



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Inhaltsverzeichnis:

2. Temperatursensoren	3
2.1 Messbereich der verschiedenen Thermometerarten	3
2.1.1 Einführung	4
2.1.2 Besondere Temperaturmessverfahren	5
2.1.3 Übersicht über die gängigen Temperaturmessgeräte	6
2.2 Mechanische Temperaturmessgeräte	7
2.2.1 Allgemeines	7
2.2.2 Bimetall-Thermometer	7
2.2.3 Tensions-Thermometer	9
2.2.4 Gasdruck-Thermometer, mit oder ohne Fernleitung	10
2.2.5 Maschinen-Glasthermometer	12
2.2.6 Stabausdehnungsthermometer	14
2.3 Elektrische Berührungsthermometer	15
2.3.1 Widerstandsthermometer	15
2.3.1.1 Der Messeffekt	15
2.3.1.2 Wirkungsweise	15
2.3.1.3 Kaltleiter (PTC)	17
2.3.1.4 Heissleiter (NTC)	17
2.3.1.5 Aufbau von Widerstandsthermometern	19
2.3.1.6 Schutzhülsen für Wth und Thermoelemente	21
2.3.1.7 Der Messeinsatz	23
2.3.1.8 Anschlussbelegungen eines Wth	25
2.3.2 Thermoelement	25
2.3.2.1 Der Seebeck-Effekt	25
2.3.2.2 Polarität der Thermospannung	26
2.3.2.3 Der Peltier-Effekt	26
2.3.2.4 Genormte Thermoelemente	27
2.3.2.5 Thermoelement-Ausführungen	29
2.3.2.6 Ausgleichsleitung und Korrekturdose	30
2.3.3 Richtiger Einbau von Temperaturfühlern	32
2.3.3.1 Röntgenaufnahmen von Widerstandsthermometern in Schutzrohren	33



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.4	Temperaturtransmitter (Kopftransmitter)	35
2.3.5	Messschaltungen	37
2.3.5.1	Kreuzspulmesswerk (Quotientenmesswerk)	37
2.3.6	Unterschiede zwischen Thermoelement und Widerstandsthermometer	40
2.4	Berührungslose Temperaturmessung	41
2.4.1	Infrarot-Pyrometer	41
2.4.1.1	Emissionsgrad	42
2.4.1.2	Distanzverhältnis	43
2.4.2	Gesamt- oder Teilstrahlungs-pyrometer	44
2.4.3	Teilstrahlungs-Pyrometer	45
2.4.4	Verhältnis bzw. Farbpyrometer	46
2.4.5	Ausführungsformen für Infrarot-Pyrometer	48
2.4.6	Infrarot-Thermometer	50
2.5	Andere Temperaturmessverfahren	51
2.5.1	Folienthermometer	51
2.5.2	Thermofarbe und Temperaturklebepunkte/-messstreifen	52
2.5.3	Seegerkegel	53



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2. Temperatursensoren

2.1 Messbereich der verschiedenen Thermometerarten





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.1.1 Einführung

Die Temperatur ist eine der wichtigsten Zustandsgrößen in der Wärme- und Vrefahrenstechnik. Entsprechend vielfältig ist die Zahl der Messverfahren.

Die Maßeinheit für die thermodynamische Temperatur ist das Kelvin; in der industriellen Messtechnik ist jedoch das Grad Celsius °C üblich. Temperaturdifferenzen werden in Kelvin angegeben. Der absolute Nullpunkt der Temperatur liegt bei 0K bzw. bei -273,15 °C, der Zusammenhang zwischen Kelvin- und der Celsius-Temperatur ist gegeben durch:

$$T = t_c + (273,15 \pm 0,01)$$

T_c = Temperatur in °C

T = Temperatur in Kelvin

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 thermo- dynamischen 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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.1.2 Besondere Temperaturmessverfahren

Die besonderen Temperaturmessverfahren zeichnen sich in der Regel dadurch aus, dass es Messmethoden sind, die nicht kontinuierlich betrieben werden und das einmal erzielte Messergebnis nicht wieder reversibel ist.

Ein Schmelzkörper schmilzt bestimmungsgemäß bei Erreichen bzw. Überschreiten der Temperatur und gelangt bei Abkühlung nicht wieder in den Ursprungszustand zurück. Die Photometrie fällt bei dieser Betrachtung heraus, ist aber eine Messmethode die in händisch ausgeführt wird und nicht zur ständigen Überwachung von Prozessen eingesetzt wird.

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 grad	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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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
6. Elektrische Thermometer					
a) Thermoelemente					
Cu-Konst Fe-Konst NiCr-Ni	-200 bis 400 (600) -200 bis 700 (900) 0 bis 1000 (1300)	0,75% des Sollwertes der Temperatur mindestens jedoch 3 grd nach DIN 43710	vielseitig verwendbar; Anzeigegerät oder Kompensator erforderlich	ja	ja
PtRh-Pt PtRh30-PtRh6	0 bis 1300 (1600) 0 bis 1500 (1800)	0,5% des Sollwertes der Temperatur mindestens jedoch 3 grd nach DIN 43710		ja	ja
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. Strahlungs-pyrometer					
1. Strahllichtpyrometer					
a) Spektralpyrometer	650 bis 3500 (5000)	1 bis 35 grd	geringe Anzeigeverzögerung;	subjektiv nein	subjektiv nein
b) Bandstrahlungs-pyrometer	(50) 500 bis 2000	1 bis 1,5% des		objektiv	objektiv
c) Gesamtstrahlungs-pyrometer	-40 bis 2000 (3000)	Meßbereichendwertes	es werden vorwiegend Oberflächentemperaturen gemessen	ja	ja
2. Verteilungs-pyrometer (Farbpyrometer) a) Farbrangleich-pyrometer	1150 bis 1800 (2000)	10 bis 25 grd		nein	nein
b) Verhältnis-pyrometer	(200) 700 bis 2200	1 bis 1,5% des Meßbereichendwertes		ja	ja



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.2 Mechanische Temperaturmessgeräte

WIKA Datenblatt IN 00.07

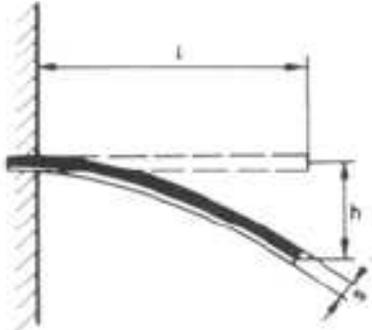
2.2.1 Allgemeines

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:

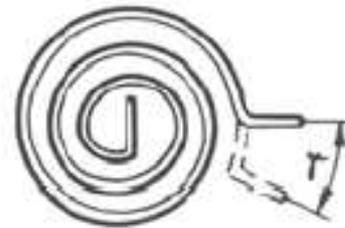
2.2.2 Bimetall-Thermometer

Ein Streifen aus zwei untrennbar aufeinander gewalzten 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.



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)

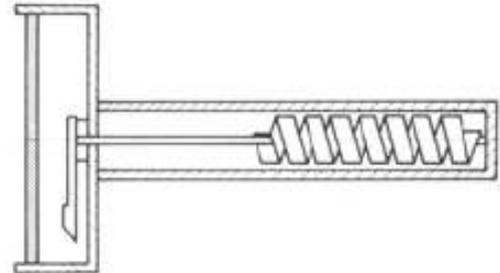


Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Wendelspirale



Wendelspirale mit Zeiger



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.





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.2.4 Gasdruck-Thermometer, mit oder ohne Fernleitung

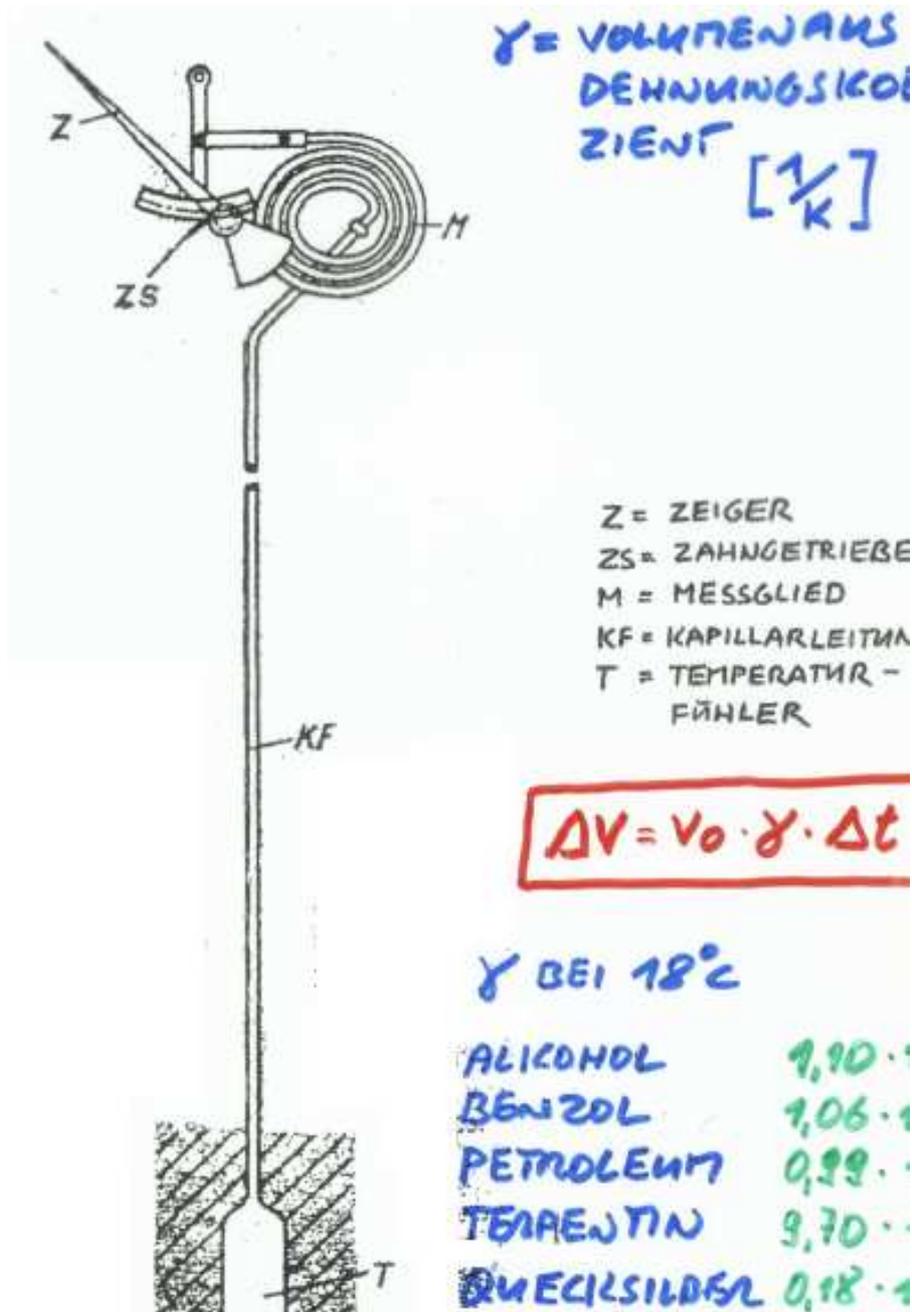
Das Messsystem besteht aus Tauchschaft, Kapillarleitung und Rohrfeder im Gehäuse. Diese Teile sind zu einer Einheit verbunden. Das komplette Messsystem ist unter Druck mit einem inerten Gas gefüllt. Eine Temperaturänderung bewirkt im Tauchschaft eine Veränderung des Innendruckes. Der Druck verformt die 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 °C bei Genauigkeit
Klasse 1 nach EN 13 190.



