

## Einsatz von Thermoelementen

WIKA Datenblatt IN 00.23

In der industriellen elektrischen Temperaturmesstechnik werden hauptsächlich zwei Gruppen von Sensoren verwendet:

- Widerstandsthermometer (RTD)
- Thermoelemente (TC)

Beide Sensorarten haben ihre Vor- und Nachteile. So liegen die Stärken der zumeist Pt100-Messwiderstände im unteren bis mittleren Temperaturbereich (-200 ... +600 °C). Thermoelemente hingegen haben (von wenigen Ausnahmen abgesehen) ihre Vorzüge bei höheren Temperaturen (bis 1700 °C).

Einige Thermopaare können noch weit höhere Temperaturen erfassen (Wolfram-Rhenium, Gold-Platin oder Platin-Palladium). Diese sehr speziellen Thermoelemente werden in diesem Dokument nicht beschrieben.

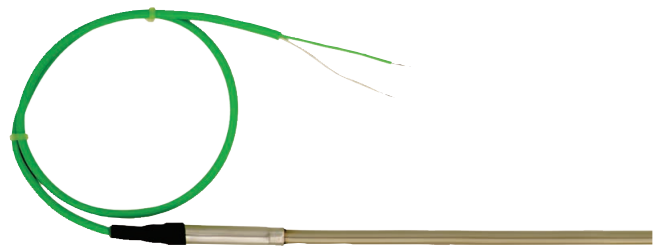
Während in Europa zur Messung von niedrigen und mittleren Temperaturen vorzugsweise Pt100-Sensoren verwendet werden, ist in Nordamerika ein deutliches Übergewicht in Richtung Thermoelement festzustellen. Dennoch ist eine pauschale Gebietsaufteilung nicht möglich, da z. B. eine in Europa gebaute Raffinerie mit an US-Standards orientierter Temperaturmesstechnik bestückt wird, wenn die Anlage in den USA projektiert wurde. Das gleiche gilt natürlich auch in die andere Richtung.

Ein weiteres Kriterium sich für ein Thermoelement zu entscheiden, ist der kleinstmögliche Durchmesser eines Mantel-Thermoelementes (siehe Kapitel „Mantel-Thermoelemente“). Die Durchmesser 0,25 mm, 0,5 mm oder 1 mm führen zu erstaunlich kurzen Ansprechzeiten. Im Allgemeinen reagieren Thermoelemente schneller als Widerstandsthermometer!

Wird das Thermometer in ein Schutzrohr eingebaut, nähern sich die Ansprechzeiten der beiden Sensorgruppen einander an. Die Masse des Schutzrohres, Wärmeableitung und die Isolationsstrecken zwischen Medium und Sensor relativieren hier den Geschwindigkeitsvorteil des Thermoelementes. Dieser ist zwar noch messbar, aber oft irrelevant, da man sich z. B. bei Vollmaterial-Schutzrohren durchaus im zweistelligen Minutenbereich bewegen kann.



Gerades Thermoelement mit Metall-Schutzrohr



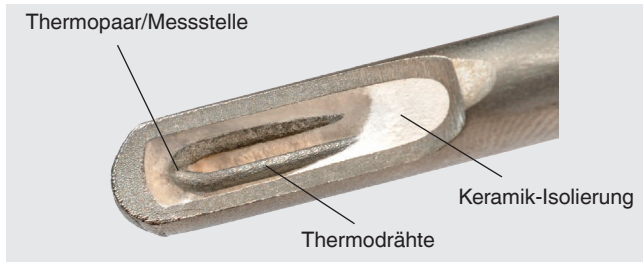
Kabel-Thermoelement, Typ TC40  
(Aufbau: Mantelmessleitung (MI-Leitung))



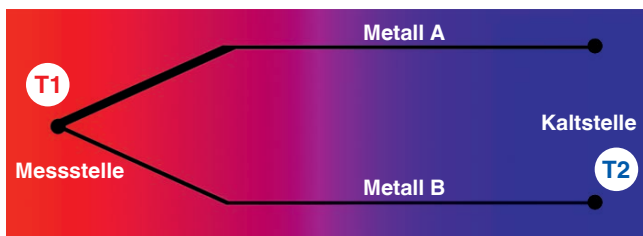
Beispiele von Schutzrohren

## Grundlagen

Ein Thermoelement besteht aus zwei Drähten unterschiedlicher Metalle, die an einem Ende zu einem Thermopaar verbunden sind, wobei der Verbindungsknoten die Messstelle bildet.



Bei Erwärmung der Messstelle misst man an den Drahtenden (Kaltstelle) eine Spannung, die annähernd der Temperatur der Messstelle proportional ist. (Thermoelektrischer Effekt = Seebeck Effekt)



Diese Spannung (EMK = elektro-motorische Kraft) entsteht zum Einen durch die unterschiedliche Elektronendichte der beiden (unterschiedlichen) metallischen Materialien der verwendeten Drähte, zum Anderen durch den Temperaturunterschied zwischen Messstelle und Kaltstelle.

