

# Aufbau und Anwendung von Thermoelementen

## Thermoelektrischer Effekt

Der für die Wirkungsweise von Thermoelementen wesentliche Effekt ist der **Seebeck-Effekt**. Liegt entlang eines Drahtes eine Temperaturdifferenz an, so stellt sich eine Ladungsverschiebung ein. Die Größe der Ladungsverschiebung hängt dabei von den elektrischen Eigenschaften des gewählten Werkstoffes ab. Werden zwei Drähte aus unterschiedlichen Werkstoffen an einer Seite verbunden und einer Temperaturdifferenz ausgesetzt, liegt an den beiden offenen Enden eine Spannung an. Diese Spannung ist abhängig von der Temperaturdifferenz entlang der beiden Drähte. Um die Temperatur an der Verbindungsstelle zu messen, muss die Temperatur am offenen Ende bekannt sein. Befindet sich das Ende des Thermoelementes auf unbekannter Temperatur, muss es mit einer Ausgleichsleitung bis in die Zone bekannter Temperatur (Vergleichsstelle) verlängert werden.

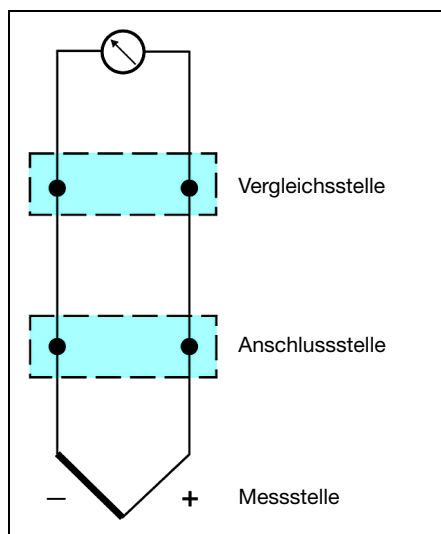


Abb. 1: Messanordnung (Prinzip)

Die Temperatur der Vergleichsstelle muss bekannt und konstant sein. Ist keine konstante Vergleichsstellentemperatur vorhanden, so wird die Vergleichsstelle als Thermostat ausgeführt oder deren Temperatur mit einem zweiten Sensor erfasst.

## Thermoelemente nach DIN EN 60 584 und DIN 43 710

Unter der Vielzahl möglicher Metallkombinationen wurden bestimmte ausgewählt (Tab. 1 und 2) und die Spannungsreihen sowie zulässigen Grenzabweichungen genormt (Abb. 2 und Tab. 3 und 4).

Zu beachten ist hierbei, dass zwei Thermoelemente vom Typ Fe-CuNi (Typ „J“ und „L“) und Cu-CuNi (Typ „T“ und „U“) sowohl in der DIN EN 60 584 als auch in der DIN 43 710 genormt sind.

Element		Maximaltemperatur	Definiert bis	Plus-schenkel	Minus-schenkel
Fe-CuNi	„J“	750°C	1200°C	schwarz	weiß
Cu-CuNi	„T“	350°C	400°C	braun	weiß
NiCr-Ni	„K“	1200°C	1370°C	grün	weiß
NiCr-CuNi	„E“	900°C	1000°C	violett	weiß
NiCrSi-NiSi	„N“	1200°C	1300°C	lila	weiß
Pt10Rh-Pt	„S“	1600°C	1540°C	orange	weiß
Pt13Rh-Pt	„R“	1600°C	1760°C	orange	weiß
Pt30Rh-Pt6Rh	„B“	1700°C	1820°C	keine Angabe	weiß

Tab. 1: Thermoelemente nach DIN EN 60 584

Element		Maximaltemperatur*	Definiert bis	Plus-schenkel	Minus-schenkel
Fe-CuNi	„L“	700°C	900°C	rot	blau
Cu-CuNi	„U“	400°C	600°C	rot	braun

\* Dauertemperatur an reiner Luft

Tab. 2: Thermoelemente nach DIN 43 710

Die „alten“ Elemente „L“ und „U“ treten inzwischen gegenüber den Elementen „J“ und „T“ nach DIN EN 60 584 in den Hintergrund.

Die jeweiligen Elemente sind aufgrund unterschiedlicher Legierungen nicht kompatibel; wird ein Fe-CuNi-Element vom Typ „L“ an eine Linearisierung nach der Kennlinie vom Typ „J“ angeschlossen, entstehen aufgrund der verschiedenen Thermospannungen Fehler bis zu mehreren Kelvin. Gleiches gilt für die Elemente vom Typ „U“ und „T“.

Unter der Maximaltemperatur ist derjenige Wert zu verstehen, bis zu dem eine Grenzabweichung festgelegt ist.

Unter „definiert bis“ ist die Temperatur angegeben, bis zu der die Thermospannung genormt ist.