Aufbau eines Gasdruck-Thermometers





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.2.5 Maschinen-Glasthermometer

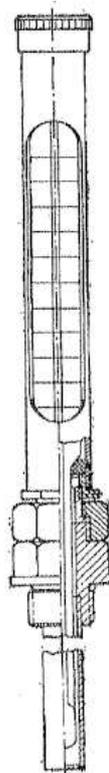
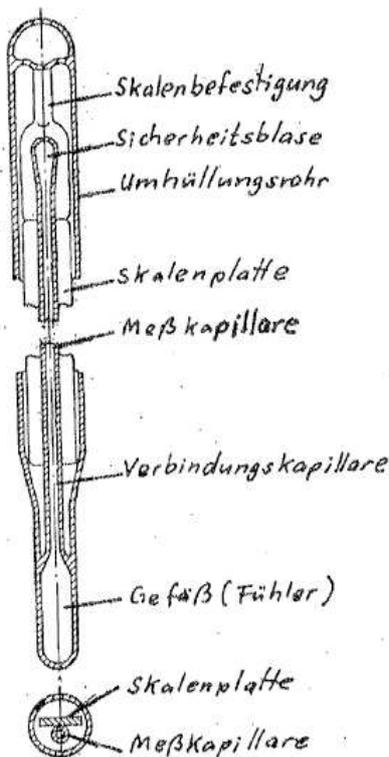


Anwendungen

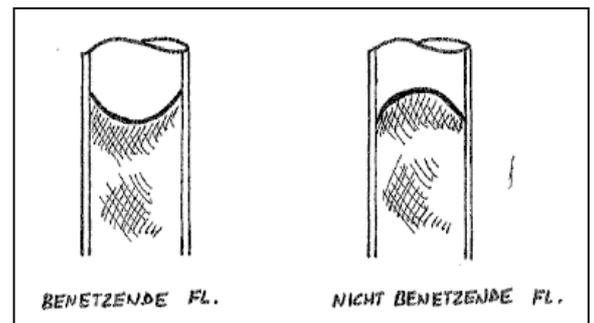
- _ Universell einsetzbar
- _ Maschinenbau
- _ Behälterbau
- _ Zentral- und Großheizungsanlagen
- _ Anlagenbau

Besonderheiten

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



Thermometerfüllungen unterscheiden 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	$-38 \dots +630 \text{ } ^\circ\text{C}$



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Kleine Physikexkursion:

BENETZENDE FLÜSSIGKEIT **NICHT BENETZENDE FLÜSSIGKEIT**

PENTANMISCH $-200 \dots +20^{\circ}\text{C}$ **QUECKSILBER** $-38 \dots +630^{\circ}\text{C}$
ALKOHOL $-110 \dots +50^{\circ}\text{C}$ **QUECKSILBER-**
TOLUOL $-90 \dots +100^{\circ}\text{C}$ **THALLIUM** $-58 \dots +30^{\circ}\text{C}$

THERMOPIETELFÜLLUNGEN

BENETZEND = ADHÄSION > KOHÄSION
NICHT BEWE. = ADHÄSION < KOHÄSION

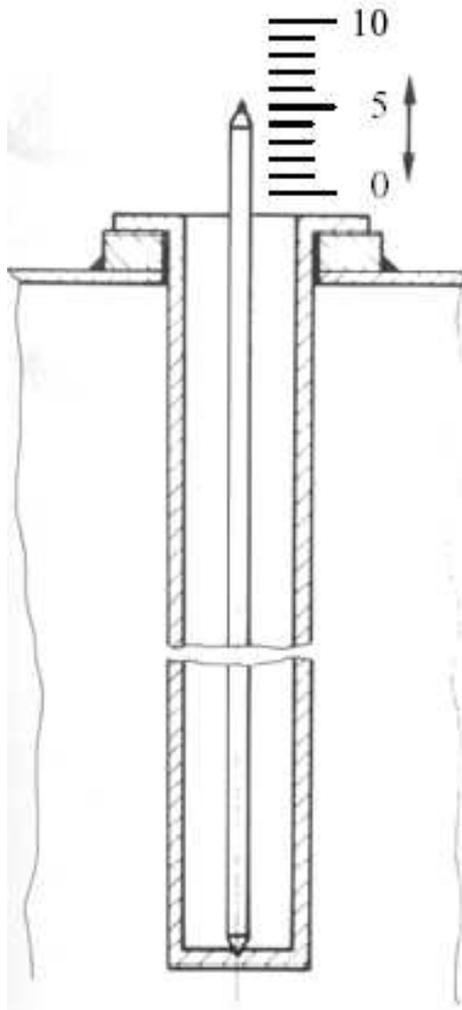
KOHÄSIONSKRÄFTE, BEWIRKEN DEN ZUSAMMENHALT VON ATOMEN UND MOLEKÜLEN GLEICHER ART

ADHÄSIONSKRÄFTE, BEWIRKEN DEN ZUSAMMENHALT VON ATOMEN UND MOLEKÜLEN VERSCHIEDENER ART

BEISPIEL: ADHÄSIONSKRÄFTE BEWIRKEN DAS KLEBEN EINES WASSERTROPFENS AN EINER GLASSCHEIBE (KLEBSTOFF, KIT)



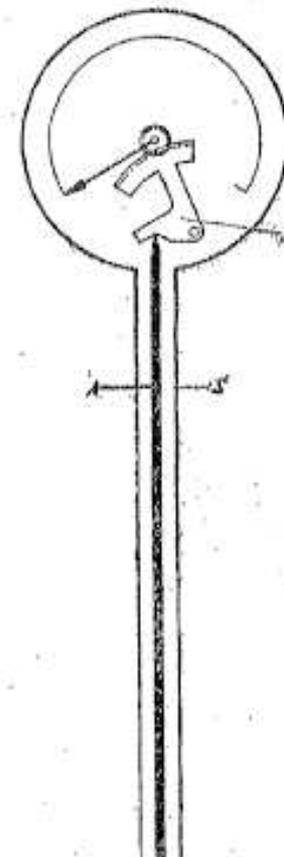
2.2.6 Stabausdehnungsthermometer



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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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 in 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.

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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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

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

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.

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

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

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

Halbleiterwiderstände

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

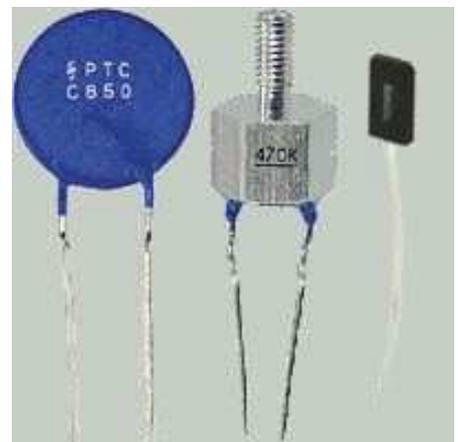


Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

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

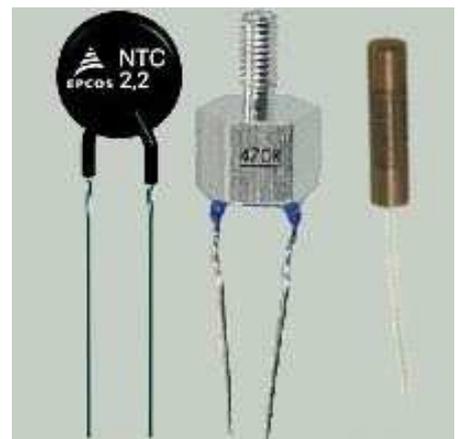
2.3.1.3 Kaltleiter (PTC)

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)

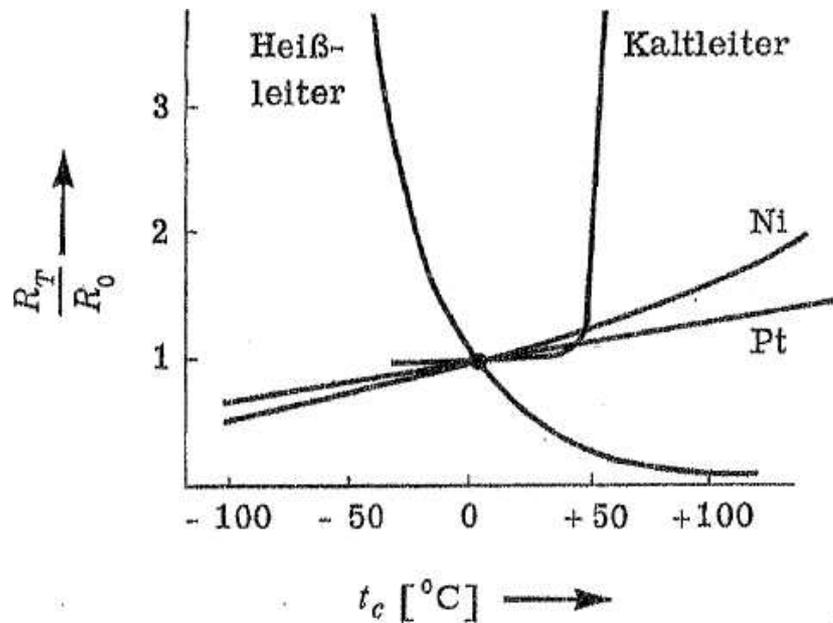
Bei Hitze verringert sich der Widerstand von Heißleitern auf fast 0 Ohm. Ist der Heißleiter abgekühlt, beträgt der Widerstand dem Nennwert. Heißleiter bestehen aus einem halbleitenden Oxidkeramik. Wird dieses erwärmt, werden feste Elektronen aus dem Molekülgitter gehoben und die Leitfähigkeit steigt 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.



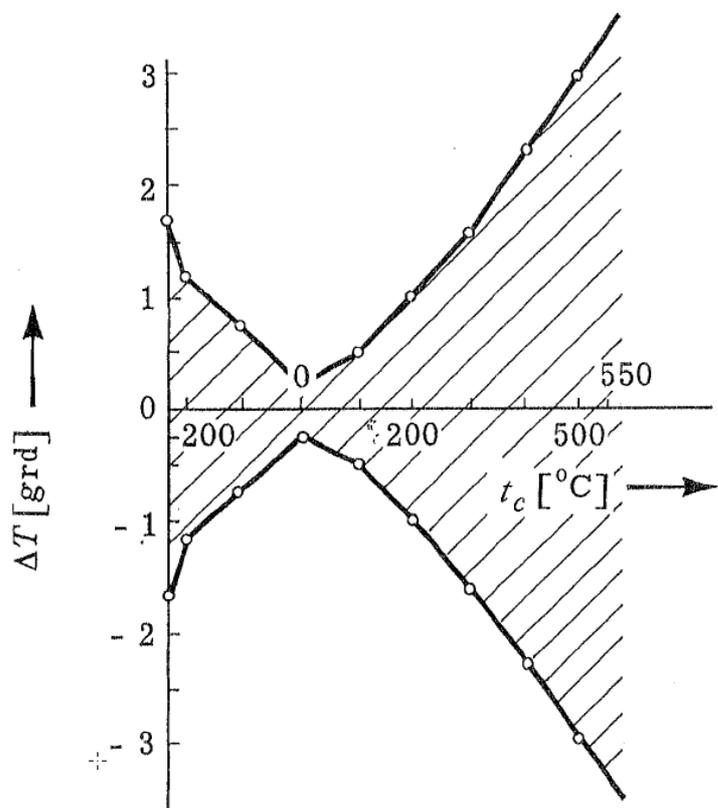


Kennlinien verschiedener Widerstandsthermometer-Materialien.

Temperaturabhängigkeit Des Widerstandes verschiedener Materialien



Zulässige Temperaturfehler-Grenzen eines Platin-Widerstandsthermometers in Abhängigkeit von der Temperatur



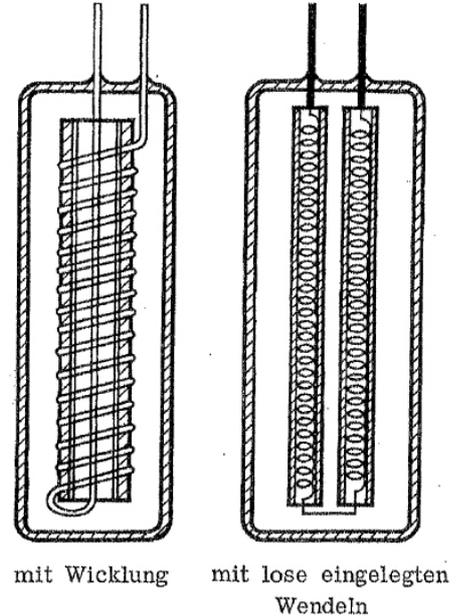


2.3.1.5 Aufbau von Widerstandsthermometern

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 Glasröhrchen 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.



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).



Rheinische Fachhochschule Köln

University of Applied Sciences

Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

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!