Das bedeutet, ein Thermoelement misst nicht die absolute Temperatur, sondern die Differenztemperatur zwischen der

- **T1**: Messstelle (hot junction)  
und der
- **T2**: Kaltstelle (cold junction)

Da die Spannungsmessung meist in Umgebungstemperatur stattfindet wäre der angezeigte Spannungswert um den Betrag der Spannung der Umgebungstemperatur zu niedrig. Um den Wert für die absolute Messstellentemperatur zu erhalten wird die sogenannte „Kaltstellenkompensation“ angewendet.

Dies wurde in der Vergangenheit (im Kalibrierlabor auch heute noch) mittels eines Eisbades erreicht, in welchem der Abgriff des Spannungsmessgerätes an der Kaltstelle des Thermoelementes vorgenommen wurde.

In aktuellen Geräten mit Thermoelementeingang (z. B. Transmitter, Handmessgerät oder Schalttafel-Einbaugerät etc.) ist eine elektronische Kaltstellenkompensation im Schaltkreis des Gerätes eingebaut.

Jedes Metall hat eine materialspezifische Elektronegativität. (Elektronegativität = Tendenz der Atome eher Elektronen aufzunehmen oder abzugeben)

Um möglichst hohe Thermospannungen zu erreichen, werden spezielle Materialpaarungen zur Bildung von Thermoelementen (= Thermopaar) verwendet, deren Einzel-Elektronegativitäten möglichst weit auseinander liegen. Diesen Materialpaarungen sind natürlich Grenzen gesetzt - zum Beispiel durch die maximale Einsatztemperatur des Thermoelementes.

### Folgende Normen definieren Thermoelemente

- IEC 60584-1: Thermopaare: Grundwerte und Grenzabweichungen der Thermospannungen
- IEC 60584-3: Thermopaare: Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen

### ASTM E230:

Tabellen mit Standardspezifikation und elektro-motorische Kraft (EMK) für standardisierte Thermoelemente.

# Thermospannungen

Referenztemperatur: 0 °C

Temperatur in °C	Thermoelemente							
	Typ K	Typ J	Typ N	Typ E	Typ T	Typ S	Typ R	Typ B
-200					-5,603			
-180					-5,261			
-160					-4,865			
-140					-4,419			
-120					-3,923			
-100					-3,379			
-80					-2,788			
-60					-2,153			
-40	-1,527	-1,961	-1,023	-2,255	-1,475			
-20	-0,777	-0,995	-0,518	-1,152	-0,757			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	0,798	1,019	0,525	1,192	0,790	0,113	0,111	
40	1,612	2,059	1,065	2,420	1,612	0,235	0,232	
60	2,436	3,116	1,619	3,685	2,467	0,365	0,363	
80	3,267	4,187	2,189	4,985	3,358	0,502	0,501	
100	4,096	5,269	2,774	6,319	4,279	0,646	0,647	
150	6,138	8,010	4,302	9,789	6,704	1,029	1,041	
200	8,138	10,779	5,913	13,421	9,288	1,441	1,469	
250	10,153	13,555	7,597	17,181	12,013	1,874	1,923	
300	12,209	16,327	9,341	21,036	14,862	2,323	2,401	
350	14,293	19,090	11,136	24,964	17,819	2,786	2,896	
370	15,133	20,194	11,867	26,552	19,030	2,974	3,099	
400	16,397	21,848	12,974	28,946		3,259	3,408	
450	18,516	24,610	14,846	32,965		3,742	3,933	
500	20,644	27,393	16,748	37,005		4,233	4,471	
550	22,776	30,216	18,672	41,053		4,732	5,021	
600	24,905	33,102	20,613	45,093		5,239	5,583	1,792
650	27,025	36,071	22,566	49,116		5,753	6,041	2,101
700	29,129	39,132	24,527	53,112		6,275	6,743	2,431
750	31,213	42,281	26,491	57,080		6,806	7,340	2,782
760	31,628	42,919	26,883	57,970		6,913	7,461	2,854
800	33,275		28,455	61,017		7,345	7,950	3,154
850	35,313		30,416	64,922		7,893	8,571	3,546
870	36,121		31,199	66,473		8,114	8,823	3,708
900	37,326		32,371	68,787		8,449	9,205	3,957
950	39,314		34,319			9,014	9,850	4,387
1000	41,276		36,256			9,587	10,506	4,834
1050	43,211		38,179			10,168	11,173	5,299
1100	45,119		40,087			10,757	11,850	5,780
1150	46,995		41,976			11,351	12,535	6,276
1200	48,838		43,846			11,951	13,228	6,786
1250	50,644		45,694			12,554	13,926	7,311
1260	51,000		46,060			12,675	14,066	7,417
1300						13,159	14,629	7,848
1350						13,766	15,334	8,397
1400						14,373	16,040	8,956
1450						14,978	16,746	9,524
1480						15,341	17,169	9,868
1500						15,582	17,451	10,099
1550						16,182	18,152	10,679

Fortsetzung nächste Seite

Temperatur in °C	Thermoelemente							
	Typ K	Typ J	Typ N	Typ E	Typ T	Typ S	Typ R	Typ B
1600						16,777	18,849	11,263
1650								11,850
1700								12,430

Legende:

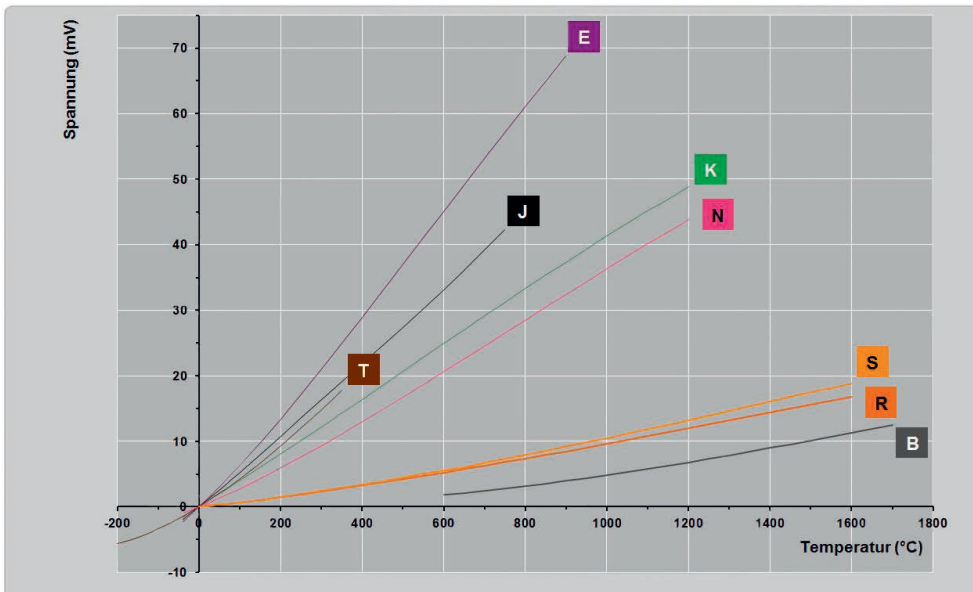
Schwarz: IEC 60584-1 und ASTM E230

Blau: nur IEC 60584-1

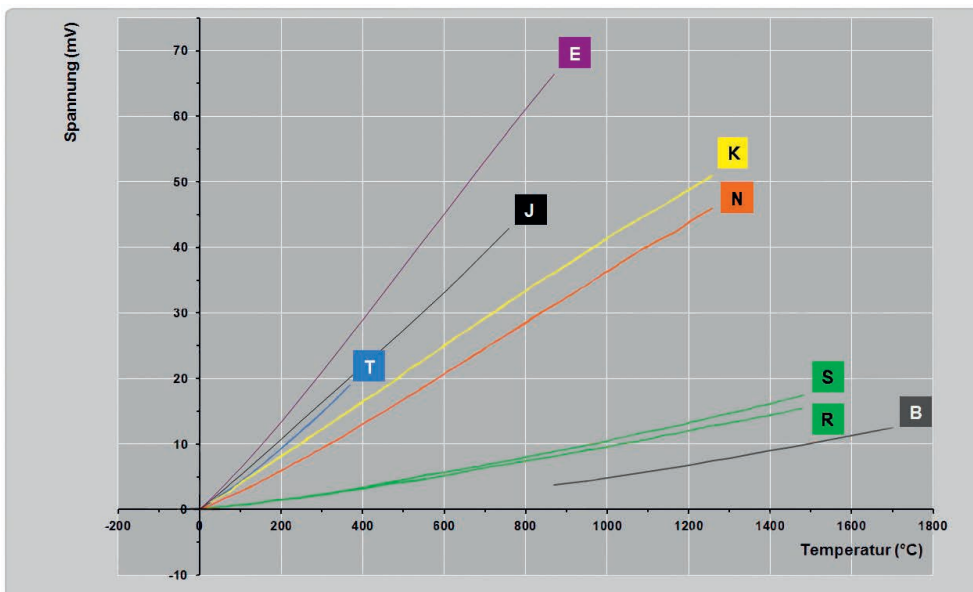
Rot: nur ASTM E230

## Thermospannungskurven

### ■ IEC 60584-1



### ■ ASTM E230



Die abgebildeten Kurven entsprechen den jeweiligen Temperaturbereichen der IEC 60584-1 / ASTM E230. Außerhalb dieser Temperaturbereiche ist die zulässige Grenzabweichung nicht normiert.

## Einsatzgrenzen und Genauigkeiten von Thermoelementen (IEC 60584, ASTM E230)

Die folgende Tabelle beinhaltet die zulässigen Grenzabweichungen der IEC 60584-1 inkl. der Grenzabweichungen der im nordamerikanischen Raum gebräuchlichen ASTM E230:

### Grenzabweichungen der Thermopaare nach IEC 60584-1 / ASTM E230 (Referenztemperatur 0 °C)

Typ	Thermopaar	Grenzabweichung	Klasse	Temperaturbereich	Grenzabweichung
<b>K</b> <b>N</b>	NiCr-Ni (NiCr-NiAl) NiCrSi-NiSi	IEC 60584-1	1	-40 ... +1000 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ oder $0,0040 \cdot  t ^{1)2)}$
			2	-40 ... +1200 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ oder $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	0 ... +1260 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ oder $\pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +1260 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ oder $\pm 0,75 \%$
<b>J</b>	Fe-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +750 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ oder $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +750 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ oder $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	0 ... +760 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ oder $\pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +760 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ oder $\pm 0,75 \%$
<b>E</b>	NiCr-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +800 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ oder $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +900 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ oder $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	0 ... +870 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $\pm 0,4 \%$
			Standard	0 ... +870 °C	$\pm 1,7 \text{ °C}$ oder $\pm 0,5 \%$
<b>T</b>	Cu-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +350 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ oder $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +350 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $0,0075 \cdot  t $
			3	-200 ... +40 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $0,015 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	0 ... +370 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ oder $\pm 0,4 \%$
			Standard	-200 ... 0 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $\pm 1,5 \%$
			Standard	0 ... +370 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $\pm 0,75 \%$
<b>R</b> <b>S</b>	Pt13%Rh-Pt Pt10%Rh-Pt	IEC 60584-1	1	0 ... +1600 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ oder $\pm [1 + 0,003 (t - 1100)] \text{ °C}$
			2	0 ... +1600 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ oder $\pm 0,0025 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	0 ... +1480 °C	$\pm 0,6 \text{ °C}$ oder $\pm 0,1 \%$
			Standard	0 ... +1480 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ oder $\pm 0,25 \%$
<b>B</b>	Pt30%Rh-Pt6%Rh	IEC 60584-1	2	+600 ... +1700 °C	$\pm 0,0025 \cdot  t $
			3	+600 ... +1700 °C	$\pm 4,0 \text{ °C}$ oder $\pm 0,005 \cdot  t $
		ASTM E230	Spezial	-	-
			Standard	+870 ... +1700 °C	$\pm 0,5 \%$

1) |t| ist der Zahlenwert der Temperatur in °C ohne Berücksichtigung des Vorzeichens

2) Der größere Wert gilt

In Europa und Nordamerika gibt es unterschiedliche Schreibweisen von Thermoelementen Typ K:

Europa: NiCr-Ni oder NiCr-NiAl

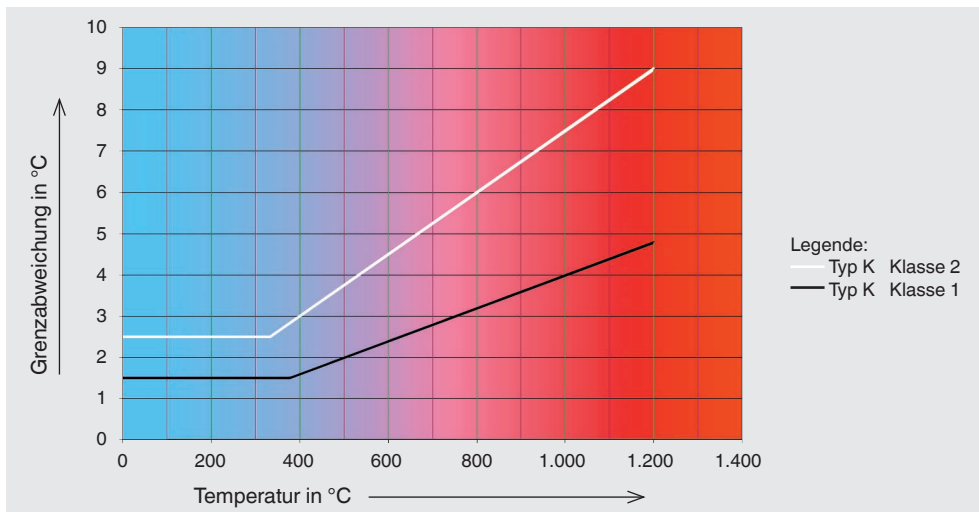
Nordamerika: Ni-Cr / Ni-Al

Es gibt keinen materiellen Unterschied, die beiden Benennungen sind historisch bedingt.

### Typen R, S und B

Nicht erhältlich als MI-Leitungsausführung in Klasse 1 nach IEC 60584 bzw. „Spezial“ nach ASTM E230

Bei der Grenzabweichung von Thermopaaren ist eine Vergleichsstellentemperatur von 0 °C zugrunde gelegt. Bei Verwendung einer Ausgleichs- oder Thermoleitung muss eine zusätzliche Messabweichung berücksichtigt werden.



Beispiel:  
Grenzabweichung der Genauigkeitsklassen 1 und 2 von Thermoelement Typ K

# Information zur Anwendung von Thermoelementen

## ■ Unedle Thermoelemente

### Typ K

+ Schenkel	- Schenkel
NiCr	NiAl
Nickel-Chrom	Nickel-Aluminium (magnetisch)

NiCr-NiAl-Thermoelemente sind geeignet für die Verwendung in oxidierender oder Schutzgasatmosphäre bis zu 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) bei größter Drahtdicke. Thermoelemente vor schwefelhaltiger Atmosphäre schützen. Da ihre Oxidationsanfälligkeit geringer ist als von Thermoelementen aus anderem Material, finden sie meist Verwendung bei Temperaturen über ca. 550 °C.

