

**Leibniz Universität Hannover**  
**Institut für Elektroprozessstechnik**



**Labor T3:**  
**Temperaturmessung mit Thermoelementen und**  
**Widerstandsthermometern**

WS ..... / ..... SoSem .....	Testatstempel:	Gruppen-Nr.:
Datum: . . . . .		Name: _____
Versuchsleiter: Dipl.-Ing. André Dietrich		

Kap.	Inhalt	Seite
1.	Einleitung.....	2
2.	Flüssigkeitsthermometer.....	3
3.	Oberflächentemperaturmessung mittels Farbumschlag bei speziellen Lacken, Kreiden und Indikatorstreifen.....	4
4.	Thermoelemente .....	5
5.	Widerstandsthermometer.....	9
6.	Messschaltungen.....	11
7.	Literaturhinweise.....	13
8.	Versuchsdurchführung.....	14
9.	Anhang .....	16

## 1. Einleitung

Berührungsthermometer werden mit dem Messgegenstand in mechanische Berührung gebracht. Vor allem die Ausdehnungs- und die elektrischen Thermometer sind weit verbreitet. Bei den Ausdehnungsthermometern wird die thermische Ausdehnung eines Stoffes zur Temperaturmessung herangezogen, während bei elektrischen Thermometern eine von der Höhe der Temperatur des Messgegenstands abhängige Größe wie der Widerstand eines elektrischen Leiters oder die Thermospannung eines Thermopaars zur Temperaturbestimmung dient.

In diesem Versuch sollen nun das Thermoelement und das Widerstandsthermometer näher untersucht werden. Die folgende Darstellung zeigt die Anwendungsbereiche der verschiedenen Temperaturmessverfahren:

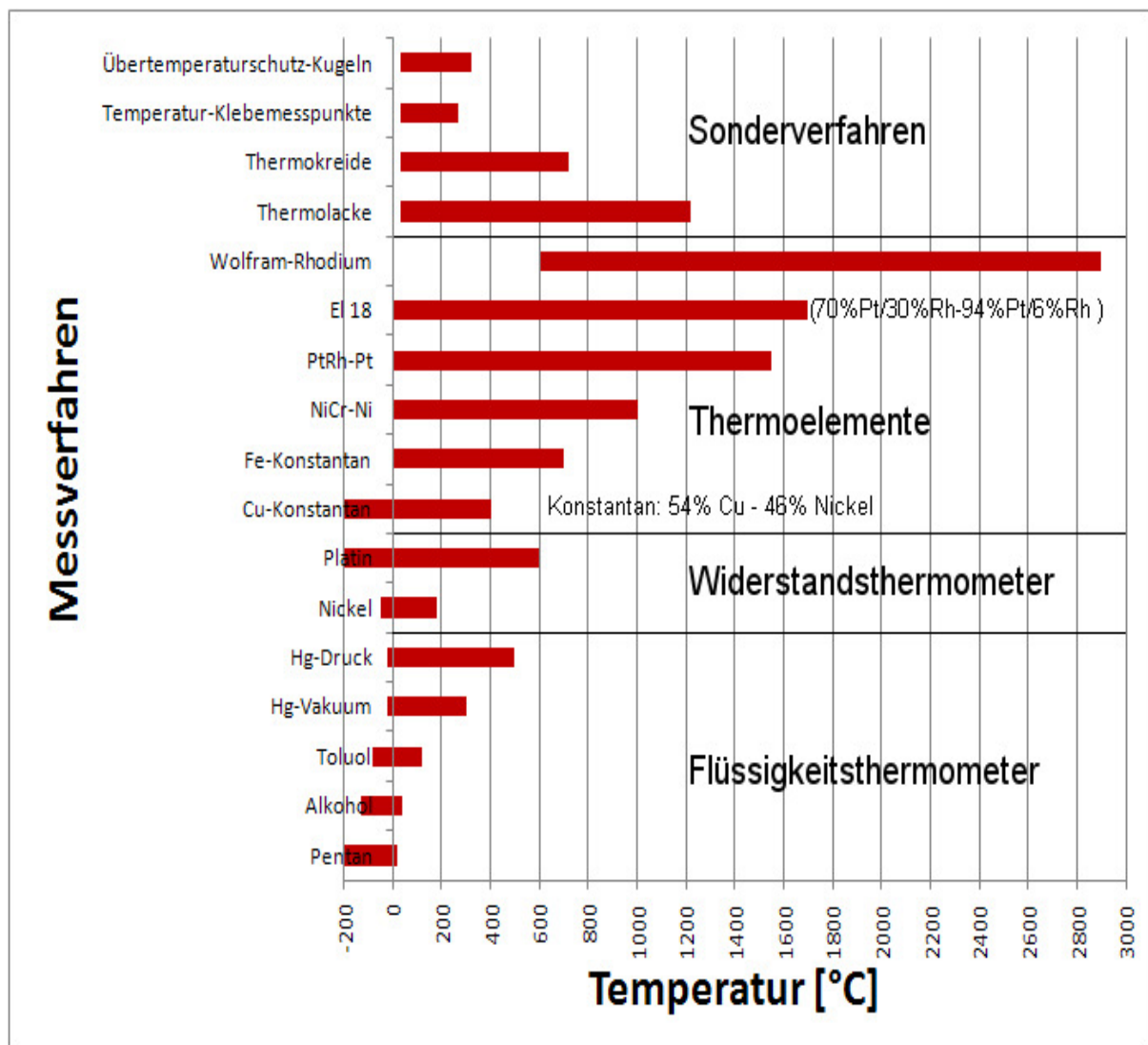


Abbildung 1: Anwendungsbereiche

## 2. Flüssigkeitsthermometer

Die Ausdehnung von Flüssigkeiten und Festkörpern ist ein Maß für die Temperaturänderung, die diese Körper erfahren haben. Bei den mechanischen Berührungsthermometern wird die Volumenänderung auf eine Längenänderung reduziert und zur Temperaturbestimmung genutzt.

Eine Flüssigkeitssäule - auch Flüssigkeitsfaden genannt - dehnt sich bei Temperaturerhöhung aus. Dabei gibt die Kuppe der Flüssigkeitssäule vor einer Skala den Temperaturmesswert an. Dieser ist durch den Unterschied zwischen der Ausdehnung von Thermometerflüssigkeit und Messkapillarmaterial bestimmt.

Das Flüssigkeitsvolumen  $V_a$  ( bei  $0^\circ\text{C}$  ) und der Querschnittsfläche  $q$  der Kapillare bestimmen die Genauigkeit des Instruments. Für die Skalierung  $\partial L / \partial \vartheta$  gilt:

$$\frac{\partial L}{\partial \vartheta} = \frac{V_0 \cdot \beta}{q}$$

$L$  : Länge der Skala in [mm]

$\beta$  : Kubischer Ausdehnungskoeffizient in [ $\text{K}^{-1}$ ]

$\frac{\partial L}{\partial \vartheta}$ : Skalierung in [mm/K]

$q$ : Querschnittsfläche in [ $\text{mm}^2$ ]

### 2.2 Messbereiche und Füllungen

Die meist verwendete Flüssigkeit für Glasthermometer oberhalb von  $-35^\circ\text{C}$  ist Quecksilber. Quecksilber bleibt in einem großen Temperaturbereich flüssig, haftet nicht an der Glaswandung, folgt wegen seiner großen Wärmeleitfähigkeit und seiner kleinen Wärmekapazität sehr rasch Temperaturänderungen und ist sehr rein herstellbar. Bis etwa  $150^\circ\text{C}$  ist die Kapillare luftleer, dagegen ist sie bei hohen Temperaturen mit einem inerten Gas, Argon oder Stickstoff gefüllt, dessen Druck den Siedepunkt des Quecksilbers erhöht. Die Druckhöhe ist vom Anzeigebereich des Instruments abhängig; sie erreicht bei  $750^\circ\text{C}$  etwa 100 bar.