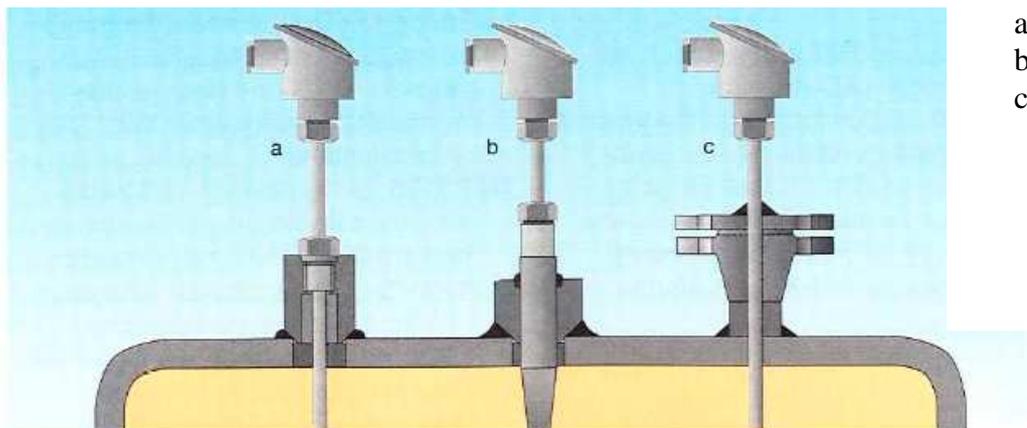
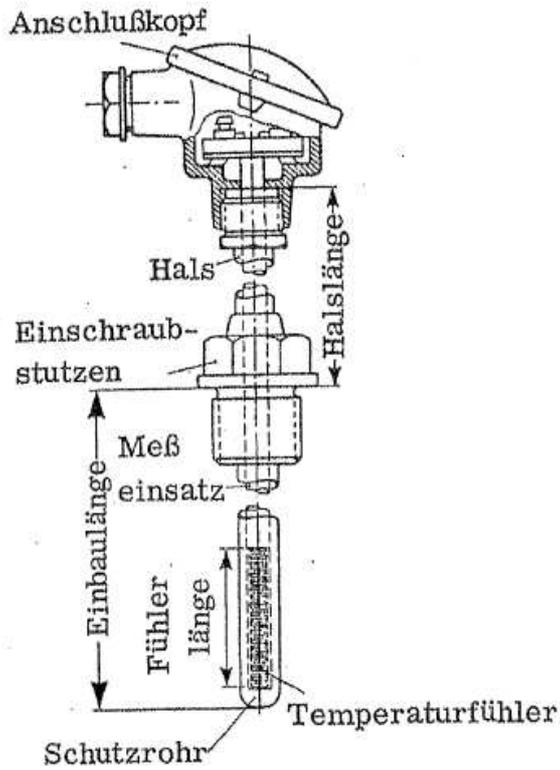
°C	Ohm	°C	Ohm	°C	
		-100	60,20	50	1
		95	62,23	55	1
		90	64,25	60	1
		85	66,27	65	1
		80	68,28	70	1
		75	70,29	75	1
		70	72,29	80	1
-220	10,41	65	74,29	85	1
215	12,35	60	76,28	90	1
210	14,36	55	78,27	95	1
205	16,43	50	80,25	100	1
200	18,53	45	82,23	05	1
195	20,65	40	84,21	10	1
190	22,78	35	86,19	15	1
185	24,92	30	88,17	20	1
180	27,05	25	90,15	25	1
175	29,17	20	92,13	30	1
170	31,28	15	94,10	35	1
165	33,38	10	96,07	40	1
160	35,48	- 5	98,04	45	1
155	37,57	0	100,00	150	1
150	39,65	+ 5	101,95	55	1
145	41,73	10	103,90	60	1
140	43,80	15	105,85	65	1
135	45,87	20	107,80	70	1
130	47,93	25	109,74	75	1
125	49,99	30	111,68	80	1
120	52,04	35	113,61	85	1
115	54,09	40	115,54	90	1
110	56,13				

Widerstandsthermometerkurve
 Pt100 nach DIN 43760



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.1.6 Schutzhülsen für Wth und Thermoelemente



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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Temperaturmesstechnik aus einer Hand (Fa. Emerson)

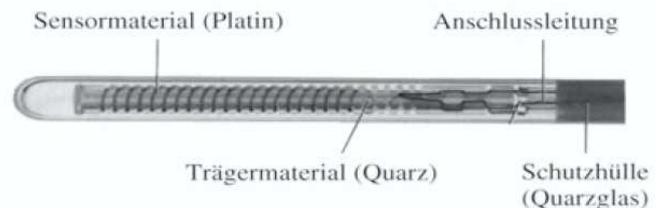
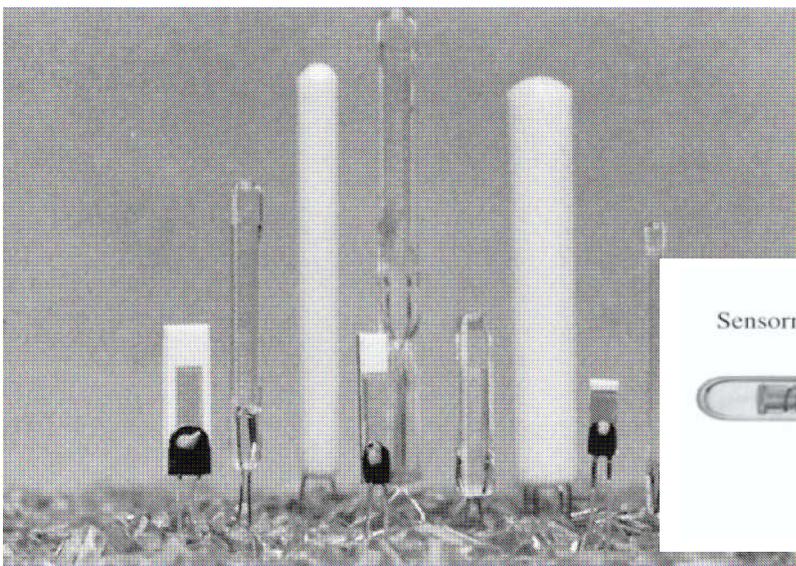
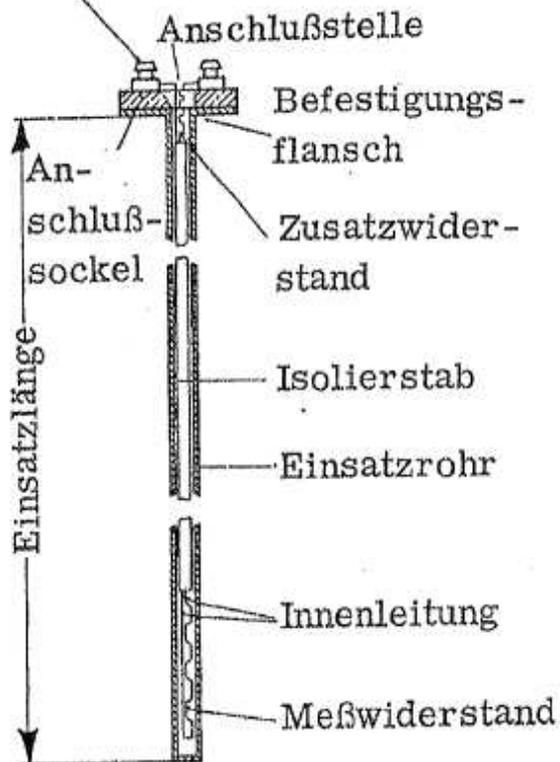




2.3.1.7 Der Messeinsatz

2.3.1.7.1 Draht-Widerstandsthermometer

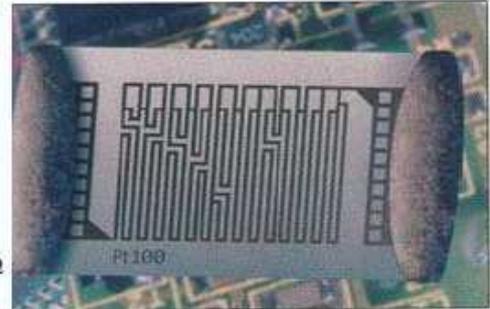
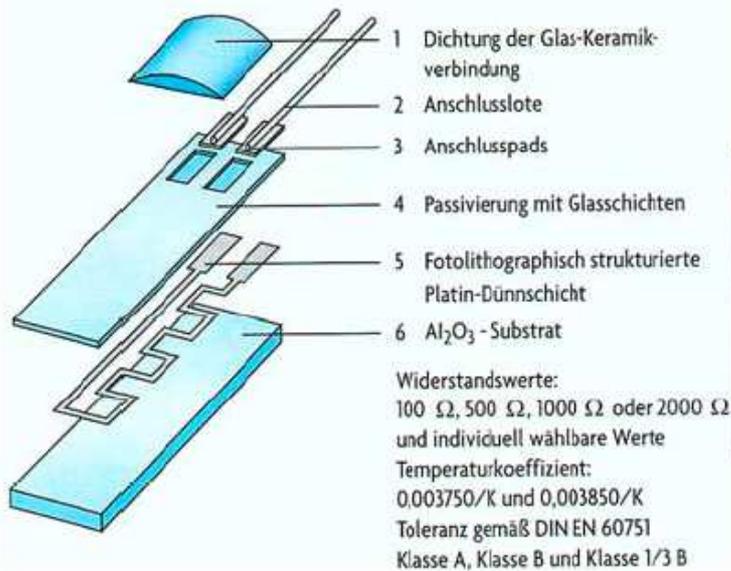
Thermometer-Anschlüsse
(Anschlußklemmen)





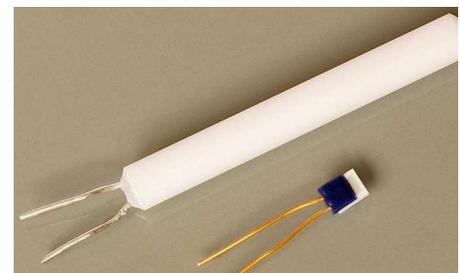
Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.1.7.2 Dünnschicht-Widerstandsthermometer



- Preiswerter in der Herstellung
- Schnelleres dynamisches Ansprechverhalten (Regelungstechnik!) wegen kleinerer Masse und Oberfläche
- Kleinere Masse (Vibration!)
- Bis max. +350 °C einsetzbar ¹⁾
- Thermische Ausdehnung des Substrates

¹⁾ Lobortests mit über 400°C haben zu Ausfällen der Wth's geführt.



Draht (oben) und Dünnschicht

Toleranzklasse	Sensor-Kategorie	Temperaturbereich	Toleranz in K
Klasse 1/3 DIN B	Dünnschicht	-50 ... +200 °C	± (0,10 K + 0,0017 x Itl)
	Draht	-70 ... +250 °C	
Klasse A	Dünnschicht	-70 ... +300 °C	± (0,15 K + 0,002 x Itl)
	Draht	-200 ... +600 °C	
Klasse B	Dünnschicht	-70 ... +600 °C	± (0,30 K + 0,005 x Itl)
	Draht	-200 ... +850 °C	
Klasse 0,5	Dünnschicht	-70 ... +600 °C	± (0,50 K + 0,006 x Itl)
	Draht	-200 ... +850 °C	

