thermometer						
a) Thermoelemente						
Cu-Konst	-200 bis 400 (600)	0,75% des Sollwertes der Temperatur mindestens jedoch 3 grd nach DIN 43710	vielseitig verwendbar; Anzeigegerät oder Kompensator erforderlich	ja	ja	
Fe-Konst	-200 bis 700 (900)					
NiCr-Ni	0 bis 1000 (1300)					
PtRh-Pt	0 bis 1300 (1600)	0,5% des Sollwertes der Temperatur mindestens jedoch 3 grd nach DIN 43710		ja	ja	
PtRh30-PtRh6	0 bis 1500 (1800)					
b) Widerstandsthermometer						
Pt-Widerstandsthermometer						
	(-250) -220 bis 850 (1000)	0,3 bis 5 grd je nach Temperatur (nach DIN 43760)	vielseitig verwendbar; Anzeigegerät, Meßbrücke oder Kompensator erforderlich	ja	ja	
Ni-Widerstandsthermometer						
	-60 bis 150 (180)	0,2 bis 2,1 grd je nach Temperatur (nach DIN 43760)		ja	ja	
Halbleiter-Widerstandsthermometer						
1. Heißleiter-Widerstandsthermometer						
	(-100) -40 bis 180 (400)	0,5 bis 1,5 grd je nach Temperatur		ja	ja	
2. Kaltleiter-Widerstandsthermometer						
	40 bis 270					
II. Strahlungspyrometer						
1. Strahllichtpyrometer						
a) Spektralpyrometer						
	650 bis 3500 (5000)	1 bis 35 grd	geringe Anzeigeverzögerung;	subjektiv nein	subjektiv nein	
b) Bandstrahlungspyrometer						
	(50) 500 bis 2000	1 bis 1,5% des		objektiv	objektiv	
c) Gesamtstrahlungspyrometer						
	-40 bis 2000 (3000)	Meßbereichendwertes	es werden vorwiegend Oberflächentemperaturen gemessen	ja	ja	
2. Verteilungspyrometer (Farbpyrometer)						
a) Farbgleichpyrometer						
	1150 bis 1800 (2000)	10 bis 25 grd		nein	nein	
b) Verhältnispyrometer						
	(200) 700 bis 2200	1 bis 1,5% des Meßbereichendwertes		ja	ja	



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.2 Mechanische Temperaturmessgeräte

WIKA Datenblatt IN 00.07

2.2.1 Allgemeines

Die Temperatur ist ein Maß für den Wärmezustand eines homogenen Stoffes, also ein Maß für die mittlere Bewegungsenergie seiner Moleküle. Ein enger thermischer Kontakt zweier Körper ist notwendig, damit diese die gleiche Temperatur annehmen (Temperaturausgleich). Der zu messende Körper ist so eng wie möglich mit dem Temperaturfühlersystem in Verbindung zu bringen. Die bekanntesten Temperaturmessverfahren beruhen auf Stoff- oder Körpereigenschaften, die sich mit der Temperatur ändern. Wir fertigen Temperaturmessgeräte nach folgenden Messprinzipien:

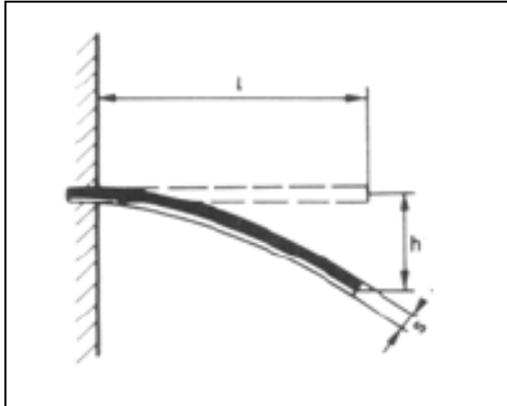
2.2.2 Bimetall-Thermometer

Ein Streifen aus zwei untrennbar aufeinandergewalzten Blechen aus Metallen verschiedener Ausdehnungskoeffizienten („Bimetall“) krümmt sich bei Temperaturänderung. Die Krümmung ist annähernd proportional der Temperaturänderung. Aus den Bimetallstreifen wurden zwei verschiedene Messsystemformen entwickelt: Schraubenfeder Spiralfeder Durch mechanische Verformung der Bimetallstreifen in vorgenannte Federformen entsteht bei Temperaturänderung eine Drehbewegung. Wird das eine Ende der Bimetallmesssysteme fest eingespannt, dreht das andere Ende die Zeigerwelle.

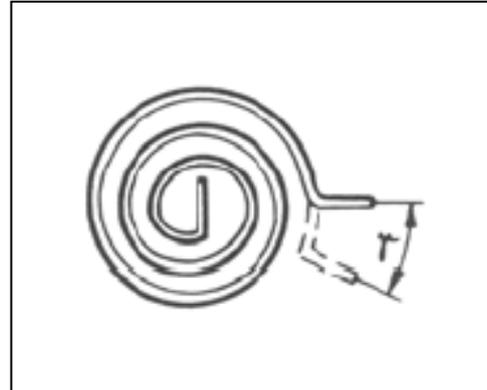
Die Anzeigebereiche liegen zwischen -70 °C und $+600\text{ °C}$ bei Genauigkeiten Klasse 1 und 2 nach EN 13 190.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Bandfeder



Flachspiralfeder



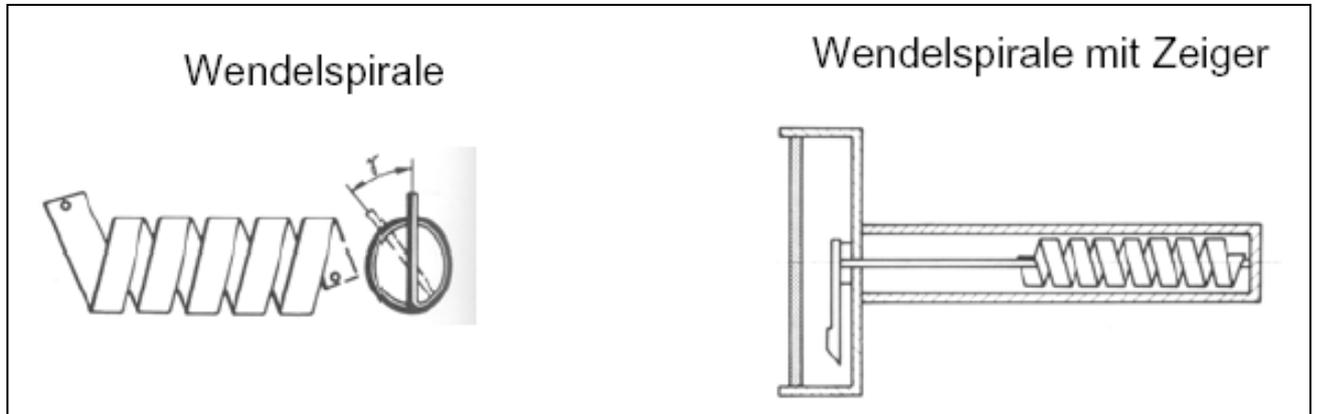
Anwendungen

- Maschinen-, Anlagen-, Behälter- und Apparatebau
- Gebäudeautomation
- Mit Flüssigkeitsdämpfung auch bei extremen Vibrationen geeignet
- Kombi-Bimetall-Thermometer, Twin-Temp mit lokaler Anzeige und elektrischem Ausgangssignal

Leistungsmerkmale

- Universell einsetzbar
- Gehäuse und Tauchschaft aus CrNi-Stahl
- Bimetall mit Nullpunktverstellung auf Gehäuserückseite
- Twin-Temp: Zwei unabhängige Messsysteme in einem
- Gerät (Bimetall und Pt100)
- Zulassung Germanischer Lloyd (in Verbindung mit Flüssigkeitsdämpfung, Ausführung axial oder radial)

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Funktionsweisen

2.2.3 Tensions-Thermometer

Die Messwerterfassung erfolgt über das flüssigkeitsgefüllte Messsystem, das aus Temperaturfühler, Kapillarleitung und Bourdonfeder besteht. Alle drei Systeme stellen ein geschlossenes Rohrsystem dar. Der Innendruck in diesem System ändert sich mit der anliegenden Temperatur. Dadurch wird die mit der Feder verbundene Zeigerachse gedreht und der Temperaturwert auf der Skala angezeigt. Die Fernleitung, mit Längen zwischen 500 mm und 10000 mm, ermöglicht Messungen auch an entfernten Messstellen.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen -40 °C und $+400\text{ °C}$ bei Genauigkeiten Klasse 1 und 2 nach EN 13 190.

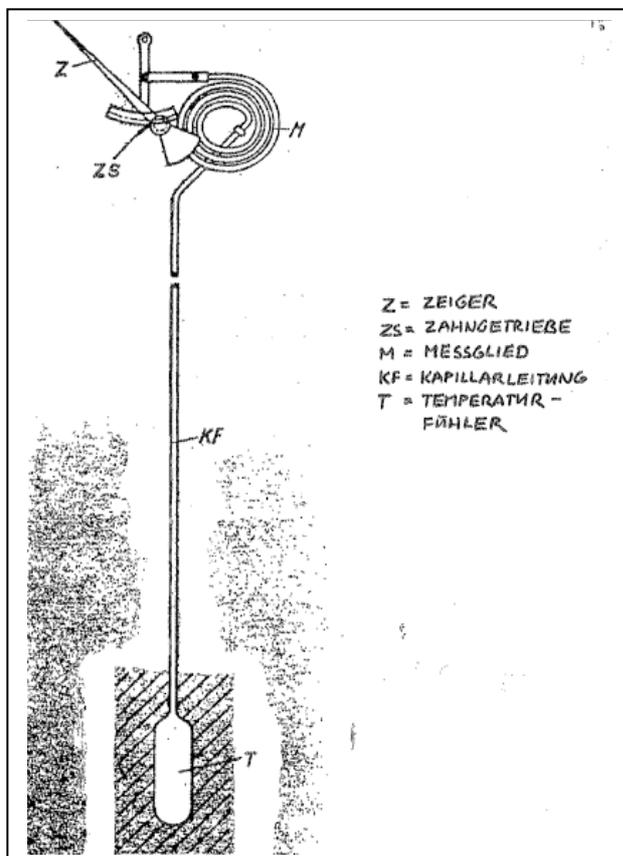


Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.2.4 Gasdruck-Thermometer, mit oder ohne Fernleitung

Das Messsystem besteht aus Tauchschaft, Kapillarleitung und Rohrfeder im Gehäuse. Diese Teile sind zu einer Einheit verbunden. Das komplette Messsystem ist unter Druck mit einem inerten Gas gefüllt. Eine Temperaturänderung bewirkt im Tauchschaft eine Veränderung des Innendruckes. Der Druck verformt die Messfeder, deren Auslenkung über ein Zeigerwerk auf den Zeiger übertragen wird. Schwankungen der Umgebungstemperatur auf das Gehäuse können vernachlässigt werden, da zwischen dem Zeigerwerk und der Messfeder ein Bimetallelement zur Kompensation eingebaut ist.