Gegenüber modernen elektrischen Messverfahren sind Flüssigkeitsthermometer träge und umständlich zu handhaben. Quecksilberthermometer bieten jedoch eine hervorragende Langzeitstabilität und sind daher als Kalibrierhilfsmittel bis heute nicht verdrängt.

Für die Messung tiefer Temperaturen werden organische Flüssigkeiten benutzt, z.B.:

- Toluol =  $-90^\circ\text{C}$  bis  $+100^\circ\text{C}$

- Äthylalkohol =  $-110^\circ\text{C}$  bis  $+50^\circ\text{C}$

- Pentan =  $-200^\circ\text{C}$  bis  $+30^\circ\text{C}$ .

Die organischen Flüssigkeiten haben gegenüber Quecksilber einen höheren Ausdehnungskoeffizienten, der aber mit sinkender Temperatur sehr rasch abnimmt. Sie müssen sehr rein und wasserfrei sein. Wegen ihrer schlechteren Wärmeleitfähigkeit und größeren Wärmekapazität ist ihre Trägheit größer. Die Alterung der organischen Flüssigkeiten durch Verdampfen und Kondensieren führt zu Schrumpfungen. Deshalb muss die Eichung dieser Thermometer in kurzen Zeitabständen überprüft werden.

### 3. Oberflächentemperaturmessung mittels Farbumschlag bei speziellen Lacken, Kreiden und Indikatorstreifen

Der Wärmeübergangswiderstand spielt beim Messen von Oberflächentemperaturen eine nicht unerhebliche Rolle. Ebenfalls trägt eine große Zeitkonstante beim Messen von veränderlichen Oberflächentemperaturen zu einem nicht unerheblichen Messfehler bei. Um den Messfehler möglichst gering zu halten, sollten der Wärmeübergangswiderstand sowie die Masse des Messfühlers möglichst minimal sein. Ein geringer Übergangswiderstand wird unter anderem durch einen großen Oberflächenkontakt erreicht. Alles dies spricht für die Temperaturmessfarben. Farbe hat einen guten Oberflächenkontakt zur Messfläche und reagiert durch die geringe Masse fast trägheitslos.

Da die meisten Lacke und Indikatorstreifen irreversible Farbänderungen zeigen, ist es möglich, die Temperaturverteilung oder die maximal erreichte bzw. überschrittene Temperatur an einem Messobjekt auch nachträglich festzustellen. Diese nachträgliche Temperaturablesung kann bei Transistoren, Transformatoren oder Widerständen jederzeit zur Kontrolle der maximalen Temperatur dienen und somit zur Feststellung der Fehlerursache und zur Entscheidung von Garantiefällen herangezogen werden. Auch bei Kugellagern und Getrieben in der Flugzeug- und Motorenindustrie ist eine nachträgliche Temperaturkontrolle oft sehr nützlich.

Einige der Farben zeigen bis zu 6 Farbumschlagtemperaturen an.

Zum Beispiel die Farbe OE 94:

Originalfarbe	Farbumschlagtemperatur	Folgefärbung
Helles Blau	155 °C	Hellgrün
	230 °C	Olivgrün
	285 °C	Dunkelgrau
	290 °C	Hellgrau
	300 °C	Hellbraun
	340 °C	Blassgelbgrau

Der Farbumschlagpunkt ist in erster Linie von der Temperatur abhängig, doch hat die zeitliche Dauer der einwirkenden Temperatur ebenfalls einen geringen Einfluss. Die hier benutzten Thermindex-Lacke sind auf eine Einwirkzeit von 10 Minuten standardisiert.

## 4. Thermoelemente

### 4.1 Thermoelektrische Effekte

Unter thermoelektrischen Effekten versteht man die reversible Umformung zwischen thermischer und elektrischer Energie. Die Joulesche Wärmeentwicklung in stromdurchflossenen Leitern ist ein irreversibler Prozess und wird daher nicht als thermoelektrischer Effekt betrachtet.

Man unterscheidet Homogeneffekte, die sich in einem homogenen Leiter abspielen, und Inhomogeneffekte, bei denen zwei verschiedene Leiter zusammenwirken. Die auftretenden Phänomene in einem geschlossenen Leiterkreis sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der Peltiereffekt ist die Umkehrung des Seebeckeffektes. Bei den Effekten von Benedicks und Thomson werden die Größen Strom, Wärmestrom und Temperaturgradient so miteinander verknüpft, dass jeweils zwei die Ursache und die dritte die Wirkung sind. Diese Homogeneffekte sind so schwach, dass sie in der Praxis keine Rolle spielen.

Ursache	Wirkung	Entdecker
Temperaturdifferenz zwischen Kontaktstellen unterschiedlicher Leiter	Stromfluss im Leiterkreis	Seebeck 1821
Stromfluss über Kontaktstellen unterschiedlicher Leiter	Temperaturdifferenz zwischen Kontaktstellen	Peltier 1834
Stromfluss und Temperaturgradient entlang eines Leiters	Wärmestrom im Leiter	Thomson 1856
Temperaturgradient im Leiter und Wärmestrom im Leiter	Stromfluss in der Leiterschleife	Benedicks 1916
Stromfluss im Leiter und Wärmestrom im Leiter	Temperaturgradient längs des Leiters	Benedicks 1918

Tabelle 1: Thermoelektrische Effekte

### 4.2 Seebeckeffekt

Eine Temperaturmessung kann unter Ausnutzung des Seebeckeffektes erfolgen. Seebeck stellte fest, dass in einer Leiteranordnung mit zwei unterschiedlichen Materialien gemäß Abb.2 eine elektrische Spannung generiert wird, wenn die beiden Kontaktstellen der Materialien eine unterschiedliche Temperatur besitzen.

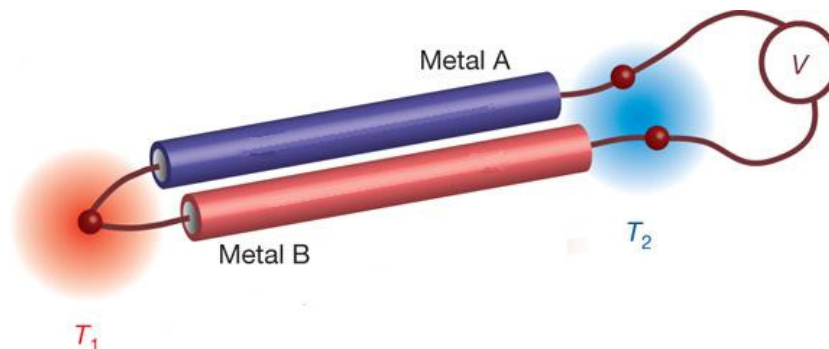


Abbildung 2: Thermospannung durch Seebeck-Effekt

Das die Thermospannung liefernde Metallpaar wird als Thermoelement bezeichnet. Die wichtigsten Anwendungen des Thermoelementes sind:

- Die Temperaturmessung
  - a) Berührungsthermometer (hier besprochen)
  - b) Strahlungsthermometer (siehe Laborversuch T4)
- Die thermisch-elektrische Energiewandlung
  - z. B. im thermisch-elektrischen Radionuklidbatterie für Raumfahrtzwecke

An der galvanischen Verbindungsstelle zweier verschiedener Materialien (Metalle oder Halbleiter) treten solange Elektronen von dem einen in das andere Material über, bis sich die Fermi-Verteilung der Elektronen der beiden Materialien im Gleichgewicht befindet. Durch den Übertritt der Elektronen hat sich eine *innere Kontaktspannung* eingestellt (Galvanipotential). Beim Schließen eines Stromkreises durch Kontaktieren der freien Enden der beiden Materialien oder Anschluss eines Strommessgerätes an den freien Enden fließt jedoch trotzdem kein Strom, solange sich der gesamte Stromkreis auf einer einheitlichen Temperatur befindet. Denn an den neuen Kontaktierungsstellen entstehen ebenfalls Kontaktspannungen von resultierend gleicher Größe, aber entgegengesetztem Vorzeichen.