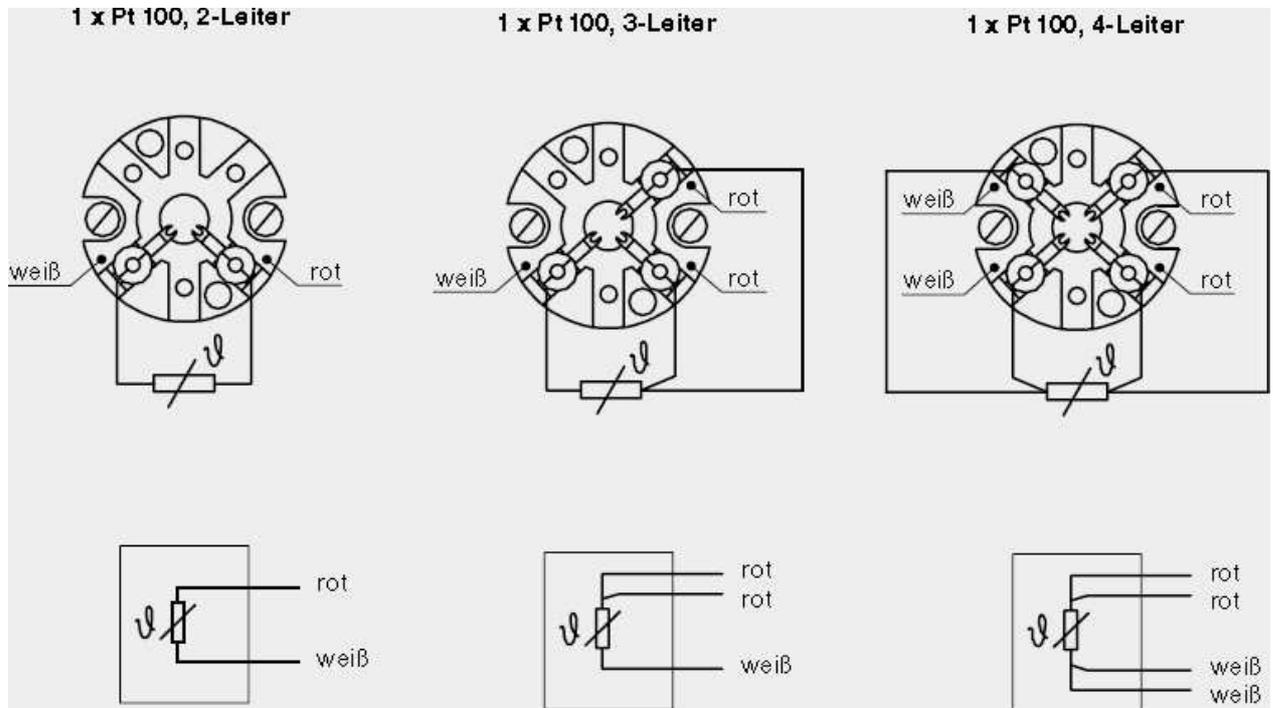
Tab. 1: Toleranzklassen – Temperaturgültigkeitsbereich

Itl = Messtemperatur in °C (ohne Vorzeichen)



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.1.8 Anschlussbelegungen eines Wth

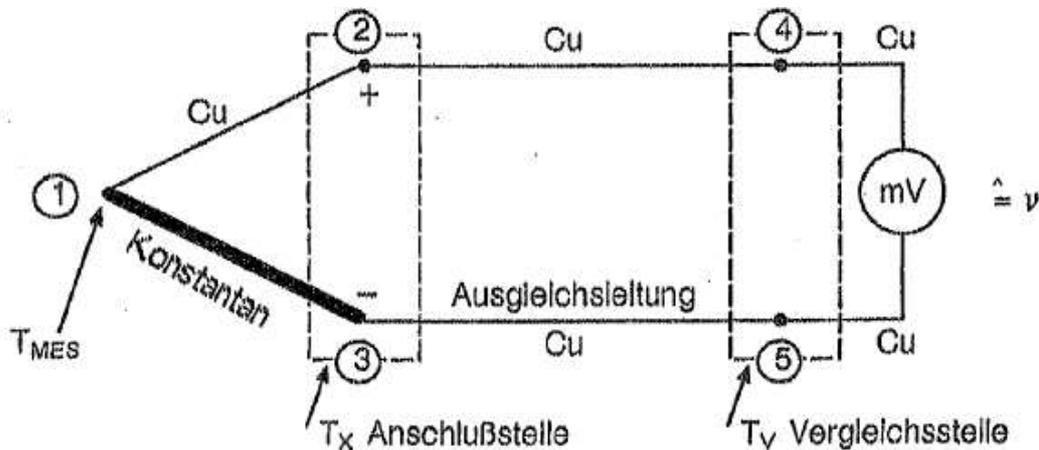


Anschlussstelle

2.3.2 Thermoelement

2.3.2.1 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,



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

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

2.3.2.2 Polarität der Thermospannung

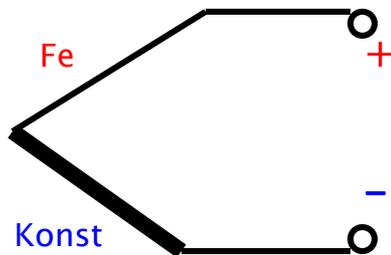
Das Metall, bei dem die (Valenz-)Elektronen weniger stark gebunden sind, wird diese leichter abgeben als ein Metall mit festerer Bindung, es ist also im Vergleich zu ihm thermoelektrisch negativ. Die Stromrichtung wird außerdem aber noch von der Temperatur der beiden Verbindungsstellen beeinflusst. Dies 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.

2.3.2.3 Der Peltier-Effekt

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



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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 $T_v = 0^{\circ}C \rightarrow 5,37$ mV. Der Messbereich beträgt -200 bis $+900^{\circ}C$.

2.3.2.4 Genormte Thermolemente

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“



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Spannungsreihe
des Fe-Konst - Thermoelementes

Temperatur - EMK - Tabelle
für Thermoelemente 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
150	7,65	6,60	9,25	150	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	
10	6,20	5,15	7,80	90	9,34	10,39	
100	5,80	4,75	7,40	200	9,90	10,95	
90	5,38	4,33	6,98	10	10,46	11,51	
80	4,94	3,89	6,54	20	11,02	12,07	
70	4,49	3,44	6,09	30	11,58	12,63	
60	4,03	2,98	5,63	40	12,14	13,19	
50	3,56	2,51	5,16	250	12,70	13,75	
40	3,08	2,03	4,68	60	13,26	14,31	
30	2,58	1,53	4,18	70	13,83	14,88	
20	2,07	1,02	3,67	80	14,39	15,44	
- 10	1,56	0,51	3,16	90	14,95	16,00	
0	1,05	0,00	2,65	300	15,51	16,56	
+ 10	0,53	0,52	2,13	10	16,07	17,12	
20	0,00	1,05	1,60	20	16,63	17,68	
30	0,53	1,58	1,07	30	17,19	18,24	
40	1,06	2,11	0,54	40	17,75	18,80	
50	1,60	2,65	0,00	350	18,31	19,36	
60	2,14	3,19	0,54	60	18,87	19,92	
70	2,68	3,73	1,06	70	19,43	20,48	
80	3,22	4,27	1,62	80	19,99	21,04	
90	3,77	4,82	2,17	90	20,55	21,60	
100	4,32	5,37	2,72	400	21,11	22,16	

NiCr-Ni - Thermoelement

Temperatur - EMK - Tabelle
für Thermoelemente 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



2.3.2.5 Thermoelement-Ausführungen

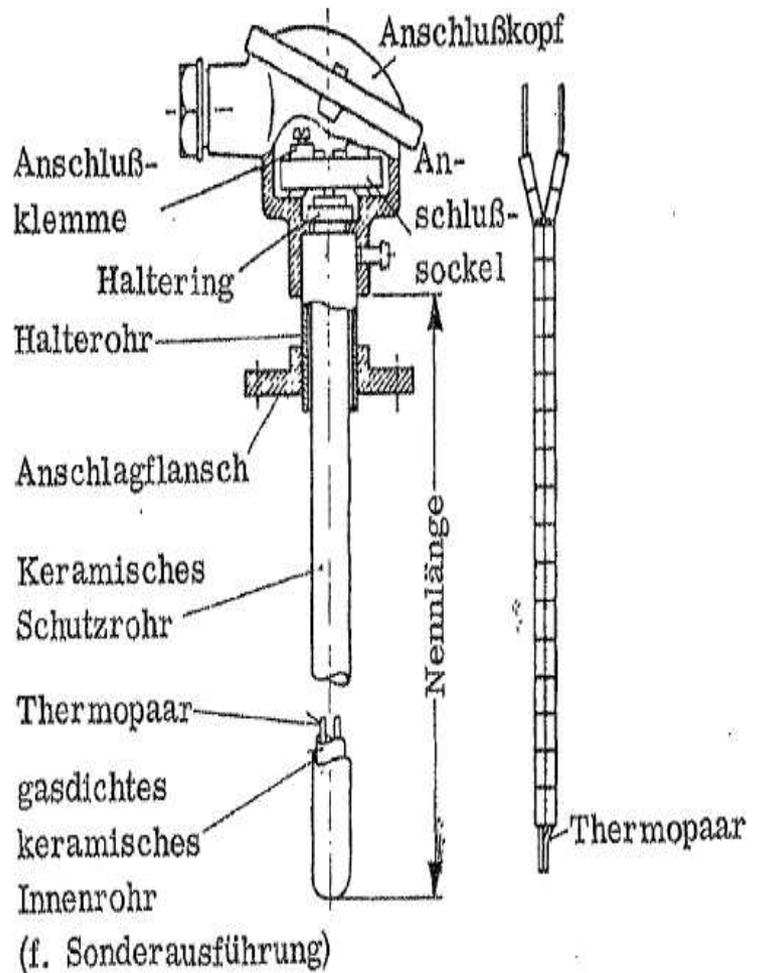


a



b

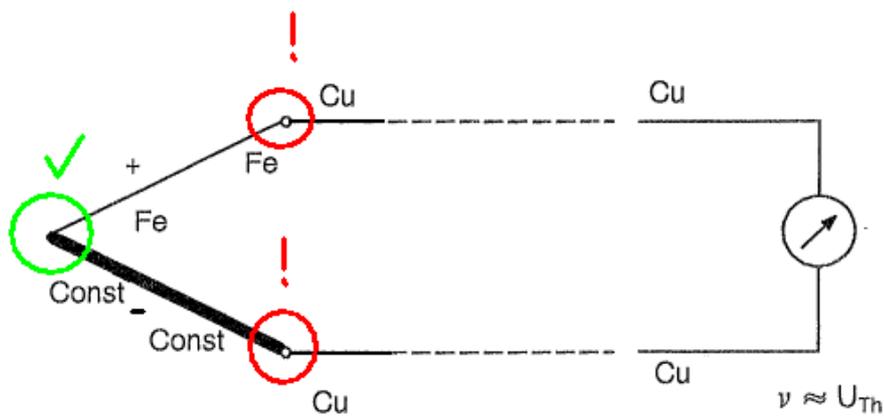
Mantelthermoelement mit (a) eingeschweißter Messstelle und (b) mit isolierter Messstelle.





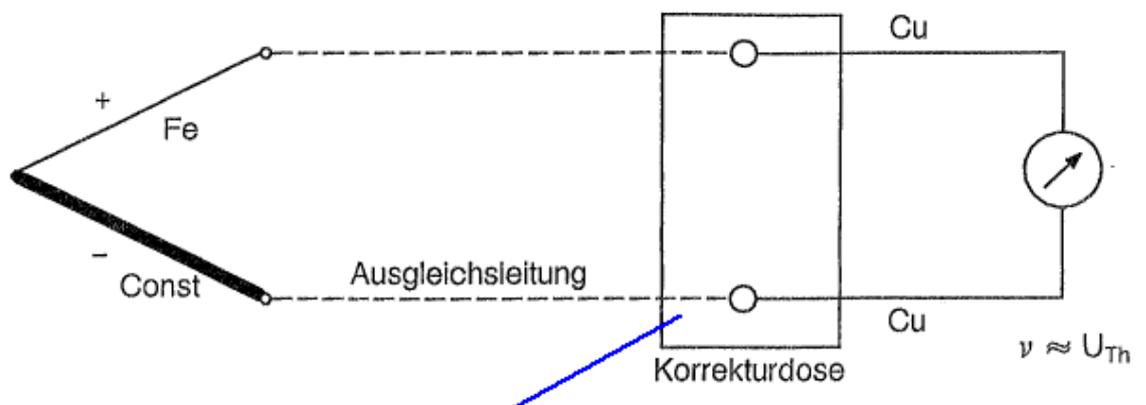
2.3.2.6 Ausgleichsleitung und Korrekturdose

Problem: Schließt man an ein Thermoelement Kupferleitungen an, so bilden sich an den Anschlussstellen neue Thermoelemente, die der eigentlichen Thermospannung (Messsignal) entgegen wirken können und deren Spannungspotenziale infolge der Umgebungstemperatur variieren können



Lösung: Ausgleichsleitungen verwenden, die nahezu die gleichen physikalischen Eigenschaften wie das Thermoelementmaterial haben, aber im Vergleich zu Platin beispielsweise, deutlich preiswerter sind.