Die Anzeigebereiche liegen zwischen -200 °C und $+700\text{ °C}$ bei Genauigkeit Klasse 1 nach EN 13 190.



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.2.5 Maschinen-Glastermometer

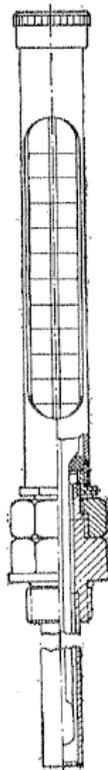
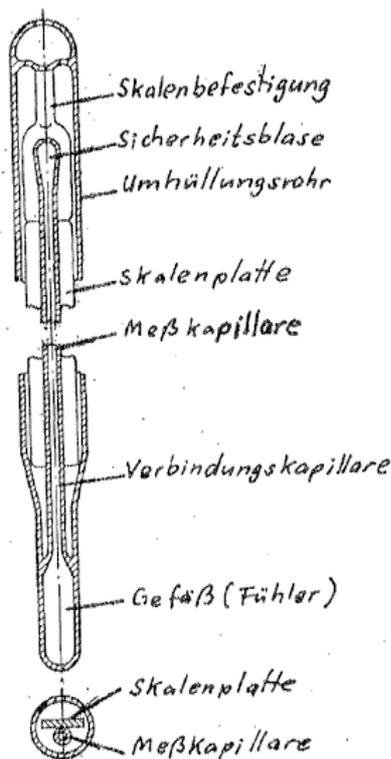


Anwendungen

- _ Universell einsetzbar
- _ Maschinenbau
- _ Behälterbau
- _ Zentral- und Großheizungsanlagen
- _ Anlagenbau

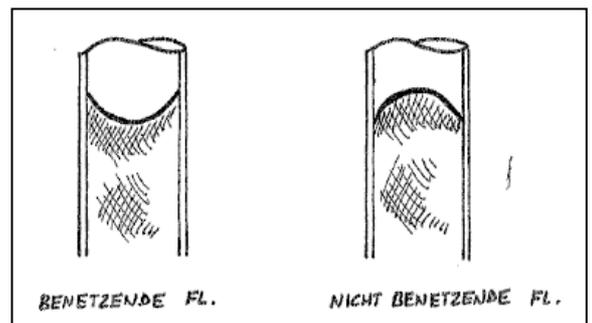
Besonderheiten

- _ Unempfindlich gegen Vibrationen
- _ Ungiftige thermometrische Flüssigkeit
- _ Messbereiche bis $-60 \dots 200 \text{ } ^\circ\text{C}$



Thermometerfüllungen

sich wie folgt:

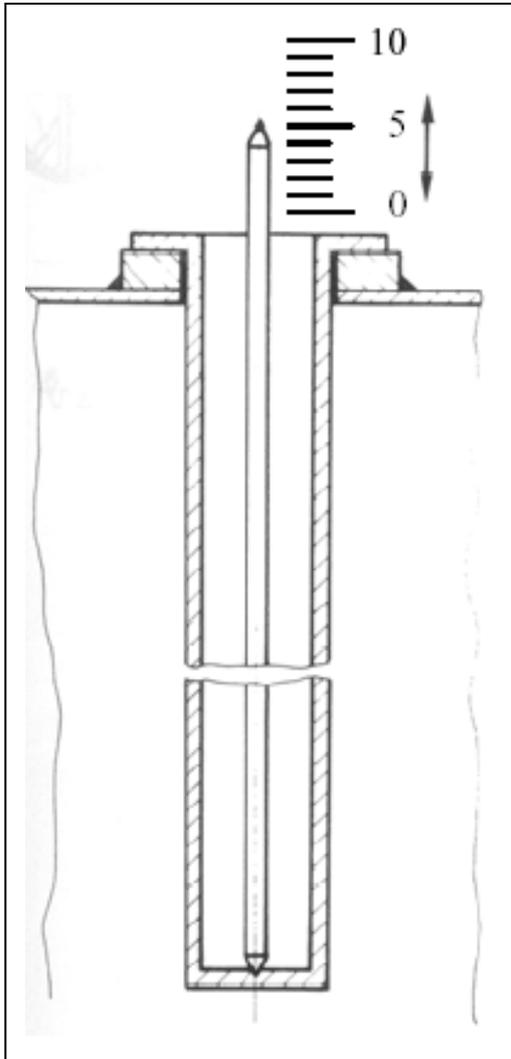


-	Benetzende Flüssigkeiten	
	Pentangemisch	$-200 \dots +20 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Alkohol	$-110 \dots +50 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Toluol	$-90 \dots +100 \text{ } ^\circ\text{C}$
-	Nicht benetzende Flüssigkeiten	
	Quecksilber-Thallium	$-58 \dots +30 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Quecksilber	$-38 \dots +630 \text{ } ^\circ\text{C}$

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

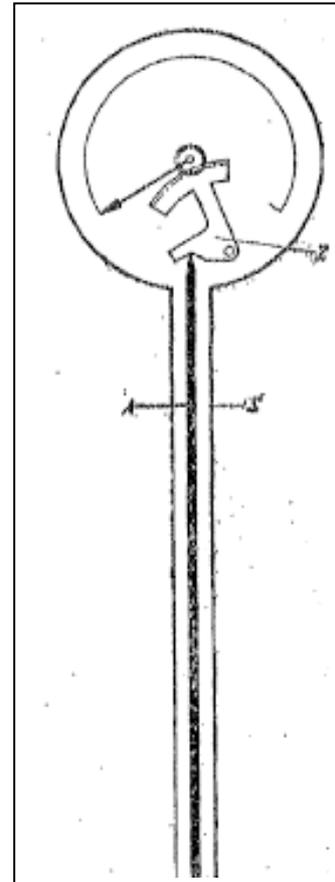
2.2.6 Stabausdehnungsthermometer



mit l_0 , und l_ϑ als Längen im ursprünglichen Zustand (bei $0\text{ }^\circ\text{C}$) und bei der Temperatur ϑ ($^\circ\text{C}$).
 α ist der lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha = f(T)$; α ist nicht konstant über der Temperatur !

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta \vartheta$$

$$l_\vartheta = l_0 (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$



Längenausdehnungskoeffizient	
Material	α in $10^{-6} /\text{K}$
Aluminium	24,0
Invar	1,5
Messing	18,4
Polyamid	110

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.3 Elektrische Berührungsthermometer

2.3.1 Widerstandsthermometer

2.3.1.1 Der Messeffekt

Metalle und Halbleiter ändern unter dem Einfluss einer Temperatur ihren elektrischen Widerstand. Damit wird die Temperaturmessung auf eine Messung des elektrischen Widerstands zurückgeführt.

2.3.1.2 Wirkungsweise

Bei Metallen steigt der elektrische Widerstand mit der Temperatur fast linear an, die Beschreibung der Kennlinie erfolgt durch die Beziehung

$$R_T = R_0 [1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2].$$

Dabei bedeuten R_T den Widerstand bei der Temperatur T , R_0 den Widerstand bei der Vergleichstemperatur T_0 , A und B sind Materialkonstanten und betragen bei $T_0 = 0\text{ °C}$ für Platin in einem Bereich von 0 bis 600 °C:

$$A = 3,911 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \quad B = -0,588 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-2}.$$

Nickeln einem Bereich von 0 bis 200 °C:

$$A = 5,43 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \quad B = +7,85 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2},$$

Für kleine Temperaturmessbereiche ist es in der Praxis oft ausreichend, die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen durch den mittleren Temperaturbeiwert α zwischen 0 und 100 °C zu beschreiben.

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)].$$

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Jetzt bedeuten R_0 den Widerstand bei der Temperatur $t_0 = 0\text{ °C}$ und R_T den Widerstand bei der Messtemperatur t_0 . Für den mittleren Temperaturbeiwert α erhält man bei

Platin $\alpha = 3,86 \cdot 10^{-3}$ bis $3,92 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$,
 Nickel $\alpha = 6,17 \cdot 10^{-3}$ bis $6,76 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$,
 Kupfer $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$ bis $4,33 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Diese Temperaturbeiwerte sind vom Reinheitsgrad des jeweiligen Metalls abhängig. Die Widerstandsänderung ist nicht über den ganzen Temperaturbereich konstant. Für ferromagnetische Metalle (Nickel, Kobalt, Eisen) liegen die Werte höher als für andere Metalle. Als Faustformel kann man aber sagen:

Platin: Pro Grad (Kelvin) Temperaturänderung ändert sich der Materialwiderstand des Platins um 0,385 Ohm.

$$\Delta R \approx 0,385 \text{ } \Omega/\text{K}$$

Nickel: Pro Grad (Kelvin) Temperaturänderung ändert sich der Materialwiderstand des Nickels um 0,617 Ohm

$$\Delta R \approx 0,617 \text{ } \Omega/\text{K}$$

Halbleiterwiderstände

Neben den beschriebenen Metallwiderständen werden auch Halbleiter NTC- und PTC.-Widerstände eingesetzt.