Bei den aufgeführten Thermopaaren ist stets der erstgenannte Schenkel positiv. Die angegebenen Kennfarben beziehen sich sowohl auf die Thermoelemente selbst als auch auf die Ausgleichsleitungen. Sollten die Thermodrähte nicht gekennzeichnet sein, so können folgende Unterscheidungsmerkmale hilfreich sein:

- Fe-CuNi: Plus-schenkel ist magnetisch
- Cu-CuNi: Plus-schenkel ist kupferfarben
- NiCr-Ni: Minusschenkel ist magnetisch
- PtRh-Pt: Minusschenkel ist weicher

Dies gilt nicht für Ausgleichsleitungen. Zur Isolierung von Thermopaaren in Schutzarmaturen werden keramische Materialien verwendet.

Bei Leitungen werden PVC, Silikon, PTFE oder Glasseide eingesetzt.

## Grenzabweichungen

Für Thermoelemente nach DIN EN 60 584 sind drei Toleranzklassen definiert, die üblicherweise für Thermodrähte mit Durchmessern von 0,25 bis 3mm gelten und den Auslieferungszustand betreffen. Sie können keine Aussage über eine mögliche spätere Alterung treffen, da diese sehr stark von den Einsatzbedingungen abhängt. Die für die Toleranzklassen festgelegten Temperaturgrenzen sind nicht notwendigerweise die empfohlenen Grenzen der Anwendungstemperatur (siehe Tab. 3 und 4).

Es gilt dabei jeweils der größte Wert.

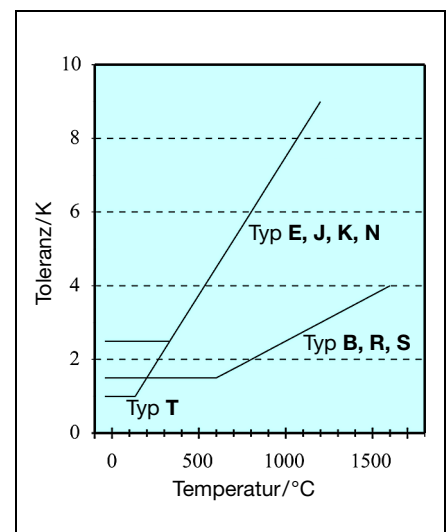


Abb. 2: Grenzabweichungen



**Linearität**

Die von einem Thermoelement abgegebene Spannung ist zur Temperatur nicht linear und muss daher von der Folgeelektronik linearisiert werden. Bei digital arbeitenden Geräten sind Linearisierungstabellen bereits programmiert oder vom Anwender müssen Stützpunkte eingegeben werden. Bei Zeigerinstrumenten finden sich vielfach auch nichtlineare Skalenteilungen. Die Kennlinien der Thermopaare (Abb. 3) sind durch die Spannungsreihen so festgelegt, dass volle Austauschbarkeit besteht.

Dies bedeutet, dass ein Fe-CuNi-Thermoelement vom Typ „J“ beispielsweise durch jedes andere Element dieses Typs, unabhängig vom Hersteller, ausgetauscht werden kann, ohne dass eine Neukalibrierung der angeschlossenen Geräte erforderlich ist.

**Ausgleichsleitungen nach DIN EN und DIN**

Ausgleichsleitungen für Thermoelemente sind in ihren elektrischen und mechanischen Eigenschaften in den Normen DIN EN 60 584 bzw. DIN 43 714 festgelegt. Sie sind entweder aus dem gleichen Material wie das Element selbst gefertigt (Thermoleitungen, extension cables) oder aus Sonderwerkstoffen mit gleichen thermoelektrischen Eigenschaften in eingeschränkten Temperaturbereichen (Ausgleichsleitungen, compensating cables). Der Einsatz von Ausgleichsleitungen erspart den Edelmetallzuschlag bei einigen Materialien.

Die Ausgleichsleitungen bestehen aus verdrehten Adern und werden durch einen Farbcode und Kennbuchstaben gekennzeichnet, die sich wie folgt ableiten:

1. Buchstabe: Kennbuchstabe für die Elementart nach Norm
2. Buchstabe: X: Gleicher Werkstoff wie das Element nach Norm  
C: Sonderwerkstoff
3. Buchstabe: Bei mehreren Ausgleichsleitungstypen werden diese durch einen dritten Buchstaben unterschieden.

Beispiel:

KX: Ausgleichsleitung für NiCr-Ni-Element, Typ „K“ aus Thermomaterial

RCA: Ausgleichsleitung für PtRh-Pt-Element, Typ „R“, aus Sondermaterial, Typ „A“

Für Ausgleichsleitungen sind die Toleranzklassen 1 und 2 definiert. Klasse 1 ist enger toleriert und wird nur von Ausgleichsleitungen aus dem gleichen Material wie die Elemente erreicht, also den X-Typen. Serienmäßig werden Ausgleichsleitungen nach Klasse 2 geliefert.