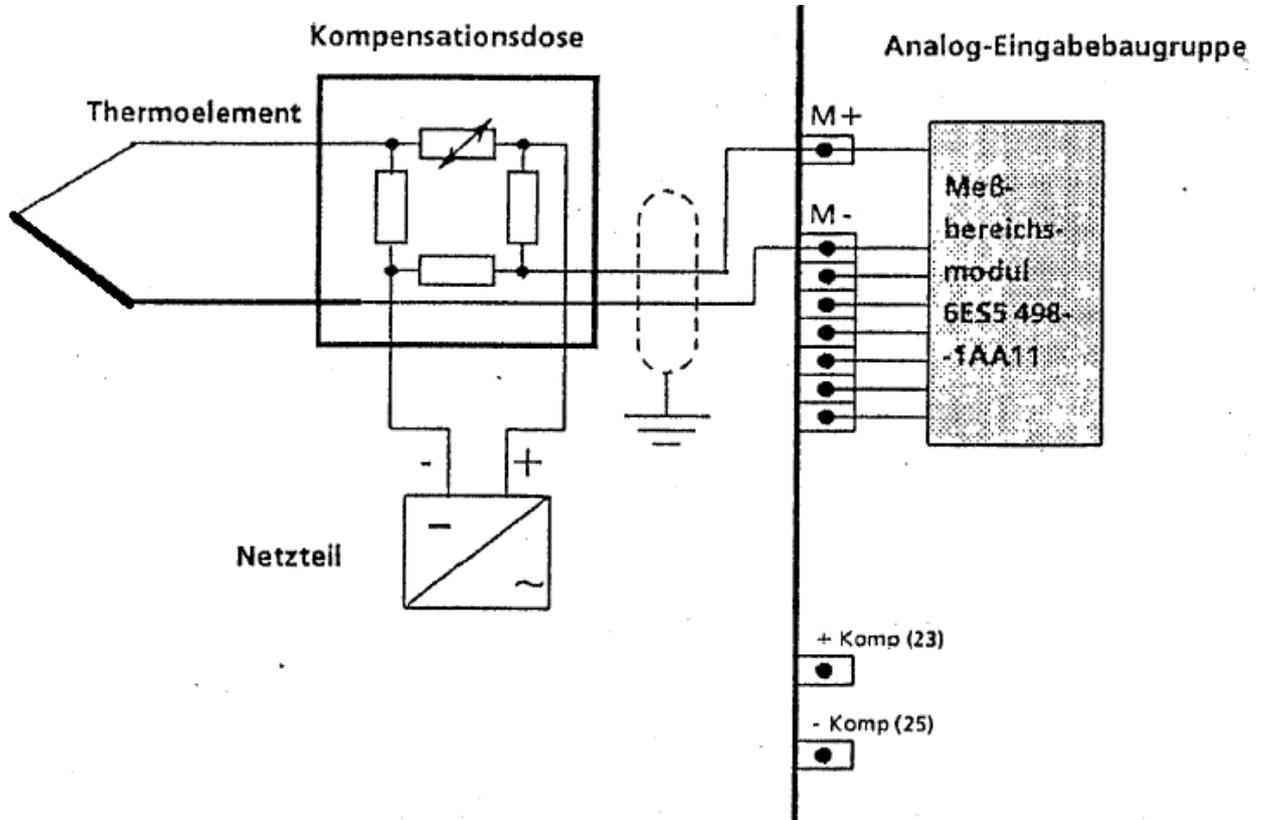
Verwendet man Korrekturdosen, so kann der „Anschlussfehler“ systematisiert werden.



Temperatur muss konstant gehalten werden wenn die Innentemperatur nicht gemessen wird, und beispielsweise mittels Wheatstone-messbrücke gegenkompensiert wird!



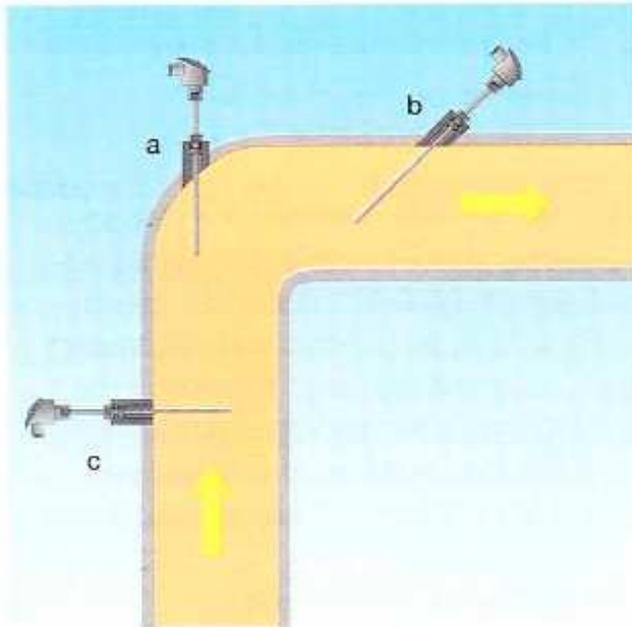
Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011



Anschluß einer Kompensationsdose an den Eingang einer Analog-Eingabebaugruppe



2.3.3 Richtiger Einbau von Temperaturfühlern



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

Die oft nur wenige Millimeter großen Temperatursensoren in der Spitze des Schutzrohres, oder die Verbindungsstellen in den Fühlerspitzen des Thermoelementes, müssen in der Mitte des Strömungsprofils liegen.

Oft wird der Einfluss des Wärmeübergangswiderstand zwischen Schutzrohr und Fühler unterschätzt. Die ideale Ankopplung findet durch Wärmeleitpaste oder Wärmeleitöl statt, die in das Schutzrohr eingefüllt wird, bevor der Fühler hinein gesteckt wird.

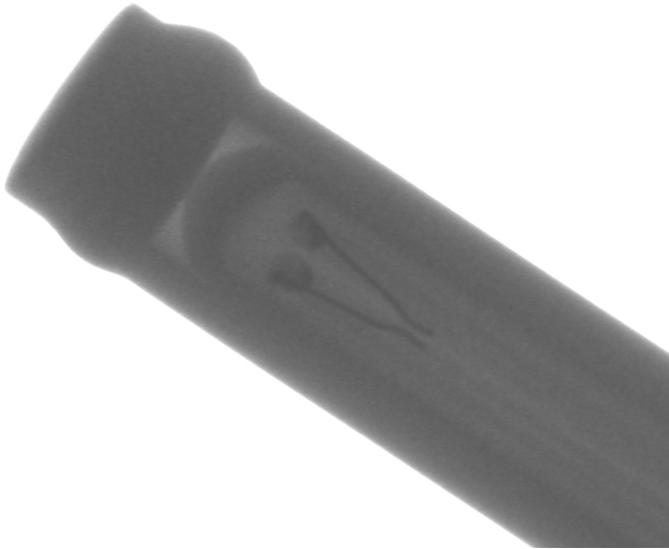
Einen Leistungstransistor würde man auch nicht ohne Wärmeleitpaste auf einen Kühlkörper montieren, denn die Wärme soll ja vom Transistor möglichst gut abgeführt werden!

Der folgende Versuchsbericht der Fa. Endress und Hauser, zeigt diesen unmittelbaren aber oft nicht respektierten Zusammenhang.



2.3.3.1 Röntgenaufnahmen von Widerstandsthermometern in Schutzrohren

Widerstandsthermometer (Wth)



Wth mit 3-Leiteranschluss



Doppelt-Wth (2 Messwiderstände)



Folien -Wth





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011



2 Messung der thermischen Ansprechzeiten

Die Ermittlung der thermischen Ansprechzeiten erfolgte in einer E+H-eigenen Messapparatur gemäß den Vorgaben der DIN IEC 60751:2008 in strömendem Wasser, welches etwa 10 K wärmer temperiert war als die Umgebungstemperatur von etwa 23°C. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers betrug dabei etwa 0,4 m/s. Alle Prüflinge waren bei Testbeginn auf Raumtemperatur temperiert und wurden dann schnellstmöglich in den wärmeren Wasserstrom eingetaucht. Vor und während des Eintauchvorgangs sind die Widerstandswerte der Pt100-Sensorelemente mit einer Messrate von etwa 4 Hz mit einem Digitalohmmeter erfasst und aufgezeichnet worden. Die Messung wurde beendet, sobald ein quasistatischer Zustand erreicht war und keine nennenswerten Temperaturänderungen des Sensors mehr zu beobachten waren.

Die erhaltenen Aufheizkurven wurden ausgewertet und die thermischen Ansprechzeiten t_{90} sowohl für die einzelnen Messeinsätze ohne Schutzrohr als auch dann eingebaut in die verschiedenen Schutzrohre bestimmt.

Mit jeder der untersuchten Messeinsatz-Schutzrohr-Kombinationen wurden mindestens sechs Messungen durchgeführt. Mindestens drei Durchläufe erfolgten ohne Verwendung irgendwelcher kontaktverbessernder Pasten. Anschließend wurden für mindestens drei weitere Messungen eine kleine Menge Silikon-Wärmeleitpaste zwischen Messeinsatzspitze und Schutzrohrinnenboden eingebracht.

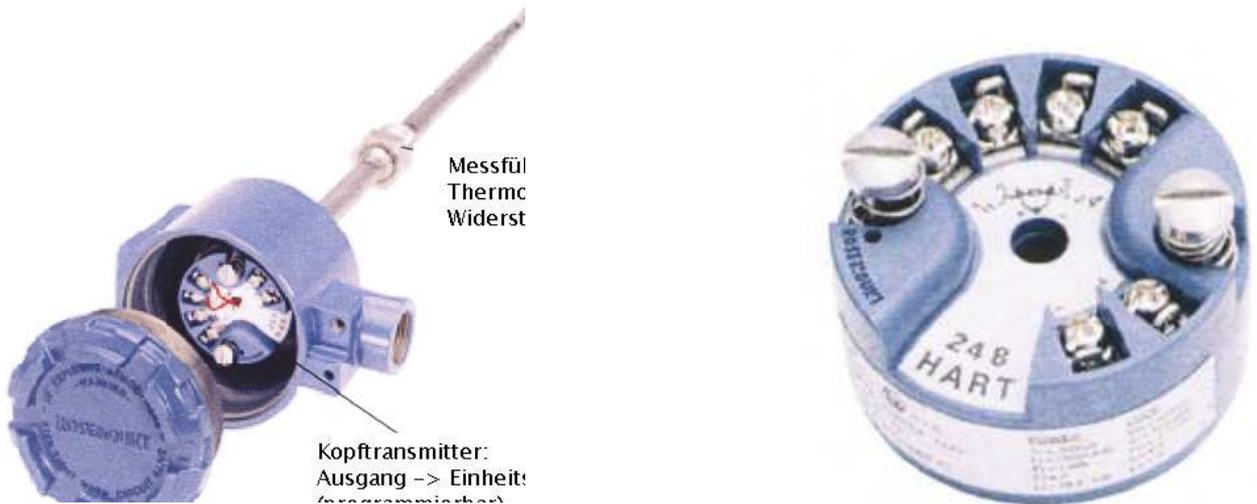
Folgende thermischen Ansprechzeiten t_{90} (in s) wurden ermittelt. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte aus den entsprechenden drei Messreihen. Die Reproduzierbarkeit der Messwerte liegt etwa im Bereich $\pm 10\%$. Die jeweils kürzeste gemessene Ansprechzeit bei einem bestimmten Schutzrohr, getrennt für die Messungen mit und ohne Wärmeleitpaste, ist **markiert**.