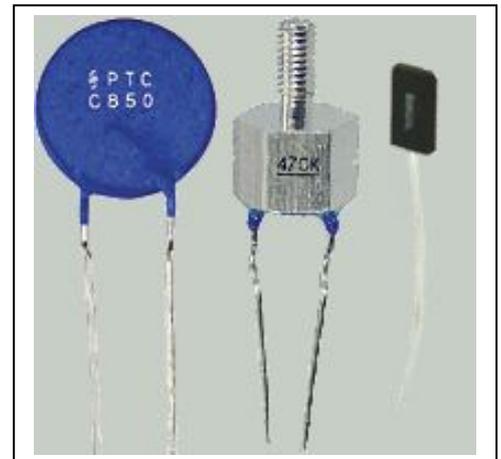
Ihr Vorteil gegenüber den Metallwiderständen ist Ihre hohe Empfindlichkeit (der Widerstand kann sich über Zehnerpotenzen ändern). Ihr Nachteil ist ihre starke Nichtlinearität und damit verbundene schlechte Reproduzierbarkeit. Aus diesem Grunde werden

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Halbleiter in der Automatisierungstechnik selten eingesetzt. Sie werden häufiger In großen Elektromotoren eingesetzt.

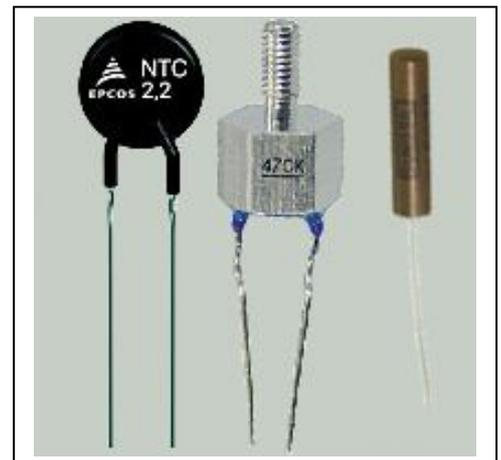
2.3.1.3 Kaltleiter (PTC)

Kaltleiter verringern ihren Widerstand bei Kälte. Bei Wärme beginnt das Molekülgitter zu schwingen und behindert die Elektronen – der Widerstand erhöht sich. In dieser einfachen Formulierung lässt sich die Funktionsweise eines Kaltleiters erklären. Kaltleiter werden in der Industrie als Temperatursensoren, in Sicherheitsabschaltungen und zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten verwendet.



2.3.1.4 Heissleiter (NTC)

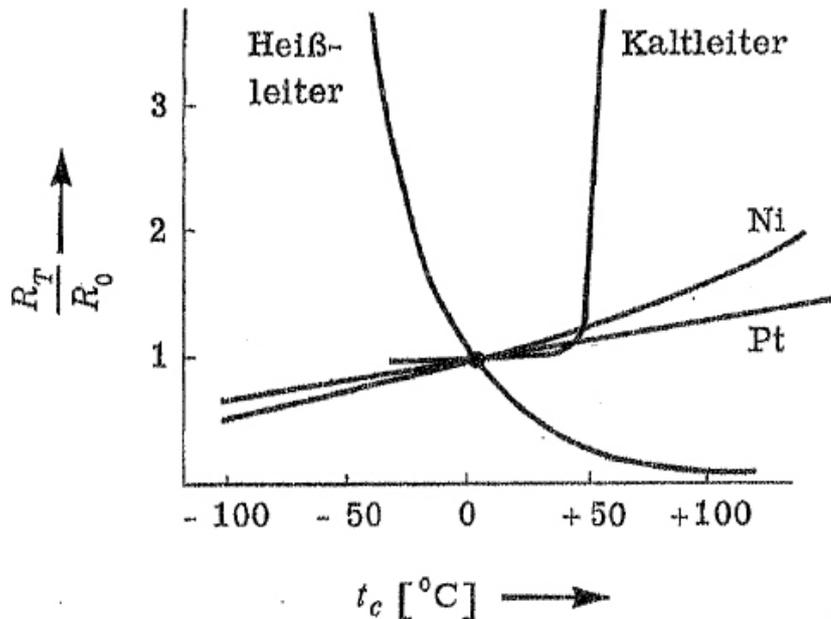
Bei Hitze verringert sich der Widerstand von Heißleitern auf fast 0 Ohm. Ist der Heißleiter abgekühlt, beträgt der Widerstand dem Nennwert. Heißleiter bestehen aus einem halbleitendem Oxidkeramik. Wird dieses erwärmt, werden feste Elektronen aus dem Molekülgitter gehoben und die Leitfähigkeit steigt an. In dieser einfachen Formulierung lässt sich die Funktionsweise eines Kaltleiters erklären. Kaltleiter werden in der Industrie als Temperatursensoren, in Sicherheitsabschaltungen und zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten verwendet.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Kennlinien verschiedener Widerstandsthermometer-Materialien.

Temperaturabhängigkeit Des Widerstandes verschiedener Materialien



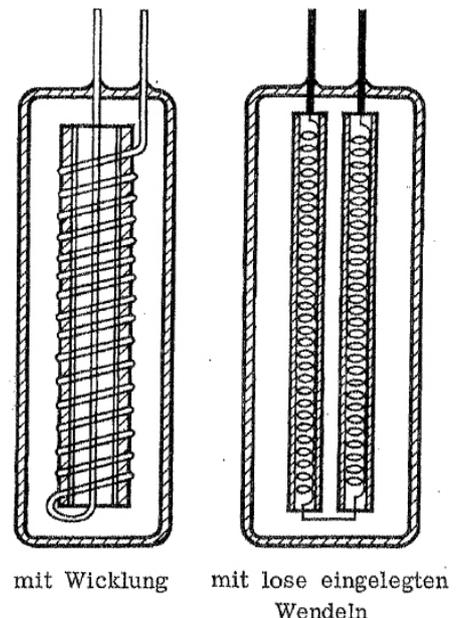
2.3.1.5 Aufbau von Widerstandsthermometern

Platinwiderstandsthermometer (Pt100)

Beim Platin-Hartglasthermometer wird der Platindraht auf ein dünnes Glasröhren aufgewickelt, die untere Zuführung des Drahtes wird durch den Rohrkern nach oben geführt.

Ein weiteres Glasröhren umgibt die Platinwicklung, so dass diese vollkommen eingebettet ist.

In dieser Ausführung können mechanische Spannungen durch das Wickeln oder durch Temperatureinwirkung auftreten, deshalb wird in einer neueren Konstruktion das Thermometer mit Doppelkapillaren ausgeführt und die Platinwendeln lose eingelegt.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Nickel-Messwiderstand (Ni100)

Beim Nickelwiderstandsthermometer lohnt es sich nicht, die Drähte wie beim Platin in Glas einzuschmelzen. Deshalb werden Nickel-Messwiderstände auf Isoliermaterial aufgewickelt und sind bei äußeren Einflüssen stärker gefährdet.

Ein komplettes Widerstandsthermometer für den Einsatz in der Verfahrenstechnik besteht aus einem Messeinsatz und einer Schutzarmatur. Die Schutzarmatur hat die Aufgabe den Widerstand gegen Korrosion und mechanische Beschädigung durch das Medium zu schützen.



Der Aufbau und die Abmessungen eines Wth's (Widerstandsthermometer) sind genormt (DIN 16160).

Die Bezeichnung **Pt 100** steht für:

Pt = Materialangabe d.h. Platin
100 = 100Ohm bei 0 °C
Temperaturbereich: -220 bis 850°C

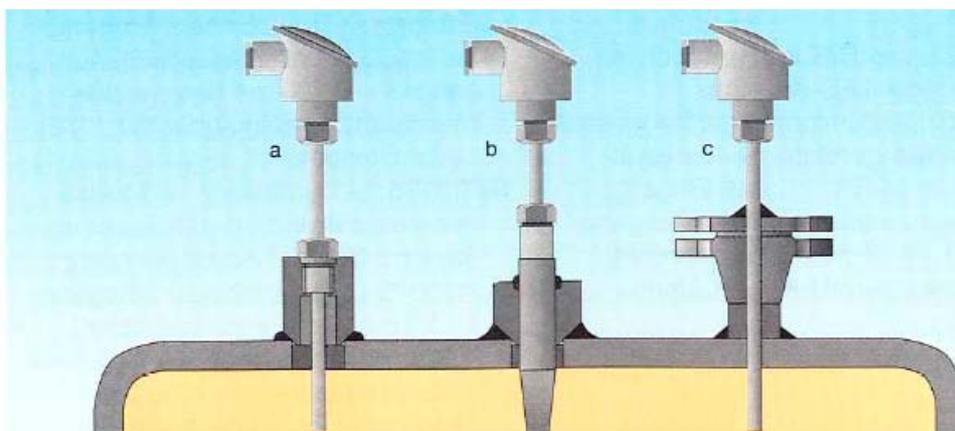
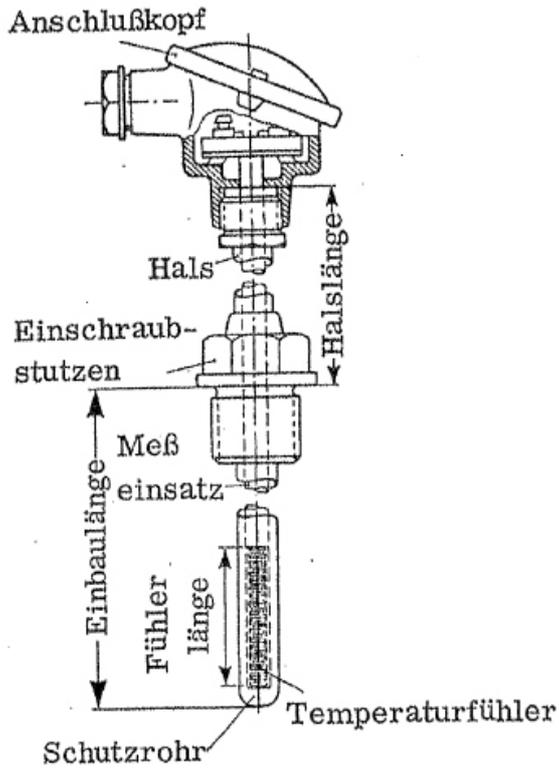
Die Bezeichnung **Ni 100** steht für:

Ni = Materialangabe d.h. Nickel
100 = 100Ohm bei 0 °C
Temperaturbereich: -60 bis 180°C

Es gibt ebenso in der Industrie Pt1000 und Ni 1000 und **Folien-Wth's**, aber Achtung: Mit einem Folien Pt100 kann nur bis ca. 350°C gemessen werden!