Element	Toleranzklassen
Fe-CuNi „J“	Klasse 1 - 40...+ 750 °C: ±0,004 x t oder ±1,5K
	Klasse 2 - 40...+ 750 °C: ±0,0075 x t oder ±2,5K
	Klasse 3
Cu-CuNi „T“	Klasse 1 - 40...+ 350 °C: ±0,004 x t oder ±0,5K
	Klasse 2 - 40...+ 350 °C: ±0,0075 x t oder ±1,0K
	Klasse 3 -200...+ 40 °C: ±0,0015 x t oder ±1,0K
Ni-CrNi und NiCrSi-NiSi „K“	Klasse 1 - 40...+1000 °C: ±0,004 x t oder ±1,5K
	Klasse 2 - 40...+1200 °C: ±0,0075 x t oder ±2,5K
NiCr-CuNi „E“	Klasse 1 - 40...+ 800 °C: ±0,004 x t oder ±1,5K
	Klasse 2 - 40...+ 900 °C: ±0,0075 x t oder ±2,5K
	Klasse 3 -200...+ 40 °C: ±0,015 x t oder ±2,5K
Pt10Rh-Pt und Pt13Rh-Pt „S“	Klasse 1 0...+1600 °C: ±[1+(t-1100) x 0,003] oder ±1,0K
	Klasse 2 - 40...+1600 °C: ±0,0025 x t oder ±1,5K
Pt30Rh-Pt6Rh „B“	Klasse 1
	Klasse 2 600... 1700 °C: ±0,0025 x t oder ±1,5K
	Klasse 3 600... 1700 °C: ±0,005 x t oder ±4,0K

Tab. 3: Grenzabweichungen nach DIN EN 60 584

Element	Toleranzen
Cu-CuNi „U“	100 ... 400 °C: ±3K
	400 ... 600 °C: ±0,0075 x t
Fe-CuNi „L“	100 ... 400 °C: ±3K
	400 ... 900 °C: ±0,0075 x t

Tab. 4: Grenzabweichungen nach DIN 43 710, Stand 1977

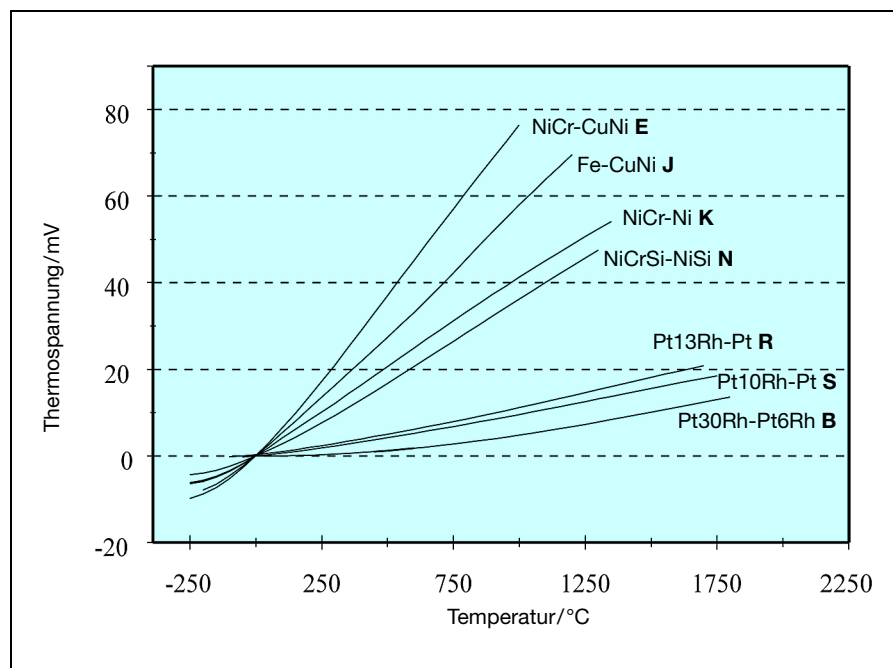


Abb. 3: Kennlinien von Thermoelementen nach DIN EN 60 584

fert. Die Tab. 5 gibt die Grenzabweichungen der verschiedenen Ausgleichsleitungsklassen wieder.

Der Anwendungstemperaturbereich in Tab. 5 kennzeichnet die Temperatur, der die gesamt-

te Leitung einschließlich der Klemmstelle am Thermoelement ausgesetzt werden darf, um die angegebenen Toleranzen nicht zu überschreiten. Wegen der Nichtlinearität der Thermospannungen gelten die angegebenen Grenzabweichungen in mV oder K nur bei den



Messtemperaturen, die in der rechten Spalte angegeben sind.

Konkret bedeutet dies beispielsweise:  
 Ein Thermoelement von Typ „J“ ist an eine Ausgleichsleitung vom Typ „JX“, Klasse 2, angeschlossen. Beträgt die Messtemperatur konstant 500°C und schwankt die Klemmentemperatur und/oder die Temperatur an der Ausgleichsleitung von -25 ... +200°C, so verändert sich dabei die angezeigte Temperatur höchstens um ±2,5K.