Schutzrohr	Messeinsatz #1		Messeinsatz #2		Messeinsatz #3		Messeinsatz #4	
	ohne Paste	mit Paste	ohne Paste	mit Paste	ohne Paste	mit Paste	ohne Paste	mit Paste
ohne	11,5 s	n.a.	11,5 s	n.a.	1,5 s	n.a.	10 s	n.a.
#2 (Form 3 Ød=6,1 mm)	33 s	12,5	31 s	13,5 s	19 s	4 s	34 s	11 s
#5 (Form 3F Ød=6,1 mm)	21 s	14 s	22 s	16,5 s	17 s	5 s	27 s	14,5 s
#6 (Form 3F Ød=6,1 mm)	19 s	14 s	20 s	14,5 s	28 s	5,5 s	26 s	12,5 s
#4 (Form 3 Ød=6,5 mm)	75 s	40 s	69 s	40 s	26 s	6 s	60 s	22 s
#3 (Form 3 Ød=7 mm)	73 s	52 s	73 s	54 s	62 s	27 s	75 s	61 s
#1 (Form 2 Ød=6,5 mm)	49 s	12,5	48 s	13,5 s	51 s	4 s	50 s	11 s
#7 (Form 2F Ød=7 mm)	100 s	82 s	102 s	75 s	48 s	11 s	97 s	46 s
#8 (Form 4 Ød=7 mm)	72 s	55 s	71 s	52 s	45 s	21 s	73 s	62 s



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.4 Temperaturtransmitter (Kopftransmitter)



Kommunikation 4-20 mA / HART® Protokoll

- Volle Konfiguration mit HART Handterminal 275/375 oder AMS

Für alle gängigen Temperatursensoren

- 2-, 3-, 4-Leiter Widerstandsthermometer, Thermoelemente, mV, Ohm

Beste Messeigenschaften für alle Anwendungen

- Genauigkeit: 0.2 °C
- Langzeitstabilität für 1 Jahr: 0.2 °C
- EMV-getestet: Entspricht der NAMUR-Empfehlung NE 21
- Galvanische Trennung Eingang/Ausgang: 500 VAC rms (707 VDC) @ 50/60 Hz

DIN Form B-Kopfgröße

Entspricht NAMUR NE 43 Ausfallverhalten für digitale Messumformer

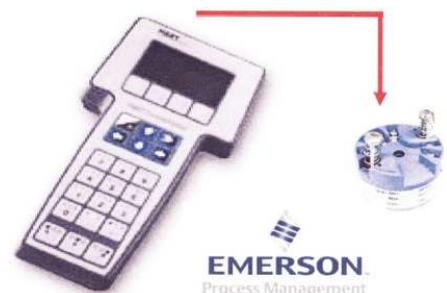
Entspricht NAMUR NE 89 für Temperaturmessumformer mit digitaler Signalverarbeitung

Alarm- und Sättigungswerte konfigurierbar

Zweipunkttrimmung möglich

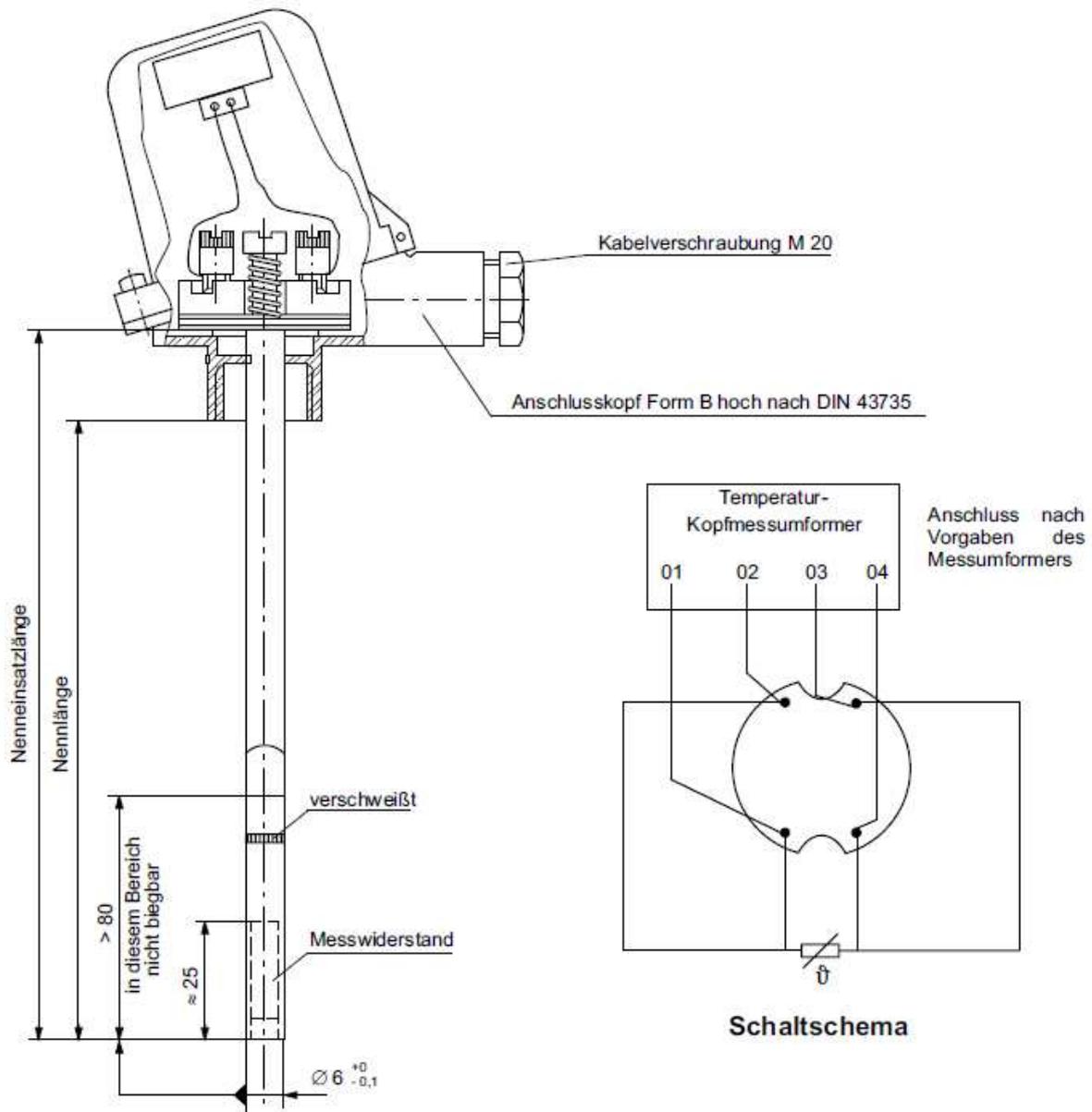
Zulassungen nach ATEX, FM, CSA, SAA, CEPEL, JI

Ein Original Rosemount-Produkt!





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011



Zitierte Normen / Standards

- | | |
|--------------|---|
| DIN 43735 | Messen, Steuern, Regeln; Elektrische Temperaturlaufnehmer; Messeinsätze für Thermoelemente |
| DIN 43735-3 | Leittechnik - Elektrische Temperaturlaufnehmer für Widerstandsthermometer und Thermoelemente - Teil 3: Zuordnung der Maße |
| DIN EN 60751 | Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatur Sensoren |
| Namur NE 24 | Anforderungen an Messeinsätze für Temperatursensoren zum Einsatz in eigensicheren Stromkreisen |

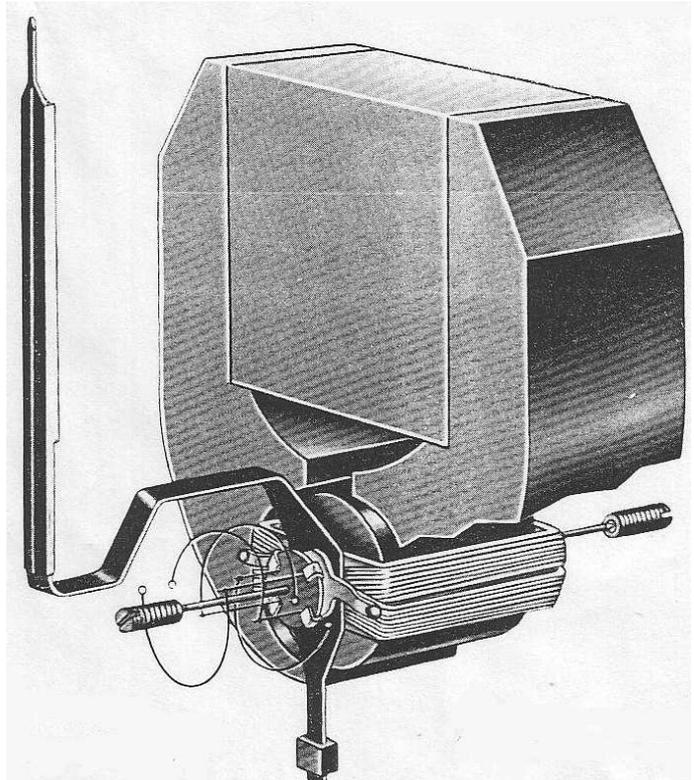


Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.3.5 Messschaltungen

2.3.5.1 Kreuzspulmesswerk (Quotientenmesswerk)

Zwei miteinander fest verbundene, gekreuzte Spulen sind innerhalb eines Magneten um einen Eisenkern drehbar angeordnet. Der Luftspalt zwischen Magnet und Kern nimmt von der Mitte aus nach oben und unten ab, die Induktion im gleichen Maße zu. Der Strom wird über richtkraftfreie Metallbänder zugeleitet. An der einen Spule entsteht ein linksdrehendes, an der anderen ein rechtsdrehendes Drehmoment. Sind die Ströme in den Spulen gleich, so heben sich beide Drehmomente nur



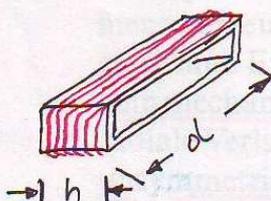
dann auf, wenn auch die an jeder Spule wirksamen Induktionen gleich sind. Ist einer der beiden Ströme schwächer als der andere, so nimmt die Kreuzspule eine bestimmte andere Lage ein, bei der sich die vom schwächeren Strom durchflossene Spule im Gebiet höherer Induktion und die vom stärkeren Strom durchflossene Spule im Gebiet geringer Induktion befindet, damit sich beide Drehmomente wieder aufheben. Der Zeiger zeigt somit unabhängig von der Höhe der Messspannung nur das Stromverhältnis an.



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Skalengleichung des Kreuzspulmessgerätes:

ANALOGIE ZUM DREHSPULMESSWEHL:



- 1. KRAFT AUF EINEN LEITER**
 $F = I_m \cdot w \cdot B \cdot h$
- 2. DAS MAGNETISCHE MOMENT**
 $M_{EL} = F \cdot d$

$M_{EL} = I_m \cdot w \cdot B \cdot h \cdot d$ $h \cdot d = A$
 $M_{EL} = I_m \cdot w \cdot B \cdot A$

w und A KONSTANT

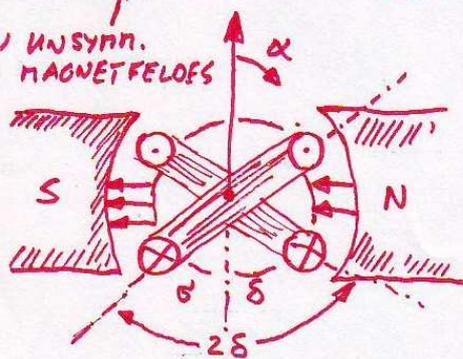
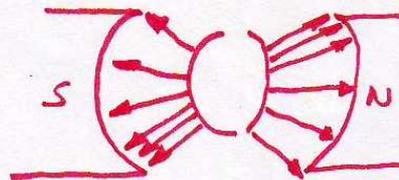
$M_{EL_1} = I_{m_1} \cdot \cos(\alpha - \delta)$ SPULE 1
 $M_{EL_2} = I_{m_2} \cdot \cos(\alpha + \delta)$ SPULE 2
 $I_{m_1} \cdot \cos(\alpha - \delta) = I_{m_2} \cdot \cos(\alpha + \delta)$

relativverhältnis zu

$$\frac{I_1 w_1}{I_2 w_2} = \frac{\cos(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha + \delta)} \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{I_1}{I_2}}$$