Bei Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Kontaktstellen ergibt sich ein thermoelektrischer Effekt: Betrachtet man ein homogenes Leiterstück, an das keine äußere Spannung angelegt ist, so dass zunächst gilt. Bringt man die Enden nun auf unterschiedliche Temperaturen  $T$ , so führt dies zu einer Ladungsverschiebung, der sogenannten Thermodiffusion.

Ein Temperaturgradient führt zur Diffusion von Ladungsträgern vom heißen zum kalten Ende: Überall im Material haben die von warm nach kalt laufenden Elektronen eine höhere Geschwindigkeit als die in die umgekehrte Richtung laufenden. Daraus resultiert eine gerichtete Elektronenbewegung, die zum Aufbau eines elektrischen Feldes führt.

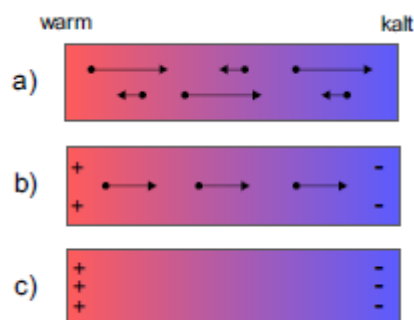


Abbildung 3: Darstellung der Elektronenbewegung in einem Leiter, der an einem Ende erwärmt wird

Im klassischen Bild haben die Ladungsträger auf der heißen Seite im Mittel eine höhere Geschwindigkeit als die auf der kalten Seite, was in Abb. 3a) durch Pfeile angedeutet ist. In jedem kleinen Volumenelement des Materials ist die Geschwindigkeit der von der warmen Seite kommenden Elektronen größer als die derer, die von der kalten Seite kommen. Damit ist der mittlere Geschwindigkeitsvektor auf das kalte Ende gerichtet, so dass eine entsprechende Ladungsverschiebung stattfindet (Abb. 3b)). Durch diesen dem Temperaturgradienten entgegengesetzten Ladungstransport sammeln sich also Elektronen am

kalten Ende an, während sich das heiße Ende entgegengesetzt lädt. Das entstehende elektrische Feld wirkt dem Thermodiffusionsstrom entgegen, der schließlich zum Erliegen kommt. Genauer gesagt tritt ein dynamisches Gleichgewicht (Abb. 3c) ein, d. h. es diffundieren genauso viel Ladungsträger vom heißen zum kalten Ende wie umgekehrt.

Der beschriebene Anteil der Thermodiffusion, welcher die Polung des Leiterstücks bestimmt, wird durch den Seebeck-Koeffizienten  $Q$  charakterisiert. In der einfachsten mikroskopischen Beschreibung fasst man die Elektronen als klassisches Teilchen-Gas auf. Man beachte allerdings, dass das Modell des freien Elektronengases zu einfach ist, da die Stoßprozesse der Ladungsträger und somit ihre mittlere freie Weglänge i. a. energieabhängig sind. Darüber hinaus hat die Streuung an strukturellen Defekten bzw. an Verunreinigungen einen großen Einfluss.

Es soll noch erwähnt werden, dass sich das chemische Potential bei Erwärmung ändert und der Thermospannung entgegen wirkt.

### 4.3 Messprinzip

Praktisch eingesetzte Thermoelemente bestehen aus zwei Drähten aus den unterschiedlichen Materialien A und B, die nur an einer Stelle, der eigentlichen Messstelle, elektrisch kontaktiert sind. Bringt man diese Messstelle in thermischen Kontakt mit der Materie, deren Temperatur  $\vartheta_1$  gemessen werden soll, so entsteht an den beiden offenen Enden  $V_A$  und  $V_B$  des Thermoelementes eine Thermospannung (Abb.4).

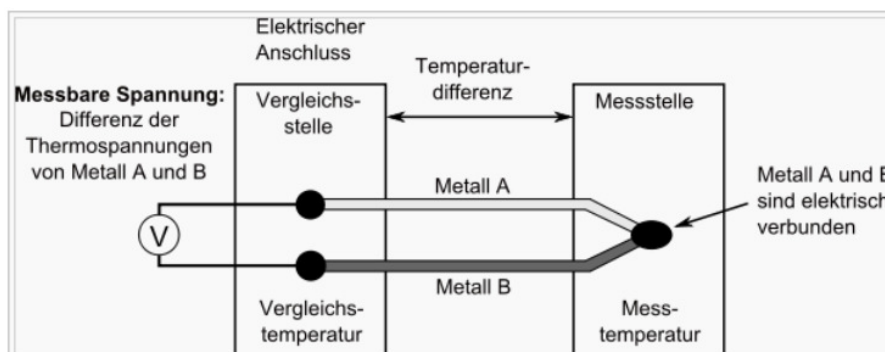


Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Messschaltung mit Thermoelement

Zur Ermittlung der zu messenden Temperatur muss also die Temperatur  $\vartheta_2$  der Vergleichsstelle bekannt sein. Die Thermospannung hängt - außer von den Temperaturen  $\vartheta_1$  und  $\vartheta_2$  - von der Art der beiden Materialien ab, aus denen das Thermoelement besteht.

Die der berechneten Spannung  $U(\vartheta_1)$  entsprechende Temperatur kann für die gängigen Thermoelementpaare Tabellen entnommen werden.

In Tabelle 2 ist diese Abhängigkeit für verschiedene Metalle dargestellt, wobei zur Gegenüberstellung nicht die Thermospannung selbst, die ja von zwei Temperaturen abhängt, sondern die nur noch von einer Temperatur abhängige Thermokraft

$$e = \frac{dU_{Th}}{d\vartheta} \left[ \text{in } \frac{mV}{K} \right]$$

benutzt wird, wobei willkürlich Platin als Bezugsnormale gesetzt wurde.

Metall	$e_{x/Pt}$ in $10^{-5}$ V/K	Metall	$e_{x/Pt}$ in $10^{-5}$ V/K
Bi	-7,00	Manganin	+0,06
Konstantan	-3,40	Ir, Rh	+0,65
Co	-1,60	Zn, Ag, Au	+0,70
Ni	-1,50	Cu	+0,75
K	-0,90	W	+0,80
Pd	-0,30	Cd	+0,90
Na	-0,20	Mo	+1,20
Pt	0	Fe	+1,80
Al, Pb	+0,40	Sb	+4,70

Tabelle 2: Thermoelektrische Spannungsreihe

Die Messung der Thermospannung erfolgt über einen Messkreis mit hochohmigem Eingang. Hierbei verwendet man im Allgemeinen Leitungen aus Kupfer als Verbindung zwischen Thermoelement und Messgerät. Dadurch werden an den Vergleichsstellen ebenfalls Thermospannungen entstehen. Hält man jedoch die Vergleichsstelle auf einer einheitlichen Temperatur, sodass die Verbindungspunkte  $V_A$  und  $V_B$  (siehe Abb.4) die gleiche Temperatur haben, so werden diese zusätzlichen Thermospannungen eliminiert und das Material der Zuleitungen bleibt ohne Einfluss auf die Messung. Dies lässt sich leicht zeigen, wenn man in den in Abb.4 skizzierten Leiterkreis aus 3 Leitern verschiedener Materialien die Thermokraft (bezogen auf Pt) betrachtet.