### Typ J

+ Schenkel	- Schenkel
Fe	CuNi
Eisen (magnetisch)	Kupfer-Nickel

Fe-CuNi-Thermoelemente sind geeignet für die Verwendung im Vakuum, in oxidierenden und reduzierenden Atmosphären oder Schutzgasatmosphären. Sie werden für Temperaturmessungen bis zu 750 °C (ASTM E230: 760 °C) bei größter Drahtdicke verwendet.

### Typ N

+ Schenkel	- Schenkel
NiCrSi	NiSi
Nickel-Chrom-Silizium	Nickel-Silizium

NiCrSi-NiSi-Thermoelemente sind geeignet für die Verwendung in oxidierender Atmosphäre, in Schutzgasatmosphäre oder trockener Reduktionsatmosphäre bis zu 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C). Sie müssen vor schwefelhaltiger Atmosphäre geschützt werden. Sie sind sehr genau bei hohen Temperaturen. Die Quellenspannung (EMF) und der Temperaturbereich sind nahezu gleich wie bei Typ K. Verwendet werden sie in Anwendungen, wo eine längere Lebensdauer und größere Stabilität erforderlich sind.

### Typ E

+ Schenkel	- Schenkel
NiCr	CuNi
Nickel-Chrom	Kupfer-Nickel

NiCr-CuNi-Thermoelemente sind geeignet für die Verwendung in oxidierender oder Schutzgasatmosphäre bis zu 900 °C (ASTM E230: 870 °C) bei größter Drahtdicke. Thermoelemente vom Typ E entwickeln von allen üblicherweise verwendeten Thermoelementen die höchste Quellenspannung (EMF) pro °C.

### Typ T

+ Schenkel	- Schenkel
Cu	CuNi
Kupfer	Kupfer-Nickel

Cu-CuNi-Thermoelemente sind geeignet für Temperaturen unter 0 °C mit einer Temperaturhöchstgrenze von 350 °C (ASTM E230: 370 °C) und können in oxidierender, reduzierender oder Schutzgasatmosphäre verwendet werden. Sie rosten nicht in feuchter Atmosphäre.

## ■ Edelmetall-Thermoelemente

### Typ S

+ Schenkel	- Schenkel
Pt10%Rh	Pt
Platin-10%Rhodium	Platin

Thermoelemente Typ S sind geeignet für den dauerhaften Gebrauch in oxidierender oder Schutzgasatmosphäre bei Temperaturen bis zu 1600 °C. Auf die Versprödung durch Verunreinigung achten.

### Typ R

+ Schenkel	- Schenkel
Pt13%Rh	Pt
Platin-13%Rhodium	Platin

Thermoelemente Typ R sind geeignet für den dauerhaften Gebrauch in oxidierender oder Schutzgasatmosphäre bei Temperaturen bis zu 1600 °C. Auf die Versprödung durch Verunreinigung achten.

### Typ B

+ Schenkel	- Schenkel
Pt30%Rh	Pt6%Rh
Platin-30%Rhodium	Platin-6%Rhodium

Thermoelemente Typ B sind geeignet für den kontinuierlichen Einsatz in oxidierenden oder Schutzgasatmosphären und für eine kurzzeitige Verwendung in Vakuumumgebung bei Temperaturen bis zu 1700 °C. Auf die Versprödung durch Verunreinigung achten.

Thermoelemente Typ R, S und B werden normalerweise in einseitig geschlossene keramische Schutzrohre verbaut. Bei Verwendung eines metallischen Schutzrohres wird ein einseitig geschlossenes keramisches Innenrohr benötigt. Edelmetall-Thermoelemente sind anfällig für Verunreinigungen. Es ist daher empfehlenswert, diese Thermoelemente mit keramischen Material zu umgeben.

## Empfohlene obere Temperaturgrenze

(Dauereinsatz)

- Mantel-Thermoelemente (siehe auch Tabelle „Thermospannungen nach IEC 60584-1“)

Thermoelement Typ	Empfohlene obere Temperaturgrenze in °C							
	Bei Manteldurchmesser in mm							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0
K	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
J	260	260	440	440	520	620	720	720
N	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
E	300	300	510	510	650	730	820	820
T	260	260	260	260	315	350	350	350

Mantelwerkstoff: Inconel 2.4816 (Inconel 600)

Angaben unter Berücksichtigung optimaler Laborbedingungen (an Luft, ohne schädliche Gase verunreinigt).  
Weitere Werkstoffe sind erhältlich, haben jedoch andere Temperaturgrenzen zur Folge.

- Gerade Thermoelemente (siehe auch Tabelle „Thermospannungen nach IEC 60584-1“)

Thermoelement Typ	Empfohlene obere Temperaturgrenze in °C			
	Bei Drahtdurchmesser in mm			
	0,35	0,5	1,0	3,0
K	700	700	800	1000
J	400	400	600	700
N	700	700	800	1000
E	400	400	600	700
T	200	200	300	350
S	1300	1300	-	-
R	1300	1300	-	-
B	1500	1500	-	-

Angaben unter Berücksichtigung optimaler Laborbedingungen (an Luft, ohne schädliche Gase verunreinigt).