**Farbkennzeichnung von Ausgleichsleitungen**

Die farbliche Kennzeichnung der Ausgleichsleitungen ist in der DIN EN 60 584 und der DIN 43 713 (Entwurf von 1990) festgelegt. Für die Elemente nach DIN EN 60 584 (Tab. 6) gilt: Der Pluschenkel hat die gleiche Farbe wie der Mantel, der Minusschenkel ist weiß. Für die „alten“ Elemente vom Typ „L“ und „U“ nach DIN 43 713 (Tab. 7) gelten jedoch hiervon abweichende Kennzeichnungen.

Für das Pt30Rh-Pt6Rh-Element vom Typ „B“ werden keine Angaben gemacht. Hier können handelsübliche Kupfer-Anschlussleitungen (Cu-blank) als Ausgleichsleitungen verwendet werden.

Gemäß DIN 43 714 sind zur elektromagnetischen Abschirmung die Adern der Leitungen verdreht. Zusätzlich kann eine Abschirmung durch metallische Folien oder Geflechte vorliegen. Der Isolationswiderstand der Adern untereinander und zur Abschirmung darf bei Maximaltemperatur  $10^7 \Omega \times m^{-1}$  nicht unterschreiten. Die Durchschlagspannung ist größer als 500V AC.

Neben diesen Farbkennzeichnungen für Ausgleichsleitungen gibt es auch noch solche nach der DIN 43 714 von 1979 (Tab. 8). Sie weichen in einigen Punkten von den oben genannten ab.

Ist keine Farbkennzeichnung vorhanden, gelten nicht die Unterscheidungsmerkmale „magnetisches Verhalten“, „Farbe“ und „Festigkeit“ der Thermopaare.

Bei Ausgleichsleitungen Typ „KCA“ und „KCB“ ist im Gegensatz zur Thermoleitung „KX“ und dem Thermopaar Typ „K“ der Pluschenkel magnetisch.

Element- und Drahtart	Klassen der Grenzabweichungen [K]		Anwendungsbereich [°C]	Mess-temperatur [°C]
	1	2		
„JX“	± 85µV/±1,5K	± 140µV/±2,5K	-25 ... +200	500
„TX“	± 30µV/±0,5K	± 60µV/±1,0K	-25 ... +100	300
„EX“	± 120µV/±1,5K	± 200µV/±2,5K	-25 ... +200	500
„KX“	± 60µV/±1,5K	± 100µV/±2,5K	-25 ... +200	900
„NX“	± 60µV/±1,5K	± 100µV/±2,5K	-25 ... +200	900
„KCA“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +150	900
„KCB“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +100	900
„NC“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +150	900
„RCA“	-	± 30µV/±2,5K	0 ... +100	1000
„RCB“	-	± 60µV/±5,0K	0 ... +200	1000
„SCA“	-	± 30µV/±2,5K	0 ... +100	1000
„SCB“	-	± 60µV/±5,0K	0 ... +200	1000

Tab. 5: Grenzabweichungen der Thermo- und Ausgleichsleitungsklassen

Element	Typ	Mantel	Plusschenkel	Minusschenkel
Cu-CuNi	„T“	braun	braun	weiß
Fe-CuNi	„J“	schwarz	schwarz	weiß
NiCr-Ni	„K“	grün	grün	weiß
NiCrSi-NiSi	„N“	lila	lila	weiß
NiCr-CuNi	„E“	violett	violett	weiß
Pt10Rh-Pt	„S“	orange	orange	weiß
Pt13Rh-Pt	„R“	orange	orange	weiß

Tab. 6: Farbkennzeichnung für Elemente nach DIN EN 60 584

Element	Typ	Mantel	Plusschenkel	Minusschenkel
Fe-CuNi	„L“	blau	rot	blau
Cu-CuNi	„U“	braun	rot	braun

Tab. 7: Farbkennzeichnung für Elemente nach DIN 43 713

Element	Typ	Mantel	Plusschenkel	Minusschenkel
NiCr-Ni	„K“	grün	rot	grün
Pt10Rh-Pt	„S“	weiß	rot	weiß
Pt13Rh-Pt	„R“	weiß	rot	weiß

Tab. 8: Farbkennzeichnung für Elemente nach DIN 43 714, Stand 1979

## Aufbau von Thermoelementen

Neben einer fast unüberschaubaren Vielzahl von Sonderausführungen gibt es auch solche, die in ihren Bestandteilen vollständig durch Normen beschrieben werden.

### Thermoelemente mit Anschlusskopf

Ein derartiges **Thermoelement** ist modular aufgebaut. Es setzt sich zusammen aus Thermopaar, Einsatzrohr, Anschlusssockel, Schutzrohr und dem Anschlusskopf. Zur Befestigung kann ein Flansch oder eine Verschraubung vorgesehen werden.