Es gilt:

$$\begin{aligned} \frac{dU_{Th}(\vartheta_1, \vartheta_2)}{d\vartheta} &= e_{\frac{A}{Pt}}(\vartheta_1) - e_{\frac{B}{Pt}}(\vartheta_1) + e_{\frac{B}{Pt}}(\vartheta_2) - e_{\frac{C}{Pt}}(\vartheta_2) + e_{\frac{C}{Pt}}(\vartheta_2) - e_{\frac{A}{Pt}}(\vartheta_2) \\ &= e_{\frac{A}{Pt}}(\vartheta_1) - e_{\frac{B}{Pt}}(\vartheta_1) + e_{\frac{B}{Pt}}(\vartheta_2) - e_{\frac{A}{Pt}}(\vartheta_2) \end{aligned}$$

d.h. die Anteile, die das Material C (Cu-Zuleitung) betreffen, haben keinen Einfluss auf die Thermospannung. Dies gilt in gleicher Weise für das Verbindungslot der Kontaktstelle, sodass auch hier keine Verfälschung der Messung auftritt.



#### 4.4 Bezugstemperaturkompensation

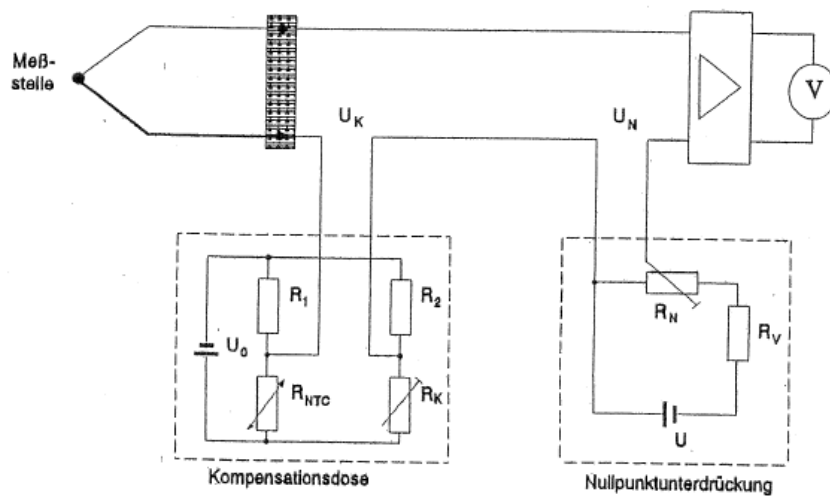


Abbildung 5: Prinzipieller Aufbau einer Messschaltung mit Thermoelement

Die von einem Thermoelement abgegebene Thermospannung ist ein Maß für die Temperaturdifferenz zwischen Messstelle und Vergleichsstelle. Die Vergleichsstelle befindet sich in den meisten Anwendungsfällen auf Raumtemperatur, sodass die Thermospannung nicht gegen den gewünschten Bezugspunkt  $0^{\circ}\text{C}$  gemessen wird. Um trotzdem eine auf  $0^{\circ}\text{C}$  bezogene Messspannung zu erhalten, muss bei Verwendung eines Messverstärkers eine zusätzliche Spannung in den Kreis eingespeist werden, die der Thermospannung entspricht, die mit dem Thermoelement bei einer Messung der Vergleichsstellentemperatur gegen  $0^{\circ}\text{C}$  gemessen würde. Diesen Vorgang nennt man Nullpunktunterdrückung; eine mögliche Schaltung ist in Abb.5 angegeben. Falls erforderlich, kann mit dieser Zusatzschaltung auch der gesamte Messbereich zu anderen Werten hin verschoben werden, ohne dass die Empfindlichkeit des Messverstärkers verändert werden muss.

Wenn nicht gewährleistet ist, dass die Vergleichsstelle auf konstanter Temperatur bleibt, ist der Einsatz einer sogenannten Kompensationsdose sinnvoll, die die Schaltung zur Nullpunktunterdrückung ersetzen oder zusätzlich eingefügt werden kann. Mit dieser Brückenschaltung (Abb.5) wird bei Abweichungen der Vergleichstellentemperatur von der zunächst eingestellten Abgleichtemperatur eine Kompensationsspannung eingespeist, die weiterhin eine auf z.B.  $0^{\circ}\text{C}$  Messung ermöglicht. Dazu wird in einen Brückenweig ein temperaturabhängiger Widerstand (NTC) gelegt, der thermisch mit der Vergleichsstelle gekoppelt ist. Moderne Temperaturmessgeräte mit Thermoelement-Temperaturfühlern und direkter Anzeige in  $^{\circ}\text{C}$  sind intern mit Nullpunktunterdrückung und Kompensationsschaltung ausgestattet.

#### 5. Widerstandsthermometer

Man unterscheidet grundsätzlich die Metalldraht-Widerstandsthermometer und die Halbleiter-Widerstandsthermometer. Bei den Metalldraht-Widerstandsthermometern wird entweder ein reines Metall oder eine spezielle Metalllegierung verwendet. Die Streuung von Leitungselektronen im Atomgitter charakterisiert das Temperaturverhalten solcher

Werkstoffe. Bei Halbleiter-Widerstandsthermometern beruht die Temperaturabhängigkeit auf der Zunahme von Leitungselektronen. Die Materialien sind Halbleiter oder Oxide.

### 5.1 Materialien

Die Forderungen an das Widerstandsmaterial sind:

- möglichst hohe Temperaturempfindlichkeit
- Langzeitstabilität
- chemische Stabilität in Bezug auf Verunreinigungen
- einfache Reproduzierbarkeit

Auf Grund seiner Beständigkeit und seines weiten Temperaturbereiches (von  $-220^{\circ}\text{C}$  bis  $850^{\circ}\text{C}$ ) hat sich im industriellen Bereich Platin durchgesetzt. Nickel hat zwar einen um den Faktor 1,6 größeren Temperaturkoeffizienten, ist aber auf Grund von Gefügewandlungen nur im Bereich zwischen  $-60^{\circ}\text{C}$  und  $180^{\circ}\text{C}$  zu benutzen. Kupfer zeichnet sich dadurch aus, dass sich sein Widerstand linear mit der Temperatur ändert, wird aber wegen seiner Oxidationsanfälligkeit nur für Präzisionsmessungen im Bereich von  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $150^{\circ}\text{C}$  angewendet. Weiterhin bedingt der geringe Kupferwiderstand entweder große Abmessungen oder sehr dünne Drähte.

Spezialthermometer für tiefe Temperaturen sind die Blei- und Indium-Widerstandsthermometer. Sie bestehen wie die anderen Widerstandsthermometer aus einer Wicklung aus sehr reinem Metalldraht. Die Begrenzung zu sehr tiefen Temperaturen wird durch die Supraleitung bestimmt, und zwar beginnt sie bei Blei um 7,3 K und bei Indium um etwa 3,5 K. Ein Nachteil dieser Thermometer ist ihre geringe Reproduzierbarkeit, die auf die schlechten mechanischen Eigenschaften dieser Metalle zurückzuführen ist.

### 5.2 Platinmesswiderstand Pt-100

Als Widerstandsmaterial wird in einigen Fällen sehr reines Platin mit einem Widerstandsverhältnis  $R_{100^{\circ}\text{C}}/R_{0^{\circ}\text{C}} = 1,3910$  benutzt. Für handelsübliche Platinthermometer ist in DIN 43760 leicht verunreinigtes Platin mit  $R_{100^{\circ}\text{C}}/R_{0^{\circ}\text{C}} = 1,385$  vorgeschrieben. Das bewirkt, dass sich die Widerstandswerte infolge von Aufnahme von Fremdstoffen wesentlich weniger ändern als bei reinem Platin. Dadurch wird die Herstellung des Widerstandsthermometers problemloser (z.B.: Eingießen in Glas- oder Keramikgehäuse).