VEREINFACHT

COS DURCH DEN UNSYMM. VERLAUF DES MAGNETFELDES

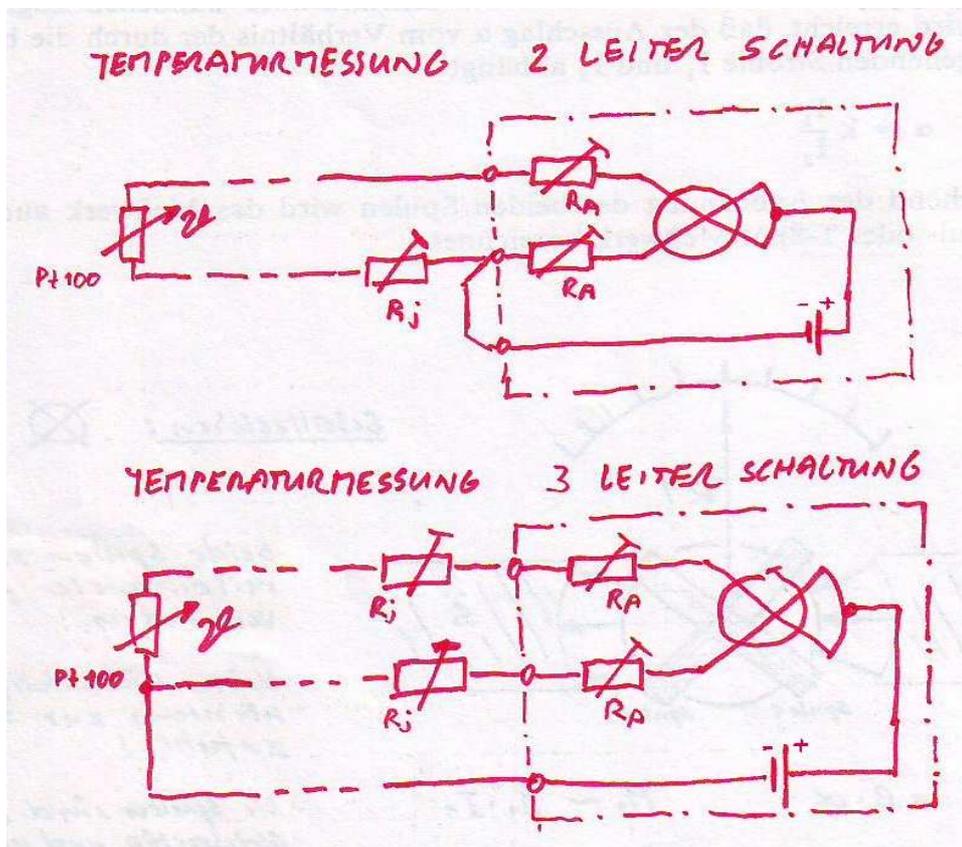



UNSYMMETRISCHES MAGNETFELD



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Die beiden Prinzip-Schaltbilder zeigen die praktische Anwendung der Stromverhältnismessung. Es handelt sich um die klassische **2-Leiter und 3-Leiterschaltung**. Die Widerstände R_A sind die sogenannten Abgleichwiderstände, die für die Kalibrierung des Messgerätes, den Grundabgleich benötigt werden. Die Widerstände R_j sind die sogenannten Justagewiderstände, mit deren Hilfe der gesamte Loop abgeglichen bzw. justiert werden kann.



Werden beide Stromzweige von einer Spannungsquelle gespeist und ist der Widerstand in einem Zweig konstant und im anderen veränderlich, so hängt der Zeigerausschlag nur von der Größe des veränderlichen Widerstandes ab (Schaltung des Widerstandsthermometers, Pt100 / Ni100/ Pt1000).



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

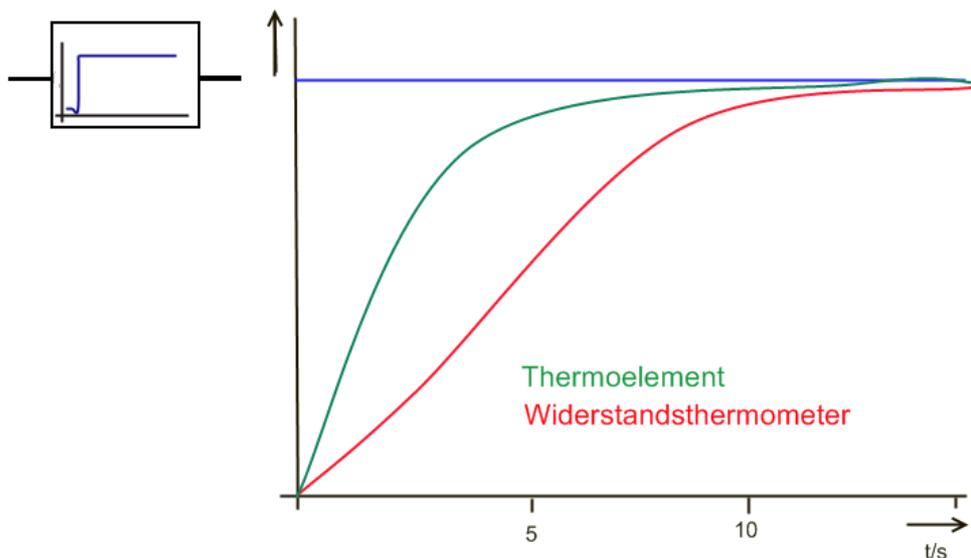
2.3.6 Unterschiede zwischen Thermoelement und Widerstandsthermometer

Thermoelement:

- Aktive Bauelement, es liefert eine Spannung
- In hohen Temperaturmessbereichen einsetzbar
- Schnelleres Ansprechverhalten als ein Wth
- Aufwendige Messkreisinstallation (konventionell)
- Thermospannungen im niedrigen mV-Bereich

Widerstandsthermometer:

- Passives Bauelement (Widerstand)
- Einfache Messkreisinstallation
- Langsameres Ansprechverhalten als ein Thermoelement
- Temperaturmessbereich maximal 850 °C
- Messeffekt relativ groß (z.B. 100 Ohm x 10mA = 1V)



Hinweis: Die Zeiten sind relativ zu sehen



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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 Thermoelemente, 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 Thermoelemente im Dauerbetrieb nicht mehr verwendbar.

Deshalb werden bei höheren Temperaturen 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.



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.4.1.1 Emissionsgrad

Der Emissionsgrad ist ein Maß für die Fähigkeit von Materialien, infrarote Energie zu absorbieren oder abstrahlen. 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.



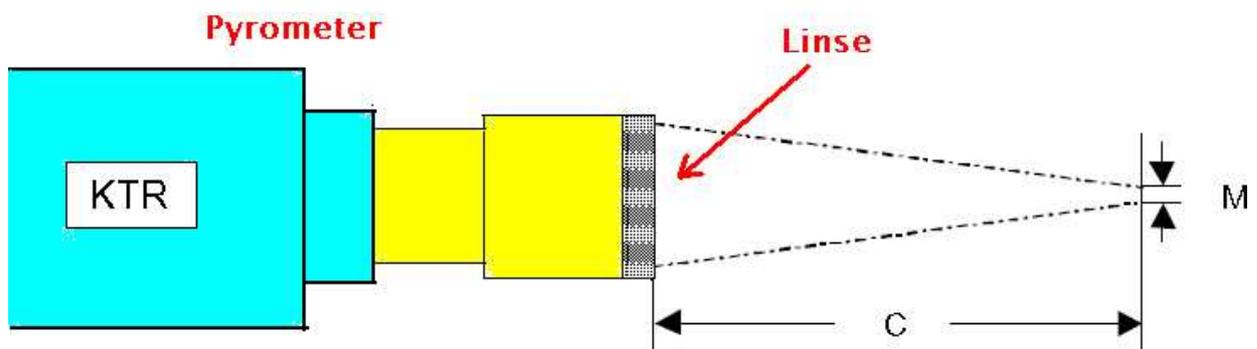
Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Material	Emission		
	1,0 μm	1,6 μm	8-14 μm
Aluminium			
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.

2.4.1.2 Distanzverhältnis



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



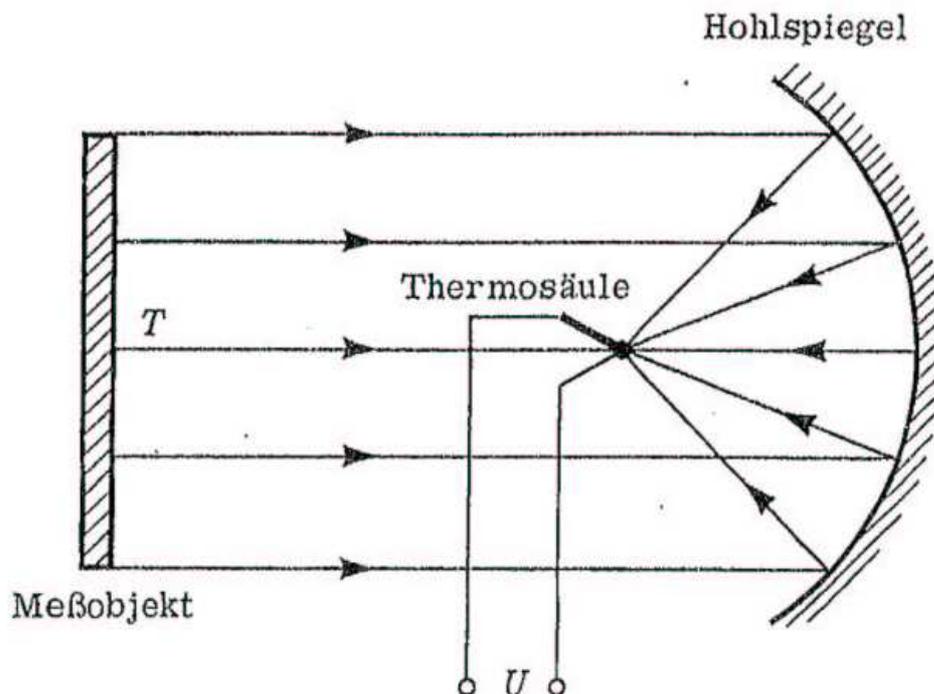
Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

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

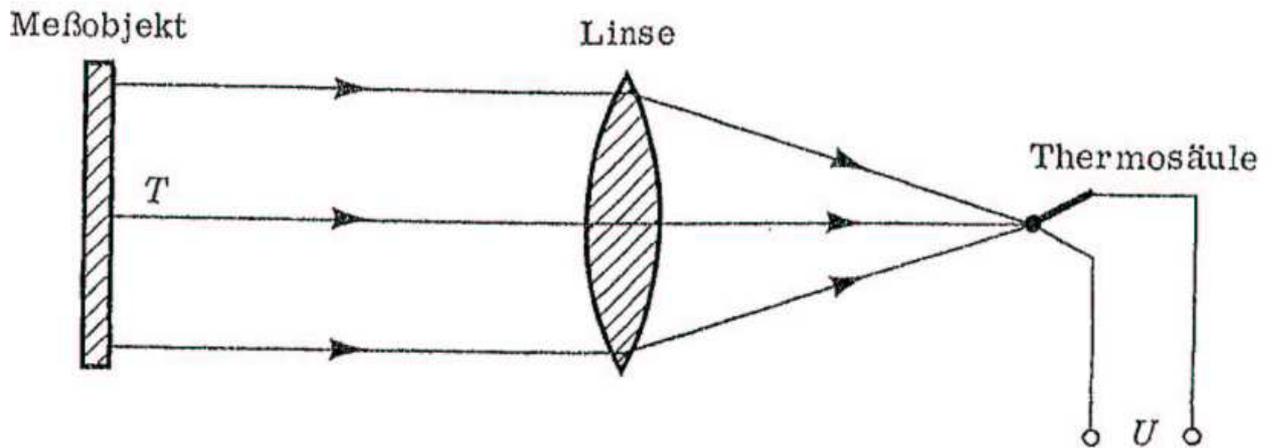
Bei einem angegebenen Distanzverhältnis von 20 und einer Objektentfernung von 10m, muss der Messfleck einen Durchmesser von mindestens 0,5m haben!

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 Thermoelement, Die Optik ist eine Sammellinse oder ein Hohlspiegel.