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.3.1.6 Schutzhülsen für Wth und Thermoelemente

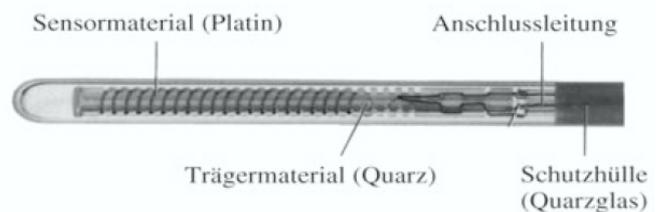
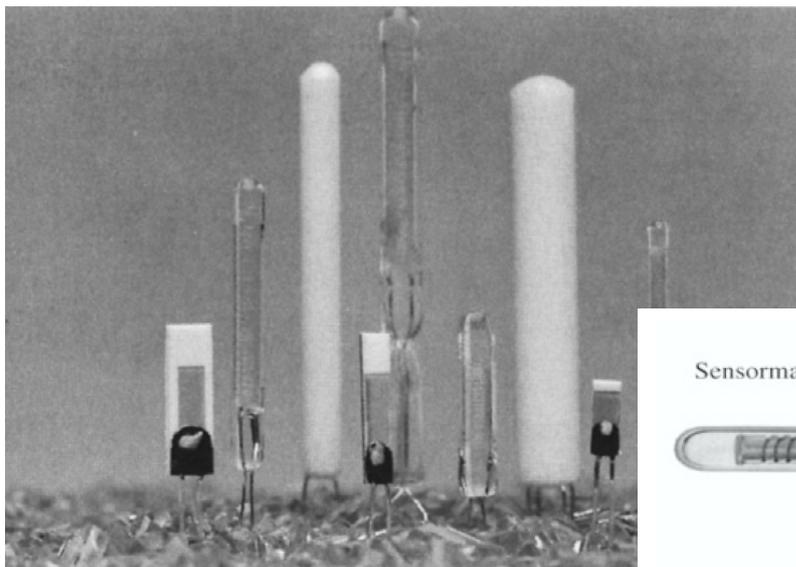
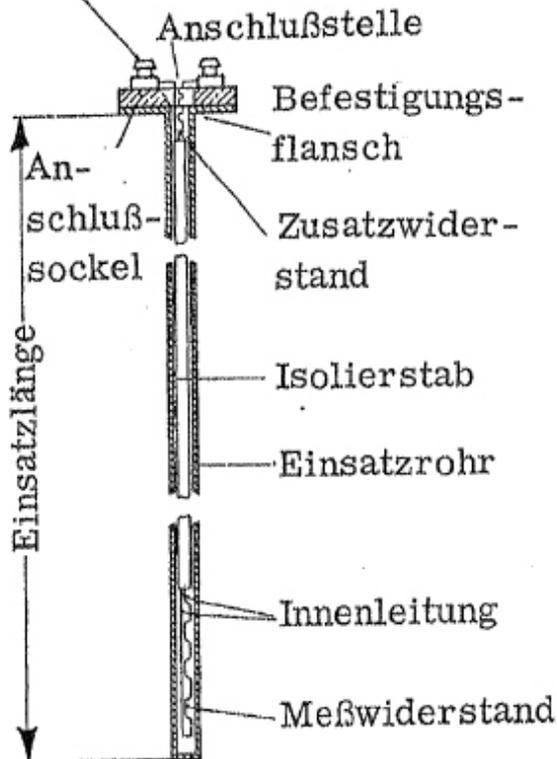


- a) Schiebemuffe
- b) Einschweißhülse
- c) Flanschanschluss

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

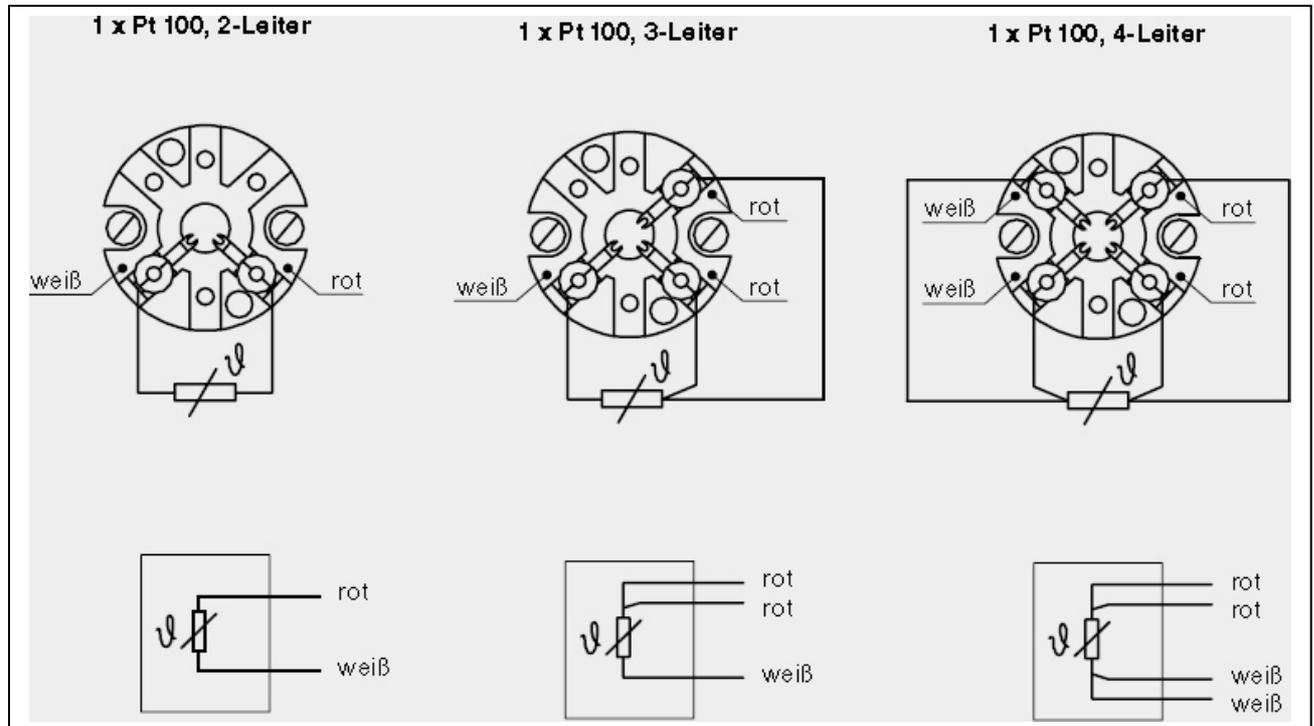
2.3.1.7 Der Messeinsatz

Thermometer-Anschlüsse (Anschlußklemmen)



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.3.1.8 Anschlussbelegungen eines Wth



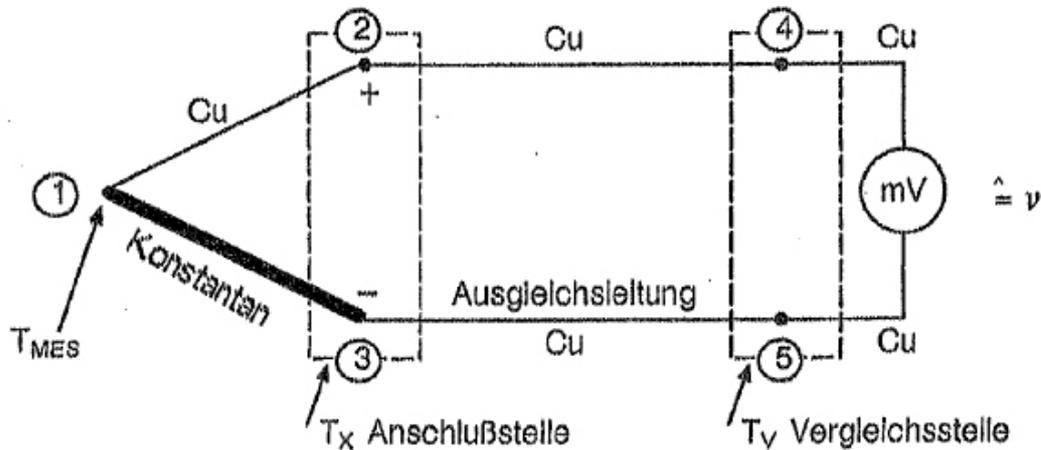
Anschlussstelle

2.3.2 Thermoelement

Der Seebeck-Effekt

An der Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle entsteht eine Spannung, deren Höhe (in mV) von der Metallpaarung und der Temperatur abhängt. Die Spannung kann nicht direkt gemessen werden, weil das Schließen des Stromkreises mit dem Messgerät weitere Thermoelemente schafft. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass das Messgerät nur mit Cu-Draht ausgeführt wird, Dann entstehen an den Punkten (1) und (3) Spannungen. Diese beiden Spannungen sind einander entgegengesetzt. Weil In diesem Beispiel beide Thermoelemente die gleiche Paarung haben, kann das Messgerät nur dann eine Spannung anzeigen, wenn die Temperatur der beiden Maßstellen verschieden ist,

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



- U_{Th} : Thermoelementmeßspannung
- T_{MES} : Meßstellentemperatur
- T_X : Anschlußstellentemperatur
- T_V : Vergleichsstellentemperatur

$$U_{Th} \sim T_{MES} - T_V$$

Polarität der Thermospannung

Das Metall, bei dem die (Valenz-)Elektronen weniger stark gebunden sind, wird diese leichter abgeben als ein Metall mit festerer Bindung, es ist also im Vergleich zu ihm thermoelektrisch negativ. Die Stromrichtung wird außerdem aber noch von der Temperatur der beiden Verbindungsstellen beeinflusst. Dies wird leicht ersichtlich, wenn man sich den Thermokreis als zwei Batterien vorstellt, von denen jeweils die mit der höheren Temperatur die größere Spannung abgibt. Die Stromrichtung wird demnach davon abhängen, auf welcher Seite im Kreis die höhere Spannung herrscht. Die Polaritätsangaben bei Thermopaaren beziehen sich stets darauf, dass an der Messstelle eine höhere Temperatur als der Vergleichsstelle (Klemmen- bzw. Vergleichsstellentemperatur) herrscht.