Nach DIN 43760 sind für technische Widerstandsthermometer die Grundwerte durch folgende Zahlenwertgleichung zu bestimmen (Kennlinie des Pt-100):

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)$$

$R_{\vartheta}$ : Widerstand bei der Temperatur  $\vartheta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R_0$ : Widerstand bei der Temperatur  $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$

$a = 3,90784 \cdot 10^{-3} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$b = -0,578408 \cdot 10^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-2}$

Für negative Temperaturen gilt diese Beziehung jedoch nicht. Näheres dazu: u. a. [3] ab Seite 106.

**Frage 1: Nach welchen Gesichtspunkten werden Thermometer bzw. Temperaturmessfühler ausgewählt?**

### 5.3 Selbsterwärmung

In Temperaturmessschaltungen erzeugt der zur Messung notwendige Strom eine Verlustwärme, die das Messergebnis verfälscht (Erwärmungsfehler). Dieses Temperaturgefälle über dem Gehäuse hängt von der Bauform (Oberfläche) und vom Quadrat des Messstromes ab.

Der Selbsterwärmungsfehler in Kelvin/Watt errechnet sich nach der Formel

$$\Delta\vartheta = P_g \cdot S$$

$\Delta\vartheta$ : Temperaturdifferenz

$P_g$ : Verlustleistung  $P_g = I^2 \cdot R_g$

S: Selbsterwärmungskoeffizient

Der Selbsterwärmungskoeffizient wird vom Hersteller bei bewegter Luft der Geschwindigkeit  $v = 1 \text{ m/s}$  angegeben. In diesem Versuch soll S für Messungen in Flüssigkeiten ermittelt werden.

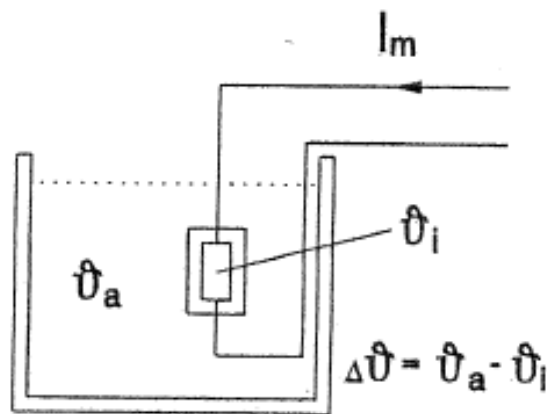


Abbildung 6: Selbsterwärmung

## 6. Messschaltungen für Widerstandsthermometer

### 6.1 Zwei-, Drei- und Vierleiterschaltung

In der einfachsten Form befindet sich der Messwiderstand in einem Zweig der Wheatstone-Brücke. Sie wird als Ausschlagbrücke oder im Nullspannungsverfahren benutzt. Im Nullspannungsverfahren wird eine reine Widerstandsmessung durchgeführt, die unabhängig von der Stabilität der Brückenspannung ist.

Beim Ausschlagverfahren benötigt man eine stabilisierte Versorgungsspannung. Im Diagonalzweig der Brücke liegt ein Messinstrument, dessen Skala entsprechend der Brückengleichung ausgelegt ist, da der Zusammenhang zwischen Widerstandsänderung und Anzeige nicht linear verläuft.

Für genaue Messungen ist besonders der Zuleitungseinfluss zu beachten, weil die Temperaturmessung auf einer Widerstandsänderung beruht. Da bei der Brückenschaltung die Zuleitungswiderstände in Reihe mit dem Messwiderstand liegen, geht deren Widerstand direkt ins Messergebnis ein. Hierbei entspricht eine Widerstandsänderung von  $0,4\Omega$  einer Temperaturdifferenz von  $1^\circ\text{C}$  beim Pt-100-Thermometer.

Um den Temperatureinfluss auf die Zuleitung zu eliminieren, verwendet man die Dreileiterschaltung. Bei ihr liegt je eine Zuleitung im Thermometer- und im Vergleichszweig der Brücke. Auf diese Weise gehen die Widerstandsänderungen nur zu einem Bruchteil in die Messung ein. Nachteilig ist, dass man eine zusätzliche Leitung benötigt.

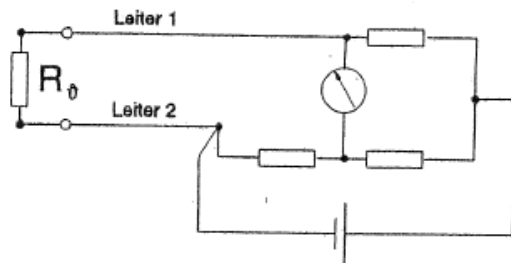


Abbildung 7: Zweileiterschaltung

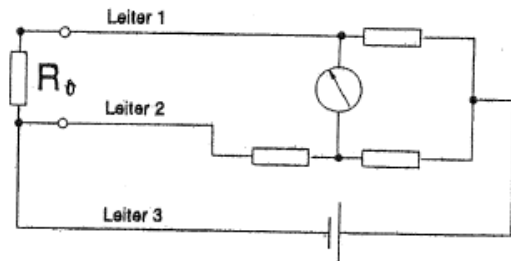


Abbildung 8: Dreileiterschaltung

Bei der Vierleiterschaltung wird der Messwiderstand mit einem konstanten Strom gespeist, und das Messsignal - der Spannungsabfall über dem Widerstand - wird über getrennte Leitungen der Messeinrichtung zugeführt. Der Leitungswiderstand hat keinen Einfluss mehr auf das Messergebnis, es wird eine hohe Konstanz des Speisestromes verlangt.

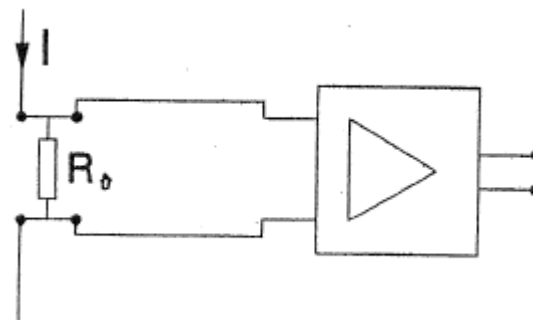


Abbildung 9: Vierleiterschaltung

## 6.2 Besondere Messschaltungen

Da meist die Forderung gestellt wird, dass die Temperatur direkt auf einem Messinstrument ablesbar sein soll, muss der Zusammenhang zwischen Temperatur und Messsignal (z.B. Spannung, Strom) linear sein. Dies gilt insbesondere für die Verwendung von Digitalvoltmetern als Anzeigeeinstrument, bei denen man den Skalenverlauf nicht beeinflussen kann. In der Ausschlagbrücke resultiert die Nichtlinearität zwischen Ausgangsspannung und zu messender Temperatur zum Einen aus dem nichtlinearen Zusammenhang zwischen  $U_a$  und  $R_\theta$ , der der Brückengleichung gehorcht, zum Anderen aus dem nichtlinearen Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur. Letzteres lässt sich durch Zusammenschalten verschiedener Materialien beseitigen, wobei es sehr aufwendig ist, die verschiedenen Temperaturkoeffizienten aufeinander abzustimmen. Im analogen Bereich werden nichtlineare Verstärker verwendet; bei Verarbeitung des Messwertes im digitalen Bereich bedient man sich der Polynomfunktion zur Linearisierung.

### 6.2.1 Brückenschaltung im Ausschlagverfahren

Die Ausgangsspannung der Brücke wird durch die einstellbare Versorgungsspannung bestimmt. Um den Selbsterwärmungsfehler des Pt-100-Thermometers möglichst gering zu halten, soll der Messstrom den Wert von 7 mA nicht überschreiten.

Da die Brücke durch den Eingangswiderstand des Anzeigeinstrumentes in den meisten Fällen belastet wird und zusätzlich die zu messende Spannung sehr gering ist, findet ein Verstärker mit nachgeschaltetem Impedanzwandler Anwendung. Hierbei benötigt das Anzeigeninstrument eine nichtlineare Skala.