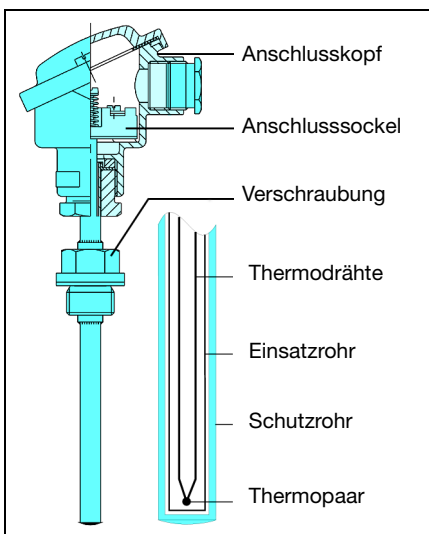


Abb. 4: Aufbau eines Thermoelementes

Der **Messeinsatz** ist eine fertig konfektionierte Einheit, bestehend aus Thermopaar und Anschlusssockel, wobei das Thermopaar in einem **Einsatzrohr** von 6 oder 8 mm Durchmesser aus SnBz6 nach DIN 17 681 (bis 300°C) oder Nickel untergebracht ist. Er wird in das eigentliche Schutzrohr eingeschoben, das vielfach aus Edelstahl hergestellt ist. Dabei stößt die Bodenplatte des Einsatzrohres bündig auf die Bodenplatte des Schutzrohres, damit ein guter Wärmeübergang sichergestellt ist. Die Befestigungsschrauben des Messeinsatzes liegen auf Federn, so dass auch bei einer unterschiedlichen Längenausdehnung von Einsatz- und Schutzrohr ein bodenbündiger Kontakt gewährleistet bleibt. So lässt sich der Messeinsatz später leicht austauschen.

Die Thermometer sind als Einfach- oder Doppelausführung gefertigt. Ihre Bemessung legt die DIN 43 735 fest. Wird kein Messeinsatz verwendet, befindet sich das Thermopaar mit keramischer Isolierung direkt im **Schutzrohr**.

Die Auswahl des jeweiligen Schutzrohrwerkstoffes hängt von den thermischen, chemischen und mechanischen Einsatzbedingungen ab.

**Metallische Schutzrohre** aus hitzebeständigem Stahl, z. B. Werkstoff-Nr. 1.4749, werden für Temperaturmessungen bis 1150°C eingesetzt. Die Beständigkeiten der Schutzrohrwerkstoffe sind in der DIN 43 720 beschrieben.

Diese Angaben sind unverbindliche Anhaltswerte und entbinden nicht von der Prüfung des Schutzrohrwerkstoffes auf Eignung für die vorhandenen Betriebsverhältnisse. Die angegebenen Temperaturen beziehen sich auf den Einsatz ohne mechanische Belastung und - sofern nicht anders angegeben - den Einsatz in reiner Luft.

**Keramische Schutzrohre** werden eingesetzt, wenn die Messbedingungen metallische Armaturen ausschließen, sei es aus chemischen Gründen oder wegen hoher Messertemperaturen. Ihr Haupteinsatzgebiet sind Temperaturen zwischen 1000 und 1650°C. Sie können direkt das Medium berühren oder als gasdichtes Innenrohr das Thermoelement vom eigentlichen Schutzrohr hermetisch trennen. Schon Haarrisse können dazu führen, dass das Thermoelement „vergiftet“ wird und driftet. Die Temperaturschockbeständigkeit einer Keramik wächst mit dem Wärmeleitvermögen und der Zugfestigkeit. Sie ist um so größer, je geringer der thermische Ausdehnungskoeffizient ist. Auch die Wandstärke des Materials ist dabei von großer Bedeutung; dünnwandige Rohre sollten dickwandigen vorgezogen werden.

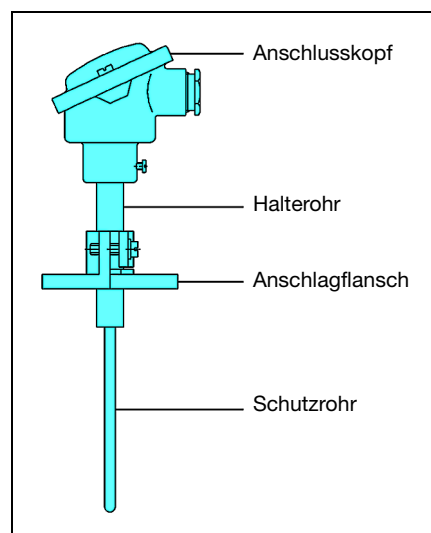


Abb. 5: Thermoelement mit keramischem Schutzrohr

Bei edlen Thermoelementen werden hohe Anforderungen an den Reinheitsgrad der Keramik gestellt: **Platin-Elemente** sind sehr empfindlich gegenüber Vergiftung durch Fremdatome. Hierzu zählen besonders Silizium, Arsen, Phosphor, Schwefel und Bor. Bei Armaturen für Hochtemperaturmessungen ist daher besonders darauf zu achten, dass das