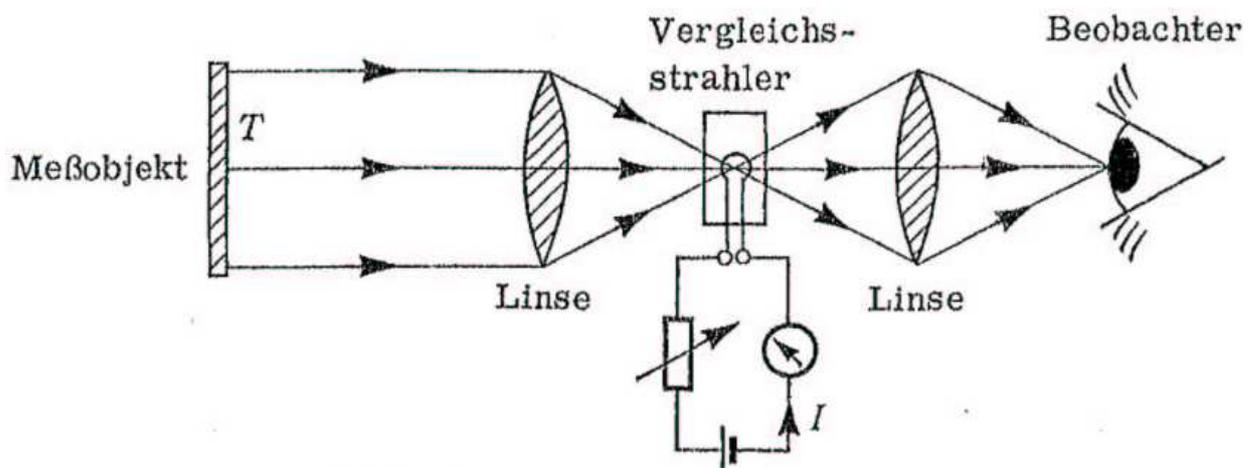
Prinzipbild eines Hohlspiegel-Pyrometers



Prinzipbild eines Linsenpyrometers

2.4.3 Teilstrahlungs-Pyrometer

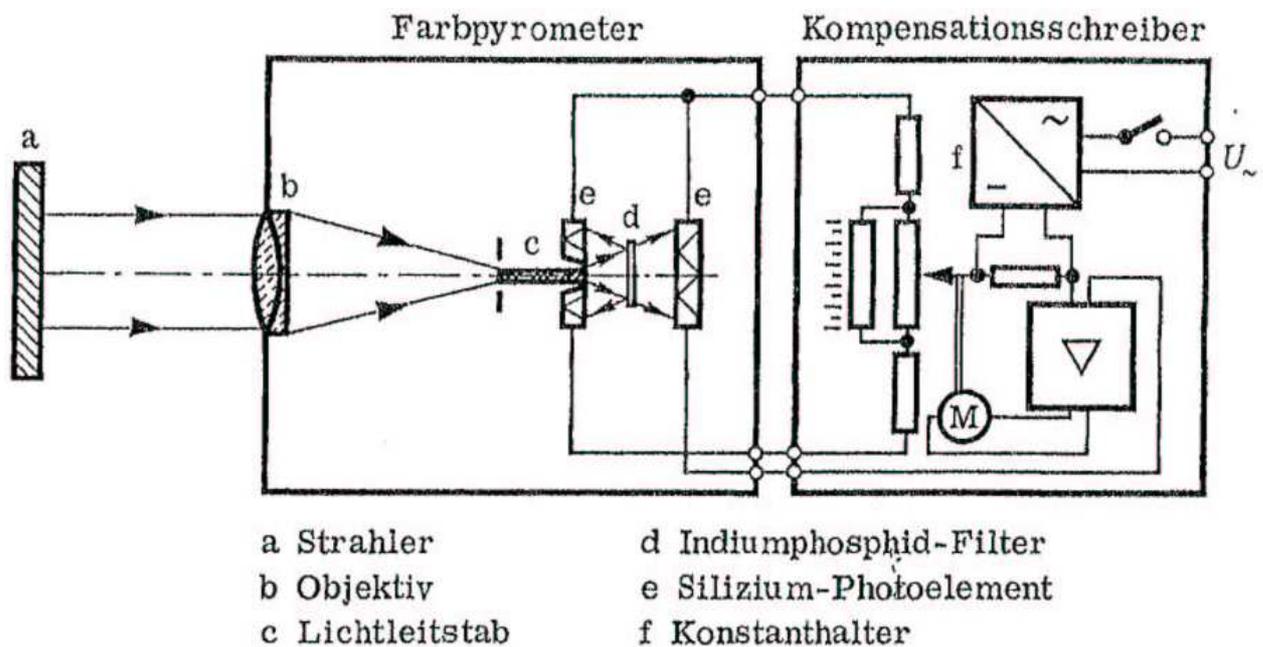
Die Leuchtdichte der Strahlung wird mit der Helligkeit des Glühfadens einer Normallampe verglichen. Ein Filter wählt ein schmales Band des Spektralbereiches aus. Spektralpyrometer.





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.



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

Technische Daten (beispielhaft)

Typ:
IW5

Meßbereiche:	300...3000°C, 8 Meßbereiche
Spektralbereich:	0,6...1,1 μm (Si); 1,45...1,8 μm (InGaAs)
Einstellzeit t_{90} :	Min 1 ms
Meßfleck:	Min 0,4 mm Durchmesser
Emissionsgrad:	20...100 % (einstellbar)
Genauigkeit:	± 1 % vom Meßbereichs-Umfang
Optik:	auswechselbare Linsenoptik, einschraubbares Durchblickvisier
Meßausgang:	4...20 mA, linear
Versorgung:	24 VDC
Schutzart:	IP 65
Optionen:	einschraubbares Pilotlicht

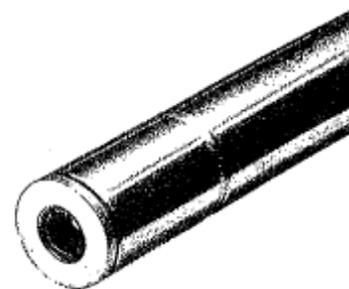
Anwendungsbereiche: Messungen an Metallen, Keramik und flüssigem Glas, z. B. beim Härten, Glühen, Sintern, Schmieden, Walzen, Löten und Schweißen. Besonders geeignet bei beengten Platzverhältnissen und extremen Umgebungstemperaturen.



Typ:
IS 300
IGA 300

Meßbereiche:	300...3000°C, 6 Meßbereiche
Spektralbereich:	0,8...1,1 μm (IS 300), 1,45...1,8 μm (IGA 300)
Einstellzeit t_{90} :	10 ms (fest)
Meßfleck:	Min 1,6 mm Durchmesser
Emissionsgrad:	0,2...1 % einstellbar
Genauigkeit:	$\pm 1,5$ % vom Meßbereichs-Umfang
Optik:	feste Linsenoptiken für 3 Meßabstände
Meßausgang:	4...20 mA, linear
Versorgung:	24 VDC
Schutzart:	IP 65
Option:	Ofen-Anbauarmatur mit Keramikrohr oder Quarzglasfenster

Anwendungsbereiche: siehe IW 5





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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 größerer Distanz
- Doppellaser zum genauen Anvisieren
- visualisierte Anzeige der Größe des Messfeldes
- Hoch- bzw. Tiefalarm
- Hintergrundbeleuchtung
- Speicherfunktion
- USB-Schnittstelle (Online-Aufzeichnung)





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011



**Lineare Temperatur-
meßbereiche:**

Nr.	Meßbereiche
1	200 - 800°C
2	300 - 1200°C
3	400 - 1500°C
4	1000 - 2500°C

Technische Daten:

Meßbereiche	200 - 2500°C
Spektralbereich	5,1 - 5,6 µm
Ansprechzeit einstellbar	0,005 - 0,5 s
Genauigkeit	1 % ± 1°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.





Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 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)

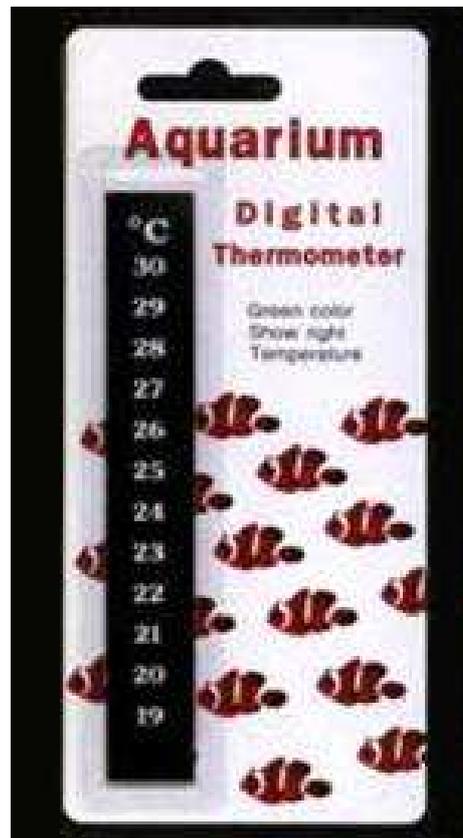


Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

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 .



Mit drei Farben: Grün = Ist-Temperatur
Braun = leicht oberhalb
Blau = leicht unterhalb



Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

2.5.2 Thermofarbe und Temperaturklebepunkte/-messstreifen

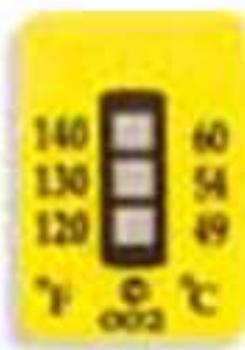
Thermofarben (auch Thermolacke, Thermochromlacke genannt), die je nach Temperatur ihre Farbe verändern, werden bei technischen Anwendungen eingesetzt, um über eine einfache optische Kontrolle zur Temperaturänderung zu verfügen. Der zugrundeliegende Effekt ist die Thermochromie.

Ein Anwendungsgebiet findet sich z. B. bei geschraubten Stromschiene, 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.

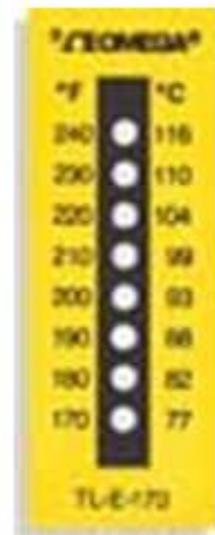
Beispiele der Fa. Omega



1 Messpunkt



oder mit 3 Messpunkten



oder mit 10 Messpunkten

Serie 21



Bogen 102 x 51 mm
Aufkleber 13 x 13 mm
Messpunkt ø 4,8 mm

Modell-Nr.	°C	Modell-Nr.	°C	Modell-Nr.	°C	Modell-Nr.	°C
21-100-(*)	38	21-170-(*)	77	21-240-(*)	116	21-325-(*)	163
21-110-(*)	43	21-180-(*)	82	21-250-(*)	121	21-350-(*)	177
21-120-(*)	49	21-190-(*)	88	21-260-(*)	127	21-375-(*)	191
21-130-(*)	55	21-200-(*)	93	21-270-(*)	132	21-400-(*)	204
21-140-(*)	60	21-210-(*)	99	21-280-(*)	138	21-500-(*)	260
21-150-(*)	68	21-221-(*)	104	21-290-(*)	143		
21-160-(*)	71	21-230-(*)	110	21-300-(*)	149		



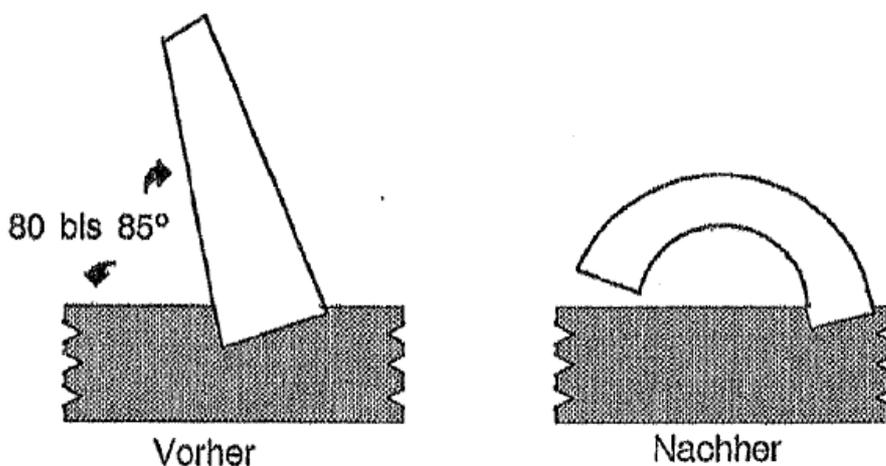
Ingenieurwesen II	Messtechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Elektrotechnik (BEII)	Temperaturmesstechnik	26. Dezember 2011

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.

Die Temperaturbereiche für Schmelzkörper liegen bei ca. 600 – 2000 GradC.



Neben diesen Formen gibt es auch Pulver, Tabletten oder Stifte die bei Erreichen ihrer Solltemperatur nieder schmelzen.