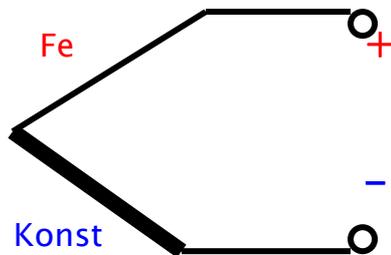
Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Der Peltier-Effekt

Die Umkehrung des Seebeck-Effektes ist der sogenannte Peltier-Effekt. Führt man einem Thermoelement Spannung bzw. Strom zu, so erreicht man eine Erniedrigung der Temperatur an der Messstelle.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Das Material mit dem positiven Potenzial-Anteil, wird immer zuerst genannt!

Fe (+) -Konst(-)

Der Minusschenkel wird stärker gezeichnet!

Größenordnung der Thermoelements Spannung U_{th} für Fe-Konst für $T_{Mess} = 100^{\circ}C$ Und $T_v = 0^{\circ}C \rightarrow 5,37 \text{ mV}$. Der Messbereich beträgt -200 bis $+900^{\circ}C$.

Genormte Thermoelemente

Unter der Vielzahl möglicher Metallkombinationen wurden bestimmte ausgewählt und in ihren Eigenschaften genormt, insbesondere der Spannungsreihe und den zulässigen Grenzabweichungen. Die folgenden Elemente sind hinsichtlich der Thermospannung und deren Toleranz sowohl weltweit (IEC) genormt als auch europäisch bzw. national genormt.

DIN IEC 584-1, DIN EN 60584-1

Eisen-Konstantan (Fe-CuNi)	Kennbuchstabe „J“
Kupfer-Konstantan (Cu-CuNi)	Kennbuchstabe „T“
Nickelchrom-Nickel (NiCr-Ni)	Kennbuchstabe „K“
Nickelchrom-Konstantan (NiCr-CuNi)	Kennbuchstabe „E“
Nicrosil-Nisil (NiCrSi-NiSi)	Kennbuchstabe „N“
PlatinRhodium-Platin (Pt10Rh-Pt)	Kennbuchstabe „S“
PlatinRhodium-Platin (Pt13Rh-Pt)	Kennbuchstabe „R“
PlatinRhodium-Platin (Pt30Rh-Pt6Rh)	Kennbuchstabe „B“

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Spannungsreihe
des Fe-Konst - Thermoelementes

Temperatur - EMK - Tabelle
für Thermolemente Fe - Konst. DIN 43710

°C	mV			°C	mV		
	20°C	0°C	50°C		20°C	0°C	50°C
-200	9,20	8,15	10,80	+100	4,32	5,37	2,72
90	8,91	7,86	10,51	10	4,87	5,92	3,27
80	8,61	7,56	10,21	20	5,42	6,47	3,82
70	8,30	7,25	9,90	30	5,98	7,03	4,38
60	7,98	6,93	9,58	40	6,54	7,59	4,94
50	7,65	6,60	9,25	50	7,10	8,15	5,50
40	7,31	6,26	8,91	60	7,66	8,71	6,06
30	6,95	5,90	8,55	70	8,22	9,27	6,62
20	6,58	5,53	8,18	80	8,78	9,83	7,18
10	6,20	5,15	7,80	90	9,34	10,39	7,74
100	5,80	4,75	7,40	200	9,90	10,95	8,30
90	5,38	4,33	6,98	10	10,46	11,51	8,86
80	4,94	3,89	6,54	20	11,02	12,07	9,42
70	4,49	3,44	6,09	30	11,58	12,63	9,98
60	4,03	2,98	5,63	40	12,14	13,19	10,54
50	3,56	2,51	5,16	50	12,70	13,75	11,10
40	3,08	2,03	4,68	60	13,26	14,31	11,66
30	2,58	1,53	4,18	70	13,83	14,88	12,22
20	2,07	1,02	3,67	80	14,39	15,44	12,78
- 10	1,56	0,51	3,16	90	14,95	16,00	13,34
0	1,05	0,00	2,65	300	15,51	16,56	13,90
+ 10	0,53	0,52	2,13	10	16,07	17,12	14,46
20	0,00	1,05	1,60	20	16,63	17,68	15,02
30	0,53	1,58	1,07	30	17,19	18,24	15,58
40	1,06	2,11	0,54	40	17,75	18,80	16,14
50	1,60	2,65	0,00	50	18,31	19,36	16,70
60	2,14	3,19	0,54	60	18,87	19,92	17,26
70	2,68	3,73	1,06	70	19,43	20,48	17,82
80	3,22	4,27	1,62	80	19,99	21,04	18,38
90	3,77	4,82	2,17	90	20,55	21,60	18,94
100	4,32	5,37	2,72	400	21,11	22,16	19,50

NiCr-Ni - Thermolement

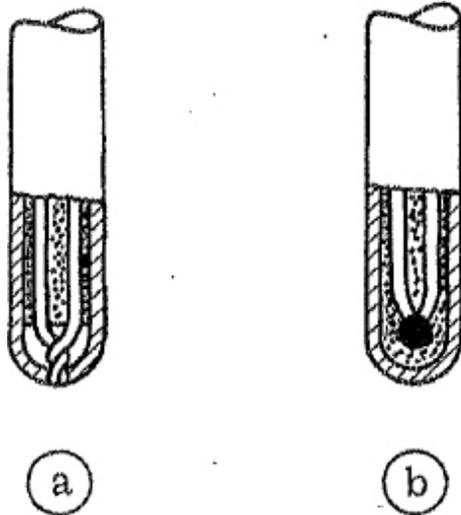
Temperatur - EMK - Tabelle
für Thermolemente NiCr-Ni DIN 43710

°C	mV			°C	mV		
	20°C	0°C	50°C		20°C	0°C	50°C
610	24,54	25,34	23,32	910	36,96	37,76	35,74
20	24,96	25,76	23,74	20	37,36	38,16	36,14
30	25,39	26,19	24,17	30	37,76	38,56	36,54
40	25,81	26,61	24,59	40	38,15	38,95	36,93
650	26,23	27,03	25,01	950	38,55	39,35	37,33
60	26,65	27,45	25,43	60	38,95	39,75	37,73
70	27,07	27,87	25,85	70	39,34	40,14	38,12
80	27,49	28,29	26,27	80	39,73	40,53	38,51
90	27,92	28,72	26,70	90	40,12	40,92	38,90
700	28,34	29,14	27,12	1000	40,51	41,31	39,29
10	28,76	29,56	27,54	10	40,90	41,70	39,68
20	29,17	29,97	27,95	20	41,29	42,09	40,07
30	29,59	30,39	28,37	30	41,68	42,48	40,46
40	30,01	30,81	28,79	40	42,07	42,87	40,85
750	30,43	31,23	29,21	1050	42,45	43,25	41,23
60	30,85	31,65	29,63	60	42,83	43,63	41,61
70	31,26	32,06	30,04	70	43,22	44,02	42,00
80	31,68	32,48	30,46	80	43,60	44,40	42,38
90	32,09	32,89	30,87	90	43,98	44,78	42,76
800	32,50	33,30	31,28	1100	44,36	45,16	43,14
10	32,91	33,71	31,69	10	44,74	45,54	43,52
20	33,32	34,12	32,10	20	45,12	45,92	43,90
30	33,73	34,53	32,51	30	45,49	46,29	44,27
40	34,13	34,93	32,91	40	45,87	46,67	44,65
850	34,54	35,34	33,32	1150	46,24	47,04	45,02
60	34,95	35,75	33,73	60	46,61	47,41	45,39
70	35,35	36,15	34,13	70	46,98	47,78	45,76
80	35,75	36,55	34,53	80	47,35	48,15	46,13
90	36,16	36,96	34,94	90	47,72	48,52	46,50
900	36,56	37,36	35,34	1200	48,09	48,89	46,87

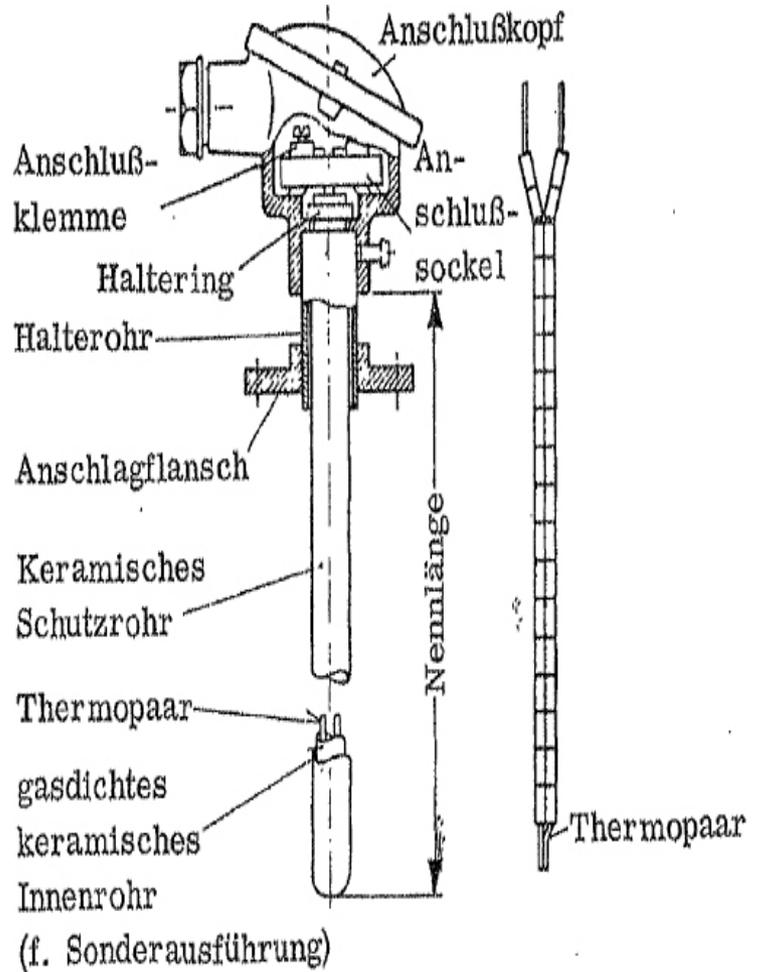
Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Thermoelement-Ausführungen