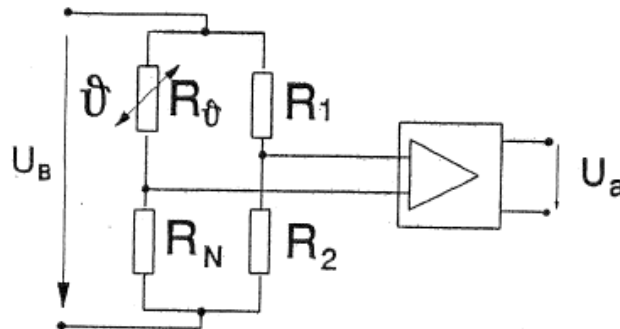


Abbildung 10: Brückenschaltung

**Frage 2:** Leiten Sie aus Abbildung 10 die Gleichung für die Spannung  $U_a$  in Abhängigkeit der Widerstände und der Spannung  $U_B$  her (Verstärkung = 1)!

### 6.2.2 Konstantstromspeisung

Um den Einfluss der Brückenfunktion zu beseitigen, wird der Pt-100-Messwiderstand mit konstantem Strom gespeist ( $< 7$  mA). Um eine Anzeige mit Nullpunkt zu erhalten, wird von dem Spannungsabfall über dem Pt-100 eine konstante Spannung subtrahiert. Dabei kann der Pt-100-Meßwiderstand bei langen Leitungen in Vierleiterschaltung betrieben werden.

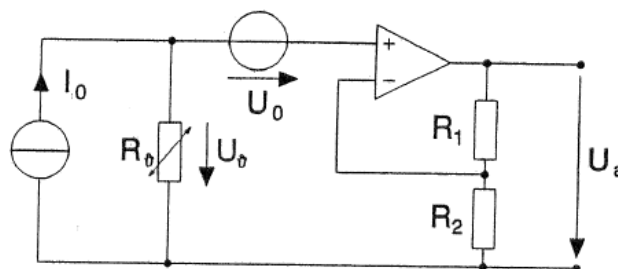


Abbildung 11: Konstantstromschaltung

**Frage 3:** Leiten Sie aus Abbildung 11 die Gleichung für die Spannung  $U_a$  in Abhängigkeit der Größen  $I_0$ ,  $U_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_0$  her!

Hinweis: Die Eingangsströme und die Spannung zwischen den beiden Eingängen des Operationsverstärkers sind zu Null zu setzen.

**Frage 4:** Welche Aufgabe hat die Spannung  $U_0$  ?

## 7. Literaturhinweise

- [1] L. Weichert                      Temperaturmessung in der Technik  
Lexika-Verlag, Grafenau, 1976
- [2] L. v. Körtvélyessy              Thermoelement Praxis  
Vulkan-Verlag, Essen, 1981
- [3] F. Lieneweg                      Handbuch der Technischen Temperaturmessung  
Vieweg-Verlag, Braunschweig 1976
- [4] R. Pelster                        Thermospannungen - Viel benutzt und fast immer  
falsch erklärt 2005

## 8. Vorbereitung und Versuchsdurchführung

### 00. Vorbereitung

Die Fragen 1 - 4 und die zwei Aufgaben a) und b) sind vor Versuchsbeginn schriftlich zu bearbeiten!

- a) Stellen Sie die Vor- und Nachteile der Ausdehnungs- und elektrischen Thermometer gegenüber den elektrischen Thermometern dar.
- b) Aus den vorgegebenen Thermospannungen und Vergleichsstellentemperaturen sind mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Tabellen (Anhang) die zugehörigen Temperaturen zu bestimmen:

Thermoelement	$\vartheta_V$ [°C]	$U_{Th}$ [mV]	$\vartheta_M$ [°C]
NiCr / Ni	19,0	16,14	
NiCr / Ni	-2,0	0,44	
PtRh / Pt	25,5	11,27	
El 18	24,0	12,58	

### 01. Demonstration des Thermoelektrischen Effekts

- a) Fertigen Sie für das Protokoll eine Skizze des Versuchsaufbaus an und erklären Sie das gezeigte Phänomen!
- b) Berechnen Sie die Stromstärke innerhalb des Kreises unter Benutzung der Tabelle 2 (siehe Seite 7) und folgender Randbedingungen:

$$\begin{array}{lll} \text{Thermoelement: Cu-Fe} & \text{Temp.-Differenz: } \Delta\vartheta = 200\text{K} & \\ \kappa_{\text{gemittelt}} = 4 \cdot 10^5 \text{ S/m} & \text{Länge} = 14\text{cm} & \text{Quers.-Fläche} = 100\text{mm}^2 \end{array}$$

### 02. Messschaltung mit NiCr-Ni-Thermoelementen für 0...100°C

- a) Parametrierung, Aufbau und Eichung bzw. Kontrolle der Schaltung (siehe Beiblatt)
- b) Aufnahme der dynamischen Kennlinie in Wasser. **Einstellung (A)**
- c) Aufnahme der dynamischen Kennlinie in Luft. **Einstellung (B)**

### 03. Messschaltung mit NiCr-Ni-Thermoelementen für 150...250°C

- a) Parametrierung, Aufbau und Eichung bzw. Kontrolle der Schaltung (siehe Beiblatt)
- b) Aufnahme der Abkühlungskurve - Aufnahme bei ca.250°C starten. **Einstellung (C)**

04. Bestimmung des Selbsterwärmungskoeffizienten von Pt-100-Messfühlern

Der Selbsterwärmungskoeffizient eines Pt-100-Messfühlers soll für ruhendes Wasser als Messmedium bestimmt werden. Der Messfühler wird in einer Wheatstone-Brücke im Nullspannungsverfahren betrieben. Bestimmen Sie für beide Messfühler den Selbsterwärmungskoeffizienten  $S$  und deuten Sie die Messergebnisse!

a) Brückenschaltung für das Abgleichverfahren aufbauen

*Hinweis:* Brückenschaltung mit  $U_{Batt}=4,0$  V (Klemmen: 3 = plus, 4 = minus)

b)  $R_N$  im abgeglichenen Zustand für beide Pt-100-Messfühler notieren

c) Bestimmen Sie die Selbsterwärmungskoeffizienten unter Berücksichtigung der DIN43760 (Siehe S. 10)

05. Dynamisches Verhalten der Pt-100-Messfühler

Selbsterwärmungseffekte sollen sehr gering sein, daher:  $U_{Batt} = 1,0$  V und  $R_N = 100,0\Omega$ . Folgende Messungen des dynamischen Verhaltens sind vorzunehmen:

a) Luftmessung: **Einstellung (D)** für Keramik, **Einstellung (E)** für Glas

b) Wassermessung: **Einstellung (F)** für Keramik, **Einstellung (G)** für Glas

<b>Einstellung</b>	<b>Abtastrate [kHz]</b>	<b>Samples</b>
A	20	20k
B	0,2	20k
C		
D	0,2	60k
E	1	300k
F	1000	5k
G	200	4k

06. Hinweise für das Protokoll

Das Zeitverhalten von Thermometern soll durch Aufbringen eines Temperatursprungs bestimmt werden. Der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung wird mit einem Datenerfassungsgerät, welches mit einem PC verbunden ist, aufgezeichnet. Zu untersuchen sind dabei die drei verschiedenen Messfühler jeweils in ruhendem Wasser und in ruhender Luft (d.h.  $v = 0$  m/s).

Leiten Sie aus dem zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung ein thermisches Ersatzschaltbild für die Messfühler ab. Bestimmen Sie die für das Zeitverhalten charakteristischen Größen (z.B. Zeitkonstante) und geben Sie diese an. Erklären Sie die unterschiedlichen Ergebnisse.