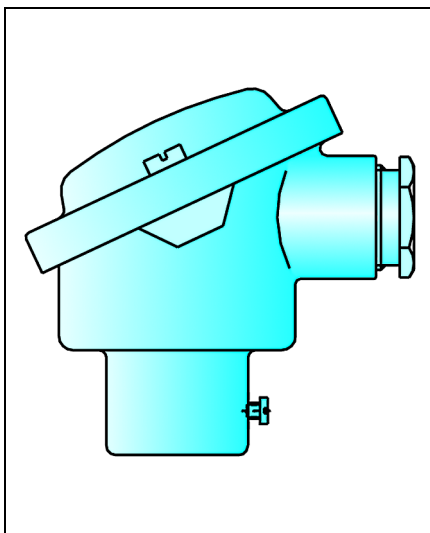
Isolations- und Schutzrohrmaterial möglichst keines der genannten Elemente enthält. Als besonders schädlich ist in diesem Zusammenhang SiO<sub>2</sub> anzusehen. Bei neutraler und reduzierender Atmosphäre erfolgt die Vergiftung wesentlich schneller. Ursache hierfür ist SiO<sub>2</sub>, das zum SiO reduziert und mit dem Platin zu Pt<sub>5</sub>Si<sub>2</sub> reagiert. Schon 0,2% SiO<sub>2</sub> im Isolations- oder Schutzrohrmaterial reichen in reduzierender Atmosphäre zur Ausbildung derartiger spröder Silizide aus.

Thermoelemente mit gasdurchlässigen Schutzrohren können daher nicht in reduzierenden Atmosphären, wie beispielsweise in Glühöfen, verwendet werden, während sie in oxidierender Umgebung oder Schutzgas zulässig sind. Wird ein Innenrohr aus gasdichter Keramik verwendet, kann das äußere Schutzrohr aber durchaus gasdurchlässig sein. Im Hochtemperaturbereich sind die Isolationseigenschaften der verwendeten Materialien wichtig. Schutzrohre aus Aluminiumoxid (KER 610) und Magnesiumoxid werden bereits bei Temperaturen oberhalb 1000°C merklich leitend. Hierdurch entsteht ein Nebenfluss, der das Ausgangssignal des Thermoelementes verfälscht. Das Isolationsverhalten der Keramiken wird mit steigendem Alkaligehalt schlechter. Reine Aluminiumoxid-Keramiken besitzen die besten Eigenschaften. Zur Isolation werden daher Vierlochstäbe und Schutzrohre aus KER 710 verwendet. Im Folgenden werden zwei gasdichte Keramiken vorgestellt, die in ihren Eigenschaften in der DIN 43 724 festgelegt sind:

Bei **KER 710** handelt es sich um eine reine Oxidkeramik aus mehr als 99,7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sowie Spuren von MgO, Si<sub>2</sub>O und Na<sub>2</sub>O mit einer Feuerstandfestigkeit bis 1900°C und einem Schmelzpunkt von 2050°C. Es ist der beste keramische Werkstoff mit einem Isolationswiderstand von 10<sup>7</sup> Ω x cm bei 1000°C, gut temperaturwechselbeständig aufgrund der guten Wärmeleiteigenschaften und relativ geringer Wärmeausdehnung. Bei Platin-Thermoelementen müssen sowohl der Isolierstab als auch das Schutzrohr aus KER 710 bestehen.

Der Werkstoff **KER 610** besitzt einen höheren Alkaligehalt (60% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 37% SiO<sub>2</sub>, 3% Alkali) und dadurch einen geringen Isolationswiderstand von ca. 10<sup>4</sup>Ω x cm bei 1000°C. Durch den hohen Siliziumdioxid-Anteil darf es nicht in reduzierenden Atmosphären eingesetzt werden. Gegenüber KER 710 hat es eine um das Neunfache geringere Wärmeleitfähigkeit; seine mechanische Stabilität ist gut. Der Vorteil gegenüber KER 710 liegt im Preis, der rund fünfmal niedriger ist.

Für die **Anschlussköpfe** sind in der DIN 43 729 die Bauformen A und B definiert, die sich in der Größe und geringfügig auch in der Form unterscheiden.



**Abb. 6: Anschlusskopf nach DIN 43 729, Form B**

Als Werkstoff wird Aluminium verwendet.

Die Schutzart ist nicht genormt, üblich ist spritzwasserdicht IP 54. Das Nennmaß des Durchmessers der Bohrung zur Aufnahme des Schutzrohres beträgt für die Anschlussköpfe:

- Bei Form A: 22, 24 oder 32 mm.
- Bei Form B: 15 mm oder Gewinde M 24 x 1,5.

**Thermoelemente nach DIN EN 14 597**

Thermoelemente, die an Temperaturregler oder Temperaturbegrenzungseinrichtungen von Wärmeerzeugern angeschlossen werden, müssen die Anforderungen der DIN EN 14 597 erfüllen. Es handelt sich um Thermoelemente, die eine zusätzliche Bauartzulassung des TÜV aufweisen.