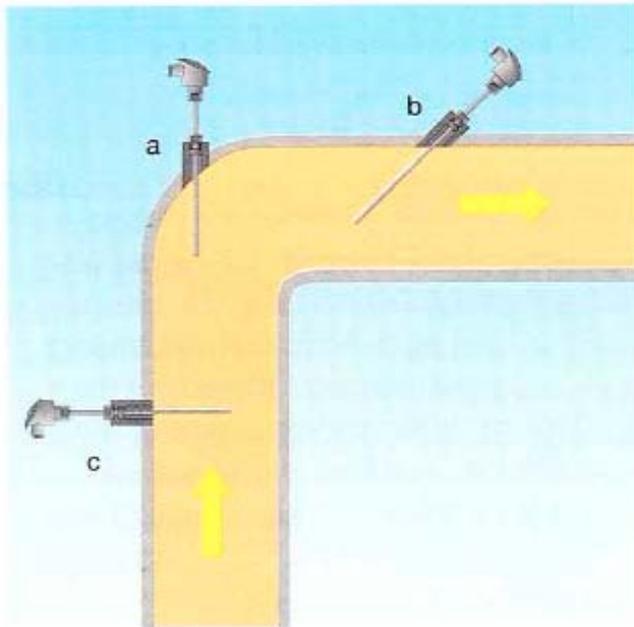


Mantelthermoelement mit (a) eingeschweißter Messstelle und (b) mit isolierter Messstelle.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.3.3 Richtiger Einbau von Temperaturfühlern



- Einbaubeispiele für Temperatur-Sensoren:
- a in einem Krümmer entgegen der Strömung
 - b in einer engen Leitung schräg entgegen der Strömung
 - c senkrecht zur Strömung

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.4 Berührungslose Temperaturmessung

2.4.1 Infrarot-Pyrometer

Jede Oberfläche, deren Temperatur T über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet elektromagnetische Strahlung aus. Messgeräte, die aus dieser Wärmestrahlung die Temperatur des Strahlers bestimmen können, werden als Strahlungsthermometer oder Pyrometer bezeichnet.

Die Wellenlängen der Wärmestrahlen liegen zwischen 10^{-7} und 10^{-5} m, einem Gebiet, in dem sich auch der schmale Bereich des sichtbaren Lichts befindet. Wenn man allgemein von Strahlung spricht, so ist die von einem Körper abgestrahlte Energie dW in der Zeit dt gemeint. Der Quotient wird als *Strahlungsfluß* ϕ bezeichnet.

$$\phi = \frac{dW}{dt}$$

Die elektrischen Berührungsthermometer, die Widerstandsthermometer und die Thermolemente, sind in ihrer Einsatzfähigkeit allen mechanischen Thermometern überlegen, finden jedoch Grenzen in ihrer Anwendbarkeit. Bei bewegten Messobjekten treten Schwierigkeiten bei der Abnahme des elektrischen Signals über Schleifringe auf, für Temperaturen über 1300 °C sind selbst edle Thermolemente im Dauerbetrieb nicht mehr verwendbar.

Deshalb werden bei höheren Temperatur und bei bewegten Messobjekten Strahlungsthermometer eingesetzt, welche die vom Messobjekt ausgehende Strahlungsenergie messen. Strahlungsthermometer wurden ursprünglich nur zur Messung hoher Temperatur angewendet, sie werden jedoch heute für Messbereiche von -40 °C bis über 2000 °C angeboten.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Emissionsgrad

Der Emissionsgrad ist ein Maß für die Fähigkeit von Materialien, infrarote Energie zu absorbieren oder abzustrahlen. Der Wert kann zwischen 0 und 1,0 liegen. So hat z.B. ein Spiegel einen Emissionsgrad von 0,1. Dagegen hat der so genannte "Schwarze Strahler" einen Emissionsgrad von 1,0. Wenn ein zu hoher Emissionsgrad eingestellt wurde, wird eine niedrigere als die tatsächliche Temperatur angezeigt, vorausgesetzt die Temperatur des Messobjektes ist höher als die Umgebungstemperatur. Wenn Sie zum Beispiel einen Emissionsgrad von 0,95 an ihrem Pyrometer eingestellt haben, der Emissionsgrad jedoch nur 0,9 beträgt, wird eine niedrigere als die tatsächliche Temperatur angezeigt.

Material	Emission			
	1,0 µm	5,0 µm	7,9 µm	8-14 µm
Asbest	0,9	0,9	0,95	0,95
Asphalt	k.A.	0,9	0,95	0,95
Basalt	k.A.	0,7	0,7	0,7
Beton	0,65	0,9	0,95	0,95
Eis	k.A.	—	0,98	0,98
Erde	k.A.	0,9-0,98	0,9-0,98	
Farbe (nicht alkalisch)	—	0,9-0,95	0,9-0,95	
Gips	k.A.	0,4-0,97	0,8-0,95	0,8-0,95
Glas				
Scheibe	k.A.	0,98	0,85	0,85
Schmelze	k.A.	0,9	k.A.	k.A.
Gummi	k.A.	0,9	0,95	0,95
Holz (natürlich)	k.A.	0,9-0,95	0,9-0,95	0,9-0,95
Kalkstein	k.A.	0,4-0,98	0,98	0,98
Karborund	k.A.	0,9	0,9	0,9
Keramik	0,4	0,85-0,95	0,95	0,95
Kies	k.A.	0,95	0,95	0,95
Kohlenstoff				
nicht oxydiert	0,8-0,95	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9
Graphit	0,8-0,9	0,7-0,9	0,7-0,8	0,7-0,8
Papier (jede Farbe)	k.A.	0,95	0,95	0,95
Kunststoff				
undurchsichtig	k.A.	0,95	0,95	0,95



Die Werte sind Abhängig von der Materialbeschaffenheit und den Messbedingungen.

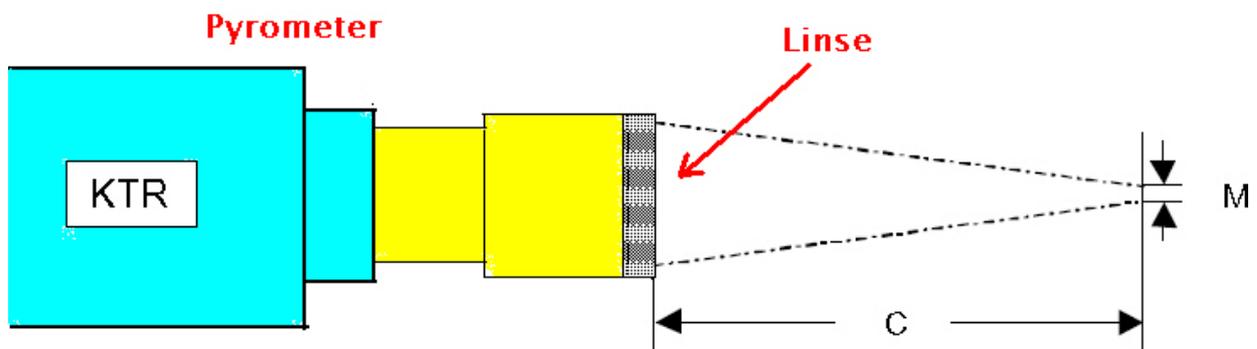
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Material	Emission		
	1,0 μm	1,6 μm	8-14 μm
Aluminum			
nicht oxydiert	0,1-0,2	0,02-0,2	k.A.
oxydiert	0,4	0,4	0,2-0,4
Legierung A3003,			
oxydiert	k.A.	0,4	0,3
aufgeraut	0,2-0,8	0,2-0,6	0,1-0,3
poliert	0,1-0,2	0,02-0,1	k.A.
Blei			
poliert	0,35	0,05-0,2	k.A.
rau	0,65	0,6	0,4
oxydiert	k.A.	0,3-0,7	0,2-0,6
Chrom			
	0,4	0,4	k.A.
Eisen			
oxydiert	0,4-0,8	0,5-0,9	0,5-0,9
nicht oxydiert	0,35	0,1-0,3	k.A.
verrostet	k.A.	0,6-0,9	0,5-0,7
geschmolzen	0,35	0,4-0,6	k.A.
Eisen, gegossen			
oxydiert	0,7-0,9	0,7-0,9	0,6-0,95
nicht oxydiert	0,35	0,3	0,2
geschmolzen	0,35	0,3-0,4	0,2-0,3
Eisen, geschmiedet			
stumpf	0,9	0,9	0,9
Gold			
	0,3	0,01-0,1	k.A.



Die Werte sind Abhängig von der Materialbeschaffenheit und den Messbedingungen.

Distanzverhältnis



Die Angabe des Distanzverhältnisses ist eine qualitative Angabe. Das Distanzverhältnis beschreibt, wie groß der Abstand C maximal zum Messfleck M sein kann.