Das Protokoll soll eine saubere Ausführung der vier Aufgaben (siehe 00.Vorbereitung) und der Berechnungen zu  $U_N$  und  $R_L$  aus 9a) und 9b) enthalten. Zudem werden eine Einleitung und ein ausführliches Fazit verlangt.

Weitere Punkte für das Protokoll werden während des Laborverlaufs angesprochen.

## 9. Anhang

### 9.1 Beiblatt zu den Aufgaben 02. und 03.

#### Entwurf und Parametrierung einer Messschaltung für NiCr/Ni-Thermoelemente

Es ist eine Messschaltung für NiCr/Ni-Thermoelemente zu entwerfen und aufzubauen

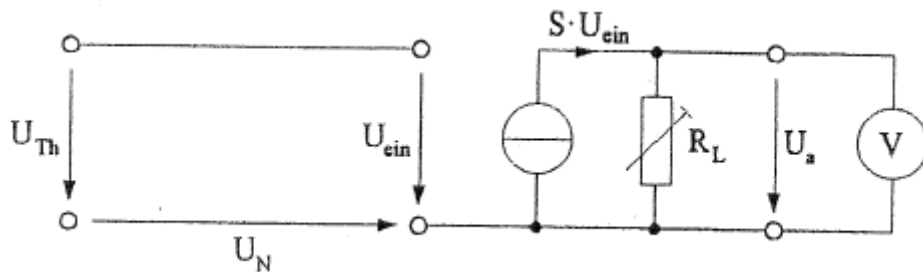
a) Für den Temperaturbereich 0...100°C. (Aufgabe 02.)

b) Für den Temperaturbereich 150...250°C. (Aufgabe 03.)

Als Messverstärker dient eine spannungsgesteuerte Stromquelle mit  $S = 500 \text{ mA/V}$ ; der gewünschte Ausgangsspannungsbereich von jeweils 0...1 V wird mit einem verstellbaren Lastwiderstand (0... 500Ω) eingestellt. Die Messgenauigkeit der aufgebauten Schaltung ist an den Punkten 0°C und 100°C zu überprüfen.

Eventuelle Abweichungen der Messergebnisse von den gewünschten Größen sind zu diskutieren.

Messschaltung:



Es gilt  $U_{Th} = U_M - U_V$ , wobei  $U_V$  an der Vergleichsstelle gemessen wird.

a) Temperaturbereich 0°C ... 100°C

gefordert:  $U_a(0 \text{ °C}) = 0 \text{ Volt}$   
 $U_a(100 \text{ °C}) = 1 \text{ Volt}$

Vergleichsstellentemperatur  $\vartheta_V = 20 \text{ °C}$

gesucht:  $U_N, R_L$

$\Rightarrow U_N = \underline{\hspace{2cm}}$

$\Rightarrow R_L = \underline{\hspace{2cm}}$

b) Temperaturbereich 150°C ... 250°C

gefordert:  $U_a(150 \text{ °C}) = 0 \text{ Volt}$   
 $U_a(250 \text{ °C}) = 1 \text{ Volt}$

Vergleichsstellentemperatur  $\vartheta_V = 20 \text{ °C}$

gesucht:  $U_N, R_L$

$\Rightarrow U_N = \underline{\hspace{2cm}}$

$\Rightarrow R_L = \underline{\hspace{2cm}}$



### 9.2 Wertetabelle Messfühler

Pt-100-Wertetabelle (jede Spalte stellt die Erhöhung um 1K dar)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-100	60,25	59,85	59,44	59,04	58,63	58,22	57,82	57,41	57,00	56,60
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12
100	138,50	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91
110	142,29	142,66	143,04	143,42	143,80	144,17	144,55	144,93	145,31	145,68
120	146,06	146,44	146,81	147,19	147,57	147,94	148,32	148,70	149,07	149,45
130	149,82	150,20	150,57	150,95	151,33	151,70	152,08	152,45	152,83	153,20
140	153,58	153,95	154,32	154,70	155,07	155,45	155,82	156,19	156,57	156,94
150	157,31	157,69	158,06	158,43	158,81	159,18	159,55	159,93	160,30	160,67
160	161,04	161,42	161,79	162,16	162,53	162,90	163,27	163,65	164,02	164,39
170	164,76	165,13	165,50	165,87	166,24	166,61	166,98	167,35	167,72	168,09
180	168,46	168,83	169,20	169,57	169,94	170,31	170,68	171,05	171,42	171,79
190	172,16	172,53	172,90	173,26	173,63	174,00	174,37	174,74	175,10	175,47
200	175,84	176,21	176,57	176,94	177,31	177,68	178,04	178,41	178,78	179,14
210	179,51	179,88	180,24	180,61	180,97	181,34	181,71	182,07	182,44	182,80
220	183,17	183,53	183,90	184,26	184,63	184,99	185,36	185,72	186,09	186,45
230	186,82	187,18	187,54	187,91	188,27	188,63	189,00	189,36	189,72	190,09
240	190,45	190,81	191,18	191,54	191,90	192,26	192,63	192,99	193,35	193,71
250	194,07	194,44	194,80	195,16	195,52	195,88	196,24	196,60	196,96	197,33

**Spannungstabelle für Thermoelemente Typ K (Ni-Cr / Ni-Al) gem. EN 60584**

Temperaturbereich: -100°C ... +259°C

alle Spannungswerte in  $\mu\text{V}$ , Vergleichsstellentemperatur: 0°C

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
-100	-3554	-3523	-3492	-3462	-3431	-3400	-3368	-3337	-3306	-3274	-3243
-90	-3243	-3211	-3179	-3147	-3115	-3083	-3050	-3018	-2986	-2953	-2920
-80	-2920	-2887	-2854	-2821	-2788	-2755	-2721	-2688	-2654	-2620	-2587
-70	-2587	-2553	-2519	-2485	-2450	-2416	-2382	-2347	-2312	-2278	-2243
-60	-2243	-2208	-2173	-2138	-2103	-2067	-2032	-1996	-1961	-1925	-1889
-50	-1889	-1854	-1818	-1782	-1745	-1709	-1673	-1637	-1600	-1564	-1527
-40	-1527	-1490	-1453	-1417	-1380	-1343	-1305	-1268	-1231	-1194	-1156
-30	-1156	-1119	-1081	-1043	-1006	-968	-930	-892	-854	-816	-778
-20	-778	-739	-701	-663	-624	-586	-547	-508	-470	-431	-392
-10	-392	-353	-314	-275	-236	-197	-157	-118	-79	-39	0
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357	397
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758	798
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1163	1203
30	1203	1244	1285	1326	1366	1407	1448	1489	1530	1571	1612
40	1612	1653	1694	1735	1776	1817	1858	1899	1941	1982	2023
50	2023	2064	2106	2147	2188	2230	2271	2312	2354	2395	2436
60	2436	2478	2519	2561	2602	2644	2685	2727	2768	2810	2851
70	2851	2893	2934	2976	3017	3059	3100	3142	3184	3225	3267
80	3267	3308	3350	3391	3433	3474	3516	3557	3599	3640	3682
90	3682	3723	3765	3806	3848	3889	3931	3972	4013	4055	4096
100	4096	4138	4179	4220	4262	4303	4344	4385	4427	4468	4509
110	4509	4550	4591	4633	4674	4715	4756	4797	4838	4879	4920
120	4920	4961	5002	5043	5084	5124	5165	5206	5247	5288	5328
130	5328	5369	5410	5450	5491	5532	5572	5613	5653	5694	5735
140	5735	5775	5815	5856	5896	5937	5977	6017	6058	6098	6138
150	6138	6179	6219	6259	6299	6339	6380	6420	6460	6500	6540
160	6540	6580	6620	6660	6701	6741	6781	6821	6861	6901	6941
170	6941	6981	7021	7060	7100	7140	7180	7220	7260	7300	7340
180	7340	7380	7420	7460	7500	7540	7579	7619	7659	7699	7739
190	7739	7779	7819	7859	7899	7939	7979	8019	8059	8099	8138
200	8138	8178	8218	8258	8298	8338	8378	8418	8458	8499	8539
210	8539	8579	8619	8659	8699	8739	8779	8819	8860	8900	8940
220	8940	8980	9020	9061	9101	9141	9181	9222	9262	9302	9343
230	9343	9383	9423	9464	9504	9545	9585	9626	9666	9707	9747
240	9747	9788	9828	9869	9909	9950	9991	10031	10072	10113	10153
250	10153	10194	10235	10276	10316	10357	10398	10439	10480	10520	10561