Die Thermoelemente müssen mindestens eine Stunde mit Temperaturen von 15% über der oberen Grenztemperatur belastbar sein und in Abhängigkeit vom Medium bestimmte

Ansprechzeiten einhalten (z. B. Luft t<sub>0,63</sub> = 120s). Die Thermometer sind so konstruiert, dass sie die mechanischen Belastungen durch den äußeren Druck und Strömungsgeschwindigkeit des Mediums unter Temperatur standhalten.

Veränderungen an den Thermometern ohne Neuzulassung beim TÜV sind nicht statthaft!

**Thermoelemente mit Ausgleichsleitung**

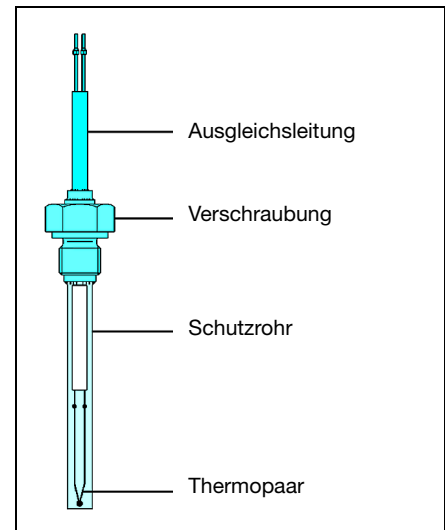
Bei Thermoelementen mit Ausgleichsleitung wird auf einen Messeinsatz und den Anschlusskopf verzichtet. Das Thermopaar ist mit der Thermo- oder Ausgleichsleitung direkt verbunden und in das Schutzrohr eingesetzt. Zur Zugentlastung wird das Schutzrohr am Übergang zur Ausgleichsleitung gedrückt. Serienmäßig ist das Thermopaar isoliert aufgebaut; zur Verbesserung des thermischen Kontaktes kann es auch mit dem Schutzrohrboden verschweißt werden. Die maximale Messtemperatur wird in erster Linie durch die Temperaturbeständigkeit des Mantel- und Isoliermaterials der Thermo- oder Ausgleichsleitung bestimmt. Die Tab. 9 zeigt exemplarisch einige Isolationsmaterialien und ihre obere Temperatur.

Material	t <sub>max</sub> /°C
PVC	80
Silikon	180
PTFE	260
Glasseide	350

**Tab. 9: Temperaturgrenzen einiger Isolationsmaterialien**

Die Bauformen der Thermometer sind sehr unterschiedlich und werden in vielen Fällen kundenspezifisch angepasst. Deshalb sind hier einige Eckdaten genannt.

- Durchmesser: 0,5 ... 6 mm
- Schutzrohrlänge: 35 ... 150 mm
- Schutzrohrmaterial: Edelstahl, hitzebeständiger Stahl oder Messing
- Mechanischer Anschluss: Fester oder verschiebbarer Flansch, feste Verschraubung oder Klemmverschraubung

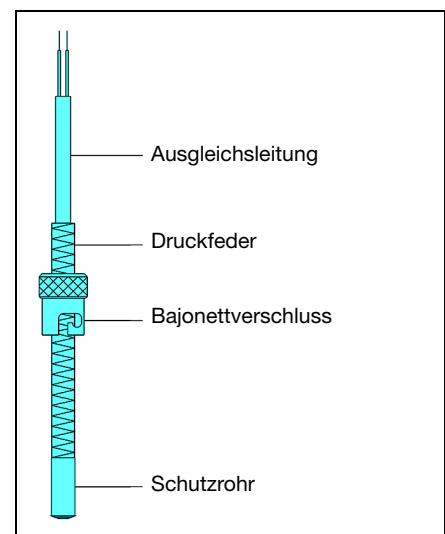


**Abb. 7: Aufbau eines Thermoelementes mit Ausgleichsleitung**

**Thermoelemente mit Bajonettverschluss**

Eine weitere Bauform ist mit einem Bajonettverschluss ausgestattet. Die Druckfeder aus Edelstahl, Werkstoff-Nr. 1.4310, die auch den Knickschutz übernimmt, gewährleistet einen gleichbleibenden Anpressdruck des Schutzrohres bzw. der Messspitze im Bohrloch.

Die Einbaulänge kann durch Verdrehen des Bajonettverschlusses variiert werden. Bajonettverschlüsse und Gegenstücke sind in den Durchmessern 12, 15 und 16 mm lieferbar.