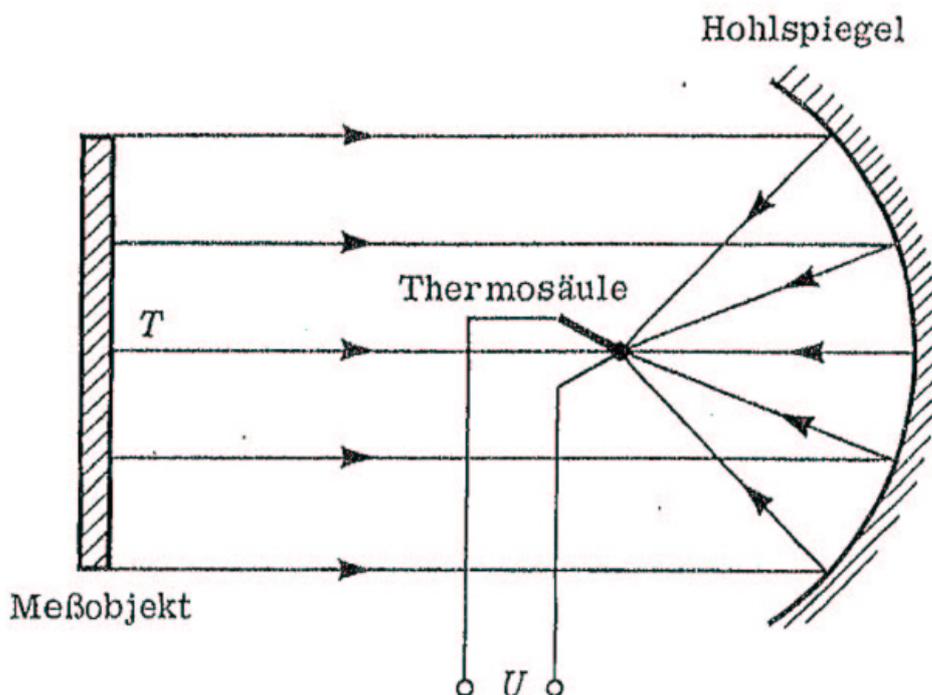
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

$$\text{Distanzverhältnis} = \frac{\text{Objektentfernung } \langle C \rangle}{\text{Durchmesser der anvisierten Objektfläche } \langle M \rangle}$$

Bei einem angegebenen Distanzverhältnis von 20 und einer Objektentfernung von 10m, muss der Messfleck einen Durchmesser von mindestens 0,5m haben!

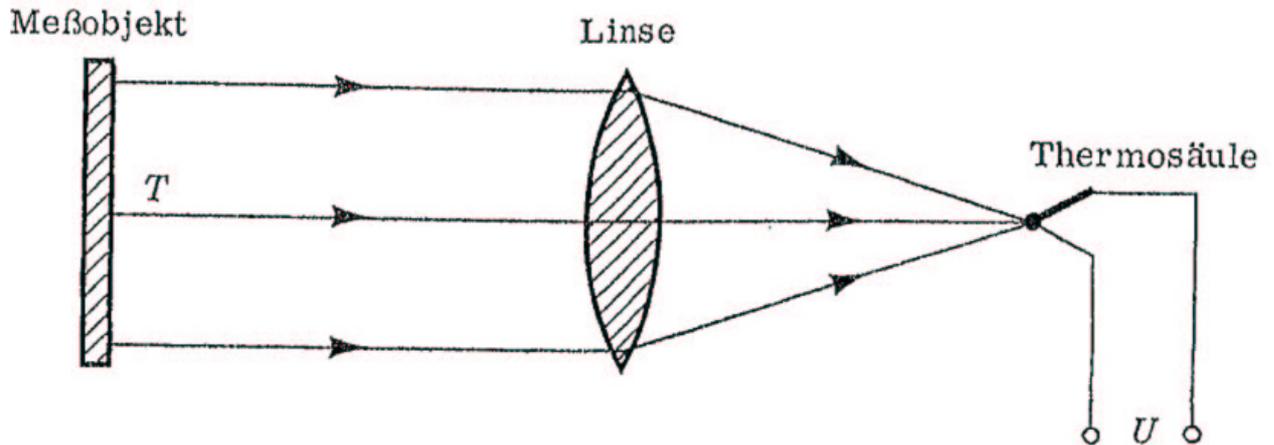
2.4.2 Gesamt- oder Teilstrahlungspyrometer

Die Strahlung wird durch eine Optik gebündelt und auf einen Sensor gelenkt. Damit wird auf dem Sensor ein Signal erzeugt. Der Sensor ist ein Fotohalbleiter oder ein Thermelement, Die Optik ist eine Sammellinse oder ein Hohlspiegel.



Prinzipbild eines Hohlspiegel-Pyrometers

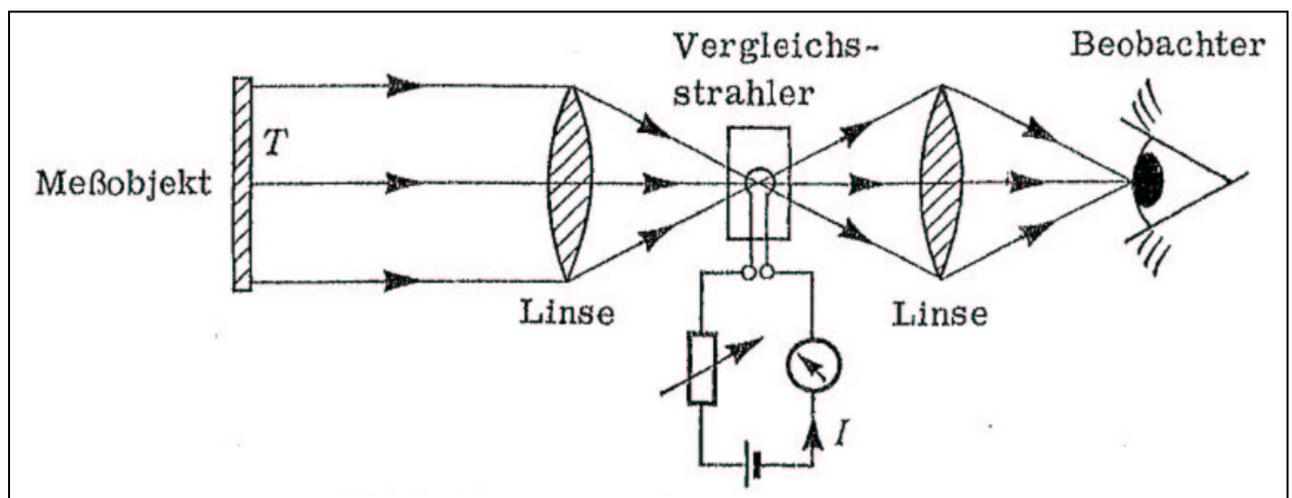
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Prinzipbild eines Linsenpyrometers

2.4.3 Teilstrahlungs-Pyrometer

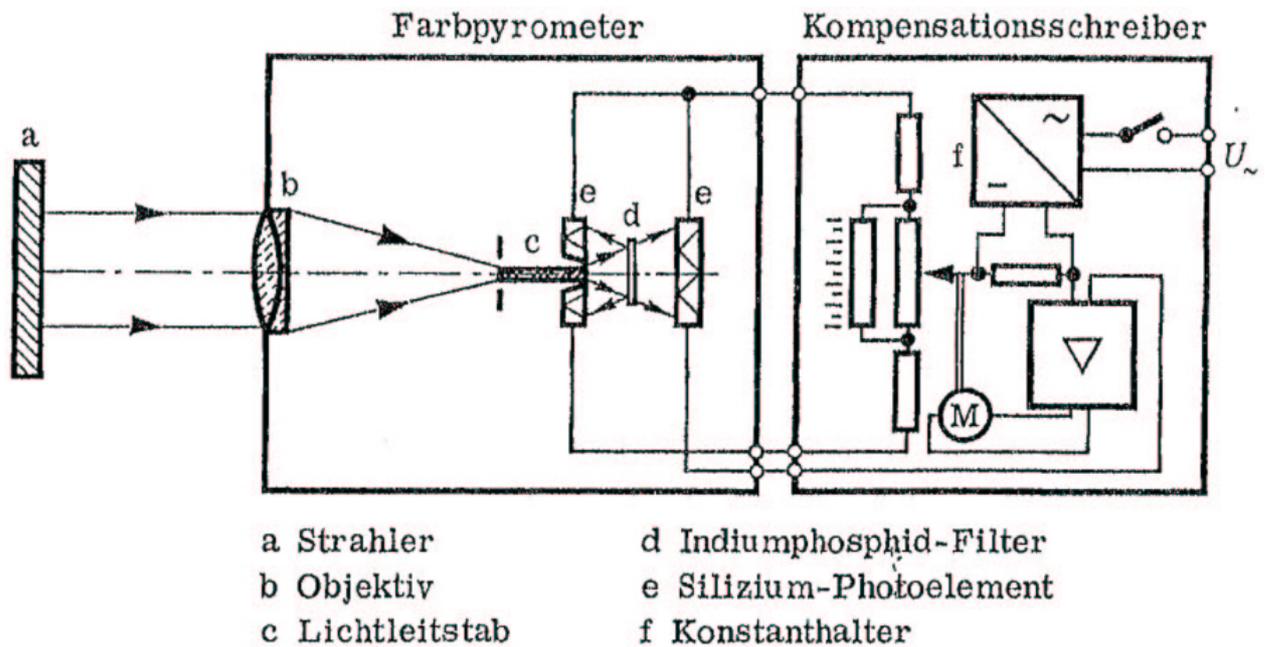
Die Leuchtdichte der Strahlung wird mit der Helligkeit des Glühfadens einer Normallampe verglichen. Ein Filter wählt ein schmales Band des Spektralbereiches aus. Spektralpyrometer.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.4.4 Verhältnis bzw. Farbpyrometer

Das Verhältnis der Strahldichte zweier herausgefiltert Spektralbereiche ändert sich mit der Temperatur. Das Signal für die Temperatur ist das Verhältnis der beiden Strahlungsanteile.



Beim Verhältnis- bzw. Farbpyrometer wird, wie bereits erwähnt, das Verhältnis der Strahlungsintensitäten bei zwei verschiedenen Wellenlängen zur Temperaturbestimmung herangezogen.