- Geschützte Thermoelemente (siehe auch Tabelle „Empfohlene obere Temperaturgrenze für geschützte Thermoelemente“ nach ASTM E230)

Thermoelement Typ	Obere Temperaturgrenze für verschiedene Drahtdicke (Awg) in °C					
	Messgerät Nr. 30 0,25 mm [0,010 inch]	Messgerät Nr. 28 0,33 mm [0,013 inch]	Messgerät Nr. 24 0,51 mm [0,20 inch]	Messgerät Nr. 20 0,81 mm [0,032 inch]	Messgerät Nr. 14 1,63 mm [0,064 inch]	Messgerät Nr. 8 3,25 mm [0,128 inch]
T	150	200	200	260	370	
J	320	370	370	480	590	760
E	370	430	430	540	650	870
K und N	760	870	870	980	1090	1260
R und S			1480			
B			1700			

### Hinweis:

Die angegebenen maximalen Einsatztemperaturen gelten für das Thermoelement unter optimalen Umgebungsbedingungen. Die maximale Einsatztemperatur der Schutzrohre liegt oft deutlich unter der des Thermoelementes!



- Mantel-Thermoelemente (siehe auch Tabelle „Empfohlene obere Temperaturgrenze für Mantel-Thermoelemente“ nach ASTM E608/E608M)

Nominaler Manteldurchmesser		Obere Temperaturgrenze für verschiedene Manteldurchmesser in °C			
		Thermoelement Typ			
mm	inch	T	J	E	K und N
0,5	0,020	260	260	300	700
-	0,032	260	260	300	700
1,0	0,040	260	260	300	700
1,5	0,062	260	440	510	920
2,0	-	260	440	510	920
-	0,093	260	480	580	1000
3,0	0,125	315	520	650	1070
4,5	0,188	370	620	730	1150
6,0	0,250	370	720	820	1150
8,0	0,375	370	720	820	1150

**Hinweis:**

Die angegebenen maximalen Einsatztemperaturen gelten für das Thermoelement unter optimalen Umgebungsbedingungen. Die maximale Einsatztemperatur der Schutzrohre liegt oft deutlich unter der des Thermoelementes!

## Potenzielle Messunsicherheiten

### Wichtige Faktoren, die der Langzeitstabilität von Thermoelementen entgegenwirken

#### Alterungserscheinungen/Vergiftungen

- Oxidationsvorgänge führen bei nicht entsprechend geschützten Thermoelementen („blanke“ Thermodrähte) zu Kennlinienverfälschungen
- Eindiffundierende Fremdatome (Vergiftungen) führen zu Veränderungen der Ursprungslegierungen und damit zu Verfälschungen der Kennlinie.
- Der Einfluss von Wasserstoff führt zur Versprödung der Thermoelemente.

„Unedle“ Thermoelemente altern und verändern dadurch ihre Temperatur-Thermospannungskennlinie.

„Edle“ PtRh-Pt-Thermoelemente der Typen R und S zeigen bis 1400 °C praktisch keine Alterung.

Sie sind aber sehr empfindlich gegenüber Verunreinigungen. Silizium und Phosphor zerstören das Platin sehr schnell. In Gegenwart von Platin kann bereits in schwach reduzierender Atmosphäre Silizium aus den Isolierkeramiken freigesetzt werden. Die Reduktion von SiO<sub>2</sub> zu Si führt zu einer Verunreinigung des Pt-Schenkel des Thermoelementes und verursacht schon in Silizium-Anteilen von wenigen ppm Messfehler von 10 °C und mehr.

Bedingt durch das bessere Verhältnis von Gesamtmaterialelementvolumen zur vergiftungsempfindlichen Oberfläche steigt die Langzeitstabilität der Edelmetall-Thermopaare mit zunehmendem Thermodraht-Durchmesser. Die Sensoren der Typen S, R und B stehen deshalb mit Thermodraht-Durchmesser Ø 0,35 mm oder Ø 0,5 mm (0,015" oder 0,020") zur Verfügung. Aber: Thermodrähte mit Ø 0,5 mm (0,020") besitzen die doppelte Querschnittsfläche wie Drähte mit Ø 0,35 mm (0,015") – und sind damit auch doppelt so teuer. Dies kann sich dennoch lohnen, da eine wesentlich längere Standzeit die eventuell hohen Servicekosten (Stillstand der Anlage) egalisieren kann.

Der Ni-Schenkel des Typ K-Thermoelementes wird häufig durch Schwefel, der z. B. in Rauchgasen vorkommt, geschädigt. Thermoelemente der Typen J und T altern gering, weil zunächst der Reinmetallschenkel oxidiert.

Generell nehmen die Alterungserscheinungen mit steigenden Temperaturen zu.

#### Grünfäule

Bei Typ K-Thermoelementen können beim Einsatz in Temperaturen von ca. 800 °C bis 1050 °C erhebliche Veränderungen der Thermospannung auftreten. Die Ursache hierfür ist eine Chromverarmung bzw. Oxidation des Chroms im NiCr-Schenkel (+ Schenkel). Voraussetzung hierfür ist eine geringe Konzentration Sauerstoff oder Wasserdampf in der direkten Umgebung des Thermoelementes. Der Nickel-Schenkel ist hiervon nicht betroffen. Die Folge dieses Effekts ist eine Drift des Messwertes durch sinkende Thermospannung. Bei Sauerstoffmangel (reduzierende Atmosphäre)

wird dieser Effekt noch beschleunigt, da sich keine vollständigen Oxidhäute auf der Oberfläche des Thermoelementes ausbilden können, die einer weiteren Oxidation des Chroms entgegenwirken.