**Spannungstabelle für Thermoelemente Typ K (Ni-Cr / Ni-Al) gem. EN 60584**

Temperaturbereich: +260°C ... +600°C

alle Spannungswerte in  $\mu\text{V}$ , Vergleichsstellentemperatur: 0°C

<b>260</b>	10561	10602	10643	10684	10725	10766	10807	10848	10889	10930	10971
<b>270</b>	10971	11012	11053	11094	11135	11176	11217	11259	11300	11341	11382
<b>280</b>	11382	11423	11465	11506	11547	11588	11630	11671	11712	11753	11795
<b>290</b>	11795	11836	11877	11919	11960	12001	12043	12084	12126	12167	12209
<b>300</b>	12209	12250	12291	12333	12374	12416	12457	12499	12540	12582	12624
<b>310</b>	12624	12665	12707	12748	12790	12831	12873	12915	12956	12998	13040
<b>320</b>	13040	13081	13123	13165	13206	13248	13290	13331	13373	13415	13457
<b>330</b>	13457	13498	13540	13582	13624	13665	13707	13749	13791	13833	13874
<b>340</b>	13874	13916	13958	14000	14042	14084	14126	14167	14209	14251	14293
<b>350</b>	14293	14335	14377	14419	14461	14503	14545	14587	14629	14671	14713
<b>360</b>	14713	14755	14797	14839	14881	14923	14965	15007	15049	15091	15133
<b>370</b>	15133	15175	15217	15259	15301	15343	15385	15427	15469	15511	15554
<b>380</b>	15554	15596	15638	15680	15722	15764	15806	15849	15891	15933	15975
<b>390</b>	15975	16017	16059	16102	16144	16186	16228	16270	16313	16355	16397
<b>400</b>	16397	16439	16482	16524	16566	16608	16651	16693	16735	16778	16820
<b>410</b>	16820	16862	16904	16947	16989	17031	17074	17116	17158	17201	17243
<b>420</b>	17243	17285	17328	17370	17413	17455	17497	17540	17582	17624	17667
<b>430</b>	17667	17709	17752	17794	17837	17879	17921	17964	18006	18049	18091
<b>440</b>	18091	18134	18176	18218	18261	18303	18346	18388	18431	18473	18516
<b>450</b>	18516	18558	18601	18643	18686	18728	18771	18813	18856	18898	18941
<b>460</b>	18941	18983	19026	19068	19111	19154	19196	19239	19281	19324	19366
<b>470</b>	19366	19409	19451	19494	19537	19579	19622	19664	19707	19750	19792
<b>480</b>	19792	19835	19877	19920	19962	20005	20048	20090	20133	20175	20218
<b>490</b>	20218	20261	20303	20346	20389	20431	20474	20516	20559	20602	20644
<b>500</b>	20644	20687	20730	20772	20815	20857	20900	20943	20985	21028	21071
<b>510</b>	21071	21113	21156	21199	21241	21284	21326	21369	21412	21454	21497
<b>520</b>	21497	21540	21582	21625	21668	21710	21753	21796	21838	21881	21924
<b>530</b>	21924	21966	22009	22052	22094	22137	22179	22222	22265	22307	22350
<b>540</b>	22350	22393	22435	22478	22521	22563	22606	22649	22691	22734	22776
<b>550</b>	22776	22819	22862	22904	22947	22990	23032	23075	23117	23160	23203
<b>560</b>	23203	23245	23288	23331	23373	23416	23458	23501	23544	23586	23629
<b>570</b>	23629	23671	23714	23757	23799	23842	23884	23927	23970	24012	24055
<b>580</b>	24055	24097	24140	24182	24225	24267	24310	24353	24395	24438	24480
<b>590</b>	24480	24523	24565	24608	24650	24693	24735	24778	24820	24863	24905
<b>600</b>	24905	24948	24990	25033	25075	25118	25160	25203	25245	25288	25330

## Grundwerte der Thermospannungen in mV

(Temperatur der Vergleichsstelle (Bezugstemperatur): 0°C)

Kurzzeichen des Thermopaars	Cu-CuNi (Cu-Konst**) DIN 43710		Fe-CuNi (Fe-Konst**) DIN 43710		Pallaplat		PtRh-Pt DIN 43710		PtRh-EL18 IEC 584-1				
	Kupfer		Eisen		Leg. 40		Platinrhodium		PtRh 70/30				
Plus-schenkel	Kupfer		Eisen		Leg. 40		Platinrhodium		PtRh 70/30				
Minus-schenkel	Kupfernickel		Kupfernickel		Leg. 32		Platin		PtRh 97/6				
Temperatur	Grundwerte [mV]	Zulässige Abweich.		Grundwerte [mV]	Zulässige Abweich.		Grundwerte [mV]	Zulässige Abweich.		Grundwerte [mV]	Zulässige Abweich.		
		°C	%		°C	%		°C	%		°C	%	
-200	-5,70	*)	*)	-8,15	*)	*)	-	-	-	-	-	-	
-100	-3,40	*)	*)	-4,75	*)	*)	-	-	-	-	-	-	
0	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	
100	4,25	±3	-	5,37	±3	-	2,86	±3	-	0,645	±3	-	0,033
200	9,20			10,95			6,50			1,440			0,178
300	14,90			16,56			10,60			2,323			0,431
400	21,00			22,16			15,05			3,260			0,786
500	27,41	-	±0,75	27,85	-	±0,75	19,77	-	±0,5	4,234	-	±0,5	1,241
600	34,31			33,67			24,71			5,237			1,791
700				39,72			29,83			6,274			2,430
800				46,22			35,08			7,345			3,154
900				53,14			40,31			8,448			3,957
1000							45,46			9,585			4,833
1100							50,46			10,75			5,777
1200							55,39			11,95			6,783
1300							60,29			13,16			7,845
1400										14,37			8,952
1500										15,58			10,09
1600										16,77			11,26
1700										17,94			12,43
1800													13,59

Die Grundwerte entsprechen den Mittelkurven der Thermospannungen, deshalb sind sie in Hundertstel bzw. in Tausendstel Millivolt angegeben, obwohl die zulässigen Abweichungen teilweise mehrere Zehntel Millivolt betragen.

Für eine Bezugstemperatur von 20°C ermäßigen sich die Thermospannungswerte der Tabellen um: 0,80 bei Cu-CuNi, 1,05 bei Fe-CuNi, 0,113 bei PtRh-Pt, 0,50 bei Pallaplat. Dagegen erhöhen sich die Werte bei EL18 um 0,003.

Wird für die Temperaturmessung ein Thermostat verwendet, so ist er auf 50°C einzustellen. Für diese Bezugstemperatur ermäßigen sich dann die Thermospannungswerte der Tabellen um: 2,05 bei Cu-CuNi, 2,65 bei Fe-CuNi, 0,229 bei PtRh-Pt, 1,30 bei Pallaplat, 0,002 bei EL18

\*) Für diese Temperaturen sind die zulässigen Abweichungen der Grundwerte nicht festgelegt.