Dieses Verfahren gestattet eine genaue Temperaturmessung unabhängig vom Emissionsgrad des Messobjekts, solange dieser für beide Wellenlängen gleich ist. Da dieses ideale Verhalten in den meisten Fällen nicht erreicht wird, entsteht ein Messfehler, der jedoch in der Regel wesentlich geringer ausfällt als bei Gesamt- oder Bandstrahlpyrometern.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.4.5 Ausführungsformen für Infrarot-Pyrometer

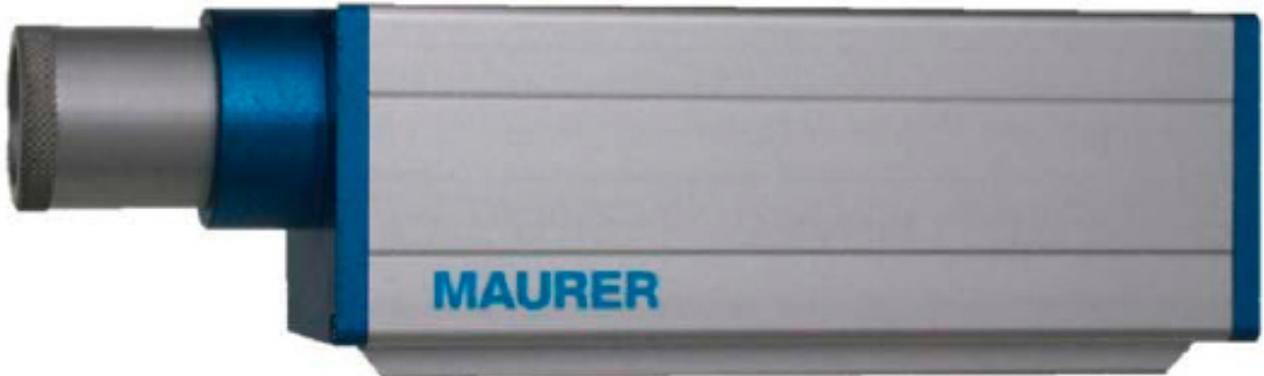
Wo werden Infrarot-Pyrometer eingesetzt? Infrarot-Pyrometer eignen sich besonders für den Einsatz in Applikationen, in denen konventionelle Sensoren nicht verwendet werden können. Dies gilt für bewegliche Objekte wie Walzen oder Förderbänder, aber auch überall dort, wo aufgrund von Kontamination oder anderen Störeinflüssen (z. B. hohe Spannungen) eine kontaktlose Messung erforderlich ist. Ebenso ist die IR-Messtechnik prädestiniert für Anwendungen, in denen sich Thermoelemente und andere, auf Kontakt mit dem Objekt basierende Fühler durch große Entfernungen oder zu hohe Temperaturen nur schwierig einsetzen lassen.

- Temperaturbereich von -50 °C bis +2200 °C
- Einstellbare Emissionsgrad
- schnelles Abtasten von heißen und kalten Stellen innerhalb von <1 Sekunde
- Großes Display
- vergütete Glasoptik
- optische Auflösung 50:1
- punktuelle Messung auf größer Distanz
- Doppellaser zum genauen Anvisieren
- visualisierte Anzeige der Größe des Messfeldes
- Hoch- bzw. Tiefalarm
- Hintergrundbeleuchtung
- Speicherfunktion
- USB-Schnittstelle (Online-Aufzeichnung)



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Lineare Temperaturmeßbereiche:		Technische Daten:	
Nr.	Meßbereiche	Meßbereiche	200 - 2500°C
1	200 - 800°C	Spektralbereich	5,1 - 5,6 µm
2	300 - 1200°C	Ansprechzeit einstellbar	0,005 - 0,5 s
3	400 - 1500°C	Genauigkeit	1 % ± 1°C
4	1000 - 2500°C	Reproduzierbarkeit	3%
		Emissionsfaktor	100 - 10 %
		Betriebstemperatur	0°C - 50°C
		Lagertemperatur	- 10°C - + 70°C
		Temperaturabhängigkeit	0,05 % / °C
		zulässige Feuchte	35 - 85 % RF
		Ausgang - wahlweise -	0 - 20 mA
			4 - 20 mA
			0 - 10 V
		Betriebsspannung	DC 24 V ± 10 %
			AC 24 V ± 10 %
		Stromaufnahme	ca. 300 mA
		Geräteanschluß	5-pol. Buchse
		Maße H / B / T	54 x 54 x 171 mm
		Gewicht	0,6 kg
		Schutzart	IP 65

Pyrometer sind genau die richtigen Messgeräte, wenn Sie hochgenaue und berührungslose Temperaturmessungen durchführen möchten. Durch die sehr guten optischen Eigenschaften sind die Pyrometer ein zuverlässiges Werkzeug zur genauen Temperaturmessung. Infrarot-Pyrometer sind besonders geeignet bei Applikationen, bei denen konventionelle Sensoren nicht verwendet werden können. So z.B. bei bewegten Objekten oder an Messorten, an denen wegen Kontaminationen oder anderen Störeinflüssen eine kontaktlose Messung erforderlich ist.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.4.6 Infrarot-Thermometer

Mit Hilfe von Infrarot-Thermometern ist es ebenfalls möglich, berührungslos die Temperatur zu messen. Sie messen die Oberflächentemperatur. Dadurch können rotierende Equipment z.B. Elektromotore oder spannungsführende Bauteile wie Sammelschienen im Schaltschrank, messtechnisch überwacht werden.



Technische Daten

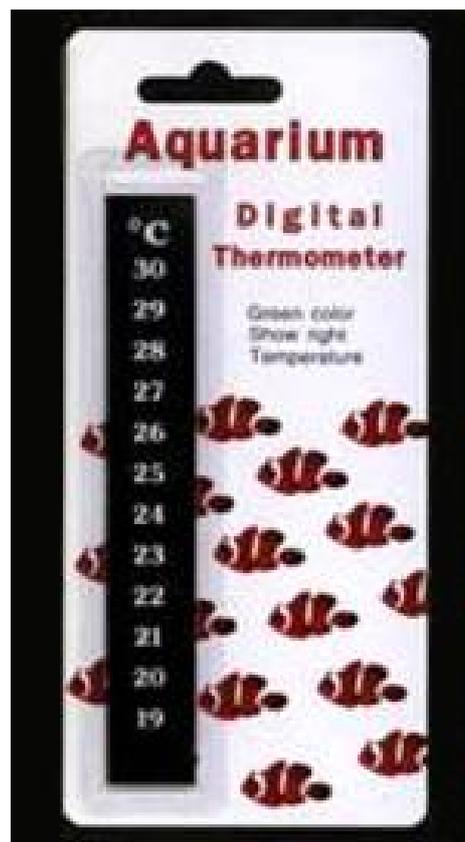
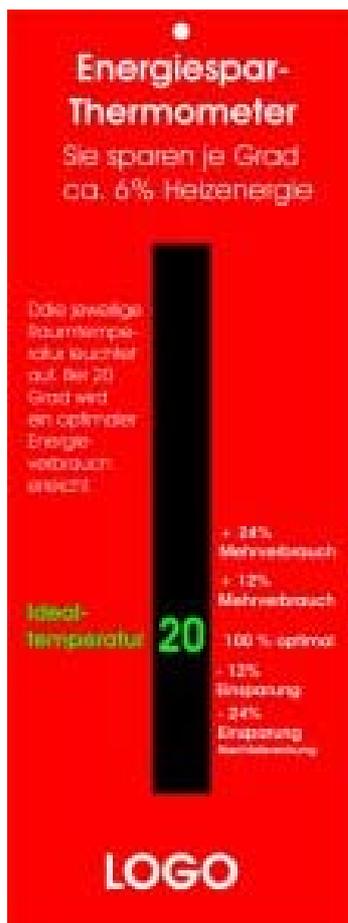
Sensor:	Infrarot
Messbereich:	-50°C ... +800°C
Auflösung:	0,1 °C (ab 200 °C / 1°C)
Genauigkeit:	±2°C oder 2%, der jeweils größere Wert gilt
Reproduzierbarkeit:	±1,0°C oder 1%
Ansprechzeit:	ca. 0,2 Sekunden
Spektrale Empfindlichkeit:	8...14 µm
Arbeitstemperatur:	0°C ... +50°C
Lagertemperatur:	-20°C ... +50°C
Laser:	Klasse 2
Emissionsgrad:	0,01 ... 1,00
Optische Auflösung:	20 : 1
Batterielebensdauer:	typisch 40 Stunden bei Dauerbetrieb
Spannungsversorgung:	1x 9V Blockbatterie
Gehäuse:	Kunststoff, schwarz
Abmessungen:	146 x 104 x 43 mm (L x B x H)
Gewicht:	300 g (inkl. Verpackung)

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.5 Andere Temperaturmessverfahren

2.5.1 Folienthermometer

Mit Hilfe modernster Technologien werden Flüssigkristalle bei bestimmten Temperaturen zum Leuchten gebracht. Sogar die Temperatureinstellungen können vordefiniert werden. Und das in dem Bereich von -30 bis $+70^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturen werden als Standard in 2-Grad-Schritten angezeigt. Leuchten zwei Zahlen gleichzeitig (z.B. 24° und 26°C) so liegt die Temperatur exakt dazwischen; also bei 25°C .



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

2.5.2 Thermofarbe

Thermofarben (auch Thermolacke, Thermochromlacke genannt), die je nach Temperatur ihre Farbe verändern, werden bei technischen Anwendungen eingesetzt, um über eine einfache optische Kontrolle zur Temperaturänderung zu verfügen. Der zugrundeliegende Effekt ist die Thermochromie.

Ein Anwendungsgebiet findet sich z. B. bei geschraubten Stromschienen, wo die Schraubenköpfe diesen Anstrich erhalten, damit schnell erkannt werden kann, dass sich die Verbindung gelockert hat und Übergangswiderstände entstehen, die einen Temperaturanstieg verursachen. Wichtig ist bei dieser Anwendung, dass damit eine berührungslose Temperaturanzeige möglich ist. Thermofarben dienen auch in der Verfahrenstechnik dazu, um Störungen rasch zu erfassen, bei denen die Temperatur von Anlagenteilen vom Sollwert abweicht.

2.5.3 Segerkegel



Segerkegel (Einheitszeichen SK) sind Prüfkörper zur Bestimmung der Feuerfestigkeit. Sie sind nach dem Herman August Seger (1839–1893) benannt, der sie 1885 für seine Untersuchungen zur Feuerfestigkeit verschiedener Materialien entwickelte. Die Normkegel aus dem zu prüfenden Material sind etwa 5 cm hoch und leicht angeschrägt. Der Kegel wird in einem Ofen langsam erhitzt. Wenn die Kegelspitze vollständig umgekippt ist und den Boden berührt, ist die Kegelfalltemperatur bestimmt. Anhand der Referenzliste wird der Segerkegel abgelesen.



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011