Das Thermoelement wird auf Dauer durch diesen Vorgang zerstört. Der Name Grünfäule kommt von der grünlichen schimmernden Färbung an der Bruchstelle des Drahtes.

Das Thermoelement Typ N (NiCrSi-NiSi) ist bedingt durch seinen Siliziumgehalt in dieser Beziehung im Vorteil. Hier bildet sich unter gleichen Bedingungen eine schützende Oxidschicht auf seiner Oberfläche aus.

#### K-Effekt

Der NiCr-Schenkel eines Typ K-Thermoelementes besitzt bezüglich der Ausrichtung im Kristallgitter unterhalb ca. 400 °C eine geordnete Ausrichtung. Wird das Thermoelement weiter erhitzt, so findet im Temperaturbereich zwischen ca. 400 °C und 600 °C ein Übergang in einen ungeordneten Zustand statt. Oberhalb von 600 °C stellt sich wieder ein geordnetes Kristallgitter ein.

Bei einem zu schnellen Abkühlen dieser Thermoelemente (schneller als ca. 100 °C pro Stunde) kommt es während der Abkühlung im Bereich von ca. 600 °C bis ca. 400 °C wieder zum unerwünschten ungeordneten Kristallgitter. In der Kennlinie von Typ K ist aber ein durchgängig geordneter Ausrichtungszustand vorausgesetzt und mit Werten hinterlegt. Ein Thermospannungsfehler von bis zu ca. 0,8 mV (ca. 5 °C) in diesem Bereich ist die Folge.

Der K-Effekt ist reversibel und wird durch Glühen oberhalb 700 °C mit anschließender entsprechend langsamer Abkühlung größtenteils wieder abgebaut.

Dünne Mantel-Thermoelemente reagieren hier besonders empfindlich. Schon eine Abkühlung an ruhender Luft kann Abweichungen von 1 °C zur Folge haben.

Beim Typ N-Thermoelement (NiCrSi-NiSi) hat man diesen Nahordnungseffekt durch Legieren beider Schenkel mit Silizium verringern können.

# Standard-Bauformen von Thermoelementen

## Mantel-Thermoelemente

Mantel-Thermoelemente bestehen aus einem metallischen Außenmantel, in dem die Innenleiter in eine hochverdichtete Keramikmasse isoliert eingebettet sind (mineralisierte Leitung oder auch MI-Leitung genannt).

Mantel-Thermoelemente sind biegsam und dürfen bis zu einem minimalen Radius des 5-fachen Manteldurchmessers gebogen werden. Aufgrund dieser Biegsamkeit sind Mantel-Thermoelemente auch an schwer zugänglichen Stellen einsetzbar.

Die extreme Vibrationsfestigkeit spricht ebenso für die Verwendung von Mantel-Thermoelementen.

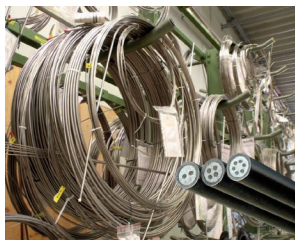
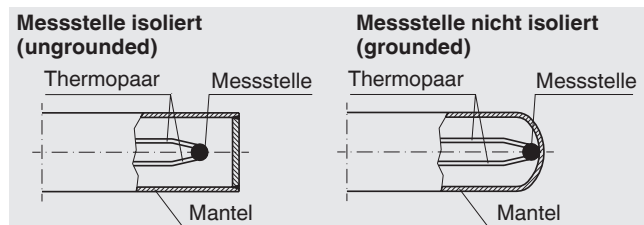
### Verfügbare Manteldurchmesser

- 0,5 mm
- 1,0 mm
- 1,5 mm
- 3,0 mm
- 4,5 mm
- 6,0 mm
- 8,0 mm

### Mantelwerkstoffe

- Ni-Legierung 2.4816 (Inconel 600)
  - bis 1200 °C (Luft)
  - Standardwerkstoff für Anwendungen mit Beanspruchung auf Korrosion bei hohen Temperaturen, beständig gegen induzierte Spannungsriss- und Lochfraßkorrosion in chloridhaltigen Medien
  - kein Angriff durch Ammoniak in wässrigen Lösungen bei allen Temperaturen und Konzentrationen
  - sehr beständig gegen Halogene, Chlor, Chlorwasserstoff
- CrNi-Stahl 316
  - bis 850 °C (Luft)
  - gute Beständigkeit gegen aggressive Medien sowie gegen Dampf- und Verbrennungsgase in chemischen Medien
- Andere Werkstoffe auf Anfrage

### Messstellenaufbau



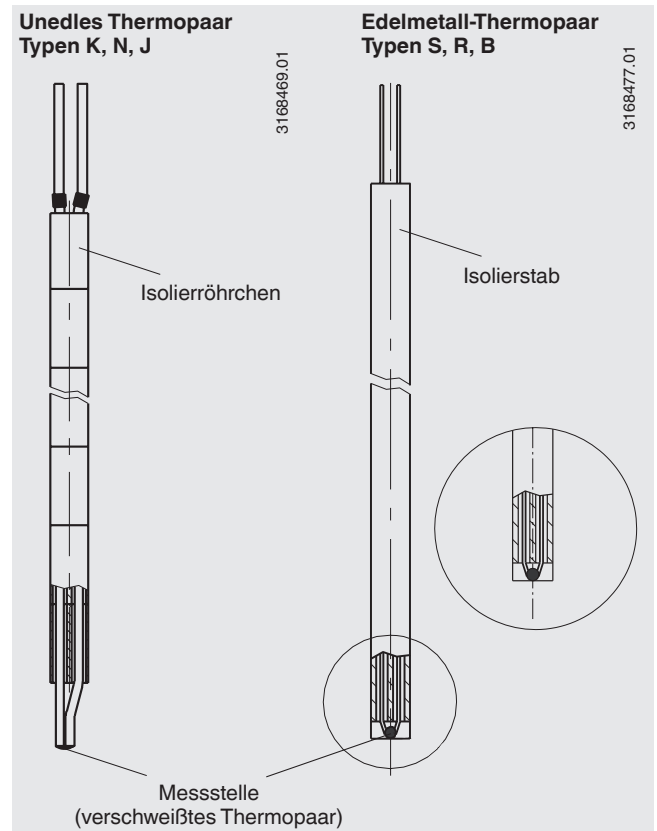
Rohmaterial MI-Leitung

## Gerade Thermoelemente mit Metall- oder Keramik-Schutzrohr



Verschiedene Bauformen, Typ TC80

## Innenaufbau der Thermoelemente gerade Ausführung



### Edelmetall-Thermopaar Typen S, R, B

Thermdraht:  $\varnothing$  0,35 mm oder  $\varnothing$  0,5 mm  
 Isolation: Isolierstab, Keramik C 799 / Aluminiumoxid

### Unedles Thermopaar Typen K, N, J

Thermdraht:  $\varnothing$  1 mm oder  $\varnothing$  3 mm  
 Isolation: Isolierröhrchen, Keramik C 610 / Mullit

## Anschlussleitungen für Thermoelemente

Zur Überbrückung der Distanz zwischen Thermoelement und Auswerteeinheit müssen bei Thermoelementen spezielle Anschlusskabel verwendet werden.

Man unterscheidet hier zwischen **Thermoleitungen** (das Adermaterial entspricht den Original-Werkstoffen des Thermoelementes) und sogenannten **Ausgleichsleitungen**. Bei Ausgleichsleitungen entspricht das Adermaterial, in einem eingeschränkten Temperaturbereich, den thermoelektrischen Eigenschaften des Original-Thermoelementes. Diese Temperaturgrenzen sind in IEC 60584-3 oder ASTM E230 aufgeführt. Dort stehen auch Informationen zu den Genauigkeitsklassen der Leitungen zur Verfügung.

Die Verwendung dieser speziellen Adermaterialien ist notwendig, um „parasitäre Thermoelemente“ an den Verbindungsstellen Thermoelement – Anschlussleitung zu vermeiden.

### ■ Thermoleitung

Die Innenleiter der Thermoleitung sind gefertigt aus den Originalwerkstoffen des Thermoelementes (aus Kostengründen nicht für edle Thermoelemente verfügbar).

Die Leitungen sind erhältlich in den Genauigkeitsklassen 1 und 2.

### ■ Ausgleichsleitung

Die Innenleiter der Ausgleichsleitung sind gefertigt aus Werkstoffen die den thermoelektrischen Eigenschaften des Original-Thermoelementes entsprechen. Dies gilt in einem in der IEC 60584 / ASTM E230 definierten Temperaturbereich an der Übergangsstelle Kabel ↔ Thermoelement, sowie über den gesamten Verlauf des Kabels.

Verfügbar nur in Genauigkeitsklasse 2.

Bei Thermoelementen Typ B ist die Verwendung von Innenleitern aus Kupfer erlaubt.

Erwarteter Fehler (Beispiel):  $40 \mu\text{V} / 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Das gilt innerhalb eines Temperaturbereichs von  $0 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$  an der Verbindung von Thermoelement und Ausgleichsleitung. Bei diesem Beispiel beträgt die Temperatur der Messstelle  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Hinweis:

Die potentiellen Fehler von Thermoelement und Anschlussleitung addieren sich!



Anschlussleitung

## Farbcode von Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen

	ASTM E230 Thermo- leitung	ASTM E230 Ausgleichs- leitung	BS 1843	DIN 43714	ISC1610-198	NF C42-323	IEC 60584-3	IEC 60584-3 Eigensicherheit
<b>N</b>								
<b>J</b>								
<b>K</b>								
<b>E</b>								
<b>T</b>								
<b>R</b>								
<b>S</b>								
<b>B</b>								

© 2013 WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, alle Rechte vorbehalten.  
Die in diesem Dokument beschriebenen Geräte entsprechen in ihren technischen Daten dem derzeitigen Stand der Technik.  
Änderungen und den Austausch von Werkstoffen behalten wir uns vor.