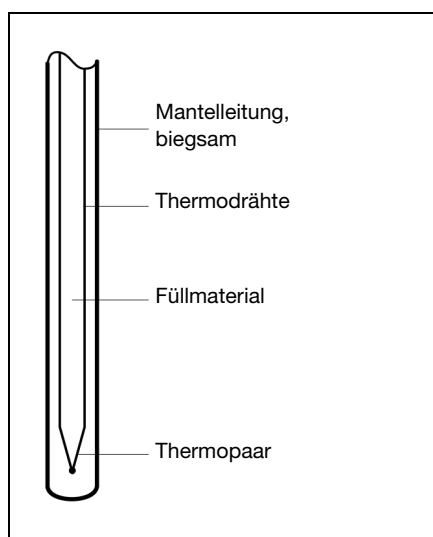
**Abb. 8: Thermoelement mit Bajonettverschluss**

Thermoelemente mit Bajonettverschluss werden besonders für Temperaturmessungen in Festkörpern, Gleitlagern und Werkzeugen, z. B. in der Kunststoffindustrie, eingesetzt. Durch die besondere Form der Messspitze sind diese

Thermoelemente für den Einsatz in planen und spitzen Bohrungen geeignet.

**Mantel-Thermoelemente**

Mantel-Thermoelemente basieren auf einer mineralisolierten Mantelleitung. In der dünnwandigen Mantelleitung aus Edelstahl oder hitzebeständigem Stahl (Inconel 600) sind die Innenleitungsdrähte aus Thermomaterial in gepresstem feuerfestem Magnesiumoxid eingebettet.



**Abb. 9: Aufbau eines Mantel-Thermoelementes**

Der sehr gute Wärmeübergang zwischen Mantel und Thermopaar ermöglicht kurze Ansprechzeiten ( $t_{0,5}$  ab 0,1s) und hohe Messgenauigkeiten.

Der erschütterungsfeste Aufbau garantiert eine lange Lebensdauer.

Durch die biegsame **Mantelleitung**, kleinster Biegeradius 5x äußerer Durchmesser von 0,5 ... 6mm sind Temperaturmessungen an schwer zugänglichen Stellen möglich. Mantel-Thermoelemente werden aufgrund Ihrer Eigenschaften in Chemieanlagen, Kraftwerken, Rohrleitungen, im Motorenbau, auf Prüfständen sowie an allen Mess-orten eingesetzt, an denen Erschütterungsfestigkeit, Biegsamkeit und problemlose Montage erwünscht sind.

**Anschluss von Thermoelementen**

Die Länge der Thermo- oder Ausgleichsleitung ist wegen des geringen Innenwiderstandes von untergeordneter Bedeutung. Bei größeren Leitungslängen mit geringem Querschnitt kann allerdings der Widerstand der Thermo- oder Ausgleichsleitungen vergleichsweise hohe Werte annehmen.

Zur Vermeidung von Anzeigefehlern muss der Innenwiderstand der Eingangsschaltung von

Folgegeräten mindestens 1000 mal größer sein als der Widerstand des angeschlossenen Thermoelementes.

Es dürfen immer nur Ausgleichsleitungen aus dem gleichen Material wie das Element selbst bzw. mit den gleichen thermoelektrischen Eigenschaften eingesetzt werden, da ansonsten an der Verbindungsstelle ein neues Element entsteht. Die Ausgleichsleitung muss bis zur Vergleichsstelle verlegt werden. Beim Anschluss von Thermoelementen ist die Polarität zu beachten.

**Verhalten bei Kurzschluss und Unterbrechung**

Ein Thermoelement liefert keine Spannung, wenn die Messtemperatur gleich der Vergleichsstellentemperatur ist.

Wird ein Thermoelement bzw. die Ausgleichsleitung kurzgeschlossen, so entsteht die neue Messstelle am Ort des Kurzschlusses. Tritt ein derartiger Kurzschluss beispielsweise im Anschlusskopf auf, so wird nicht mehr die Temperatur der eigentlichen Messstelle angezeigt, sondern die des Anschlusskopfes. Liegt im Messkreis eine Unterbrechung vor, so zeigt das Folgegerät die Vergleichsstellentemperatur an.

**Einbaubedingte Messfehler**

Ein Temperaturfühler zeigt immer nur die Temperatur seines temperaturempfindlichen Sensors an. Diese Temperatur muss nicht gleich der eigentlich zu messenden Mediumtemperatur sein. Das Thermometer ist nicht isoliert im Medium eingebaut, sondern steht auch thermisch mit der äußeren Umgebung in Verbindung. Dabei kommt es zu einer Temperaturverschiebung (Wärmeableitfehler). Dieser Fehler hängt von vielen Faktoren ab. Hierzu zählen: Mediumtemperatur, Umgebungstemperatur, wärmetechnische Eigenschaften des Mediums, Strömungsgeschwindigkeit und Einbaulänge des Thermometers. Um den Fehler nachhaltig zu reduzieren, ist die geeignete Wahl der Einbaustelle und hier insbesondere die Einbaulänge des Thermometers in das Medium von höchster Wichtigkeit. Als Richtwert für die Messung in flüssigen Medien sollte die Eintauchtiefe mindestens dem 15-fachen des Thermometerdurchmessers entsprechen. Bei Messungen in Gas ist die maximale Einbaulänge des Thermometers vorzusehen. Bei kritischen Anwendungen oder Forderungen nach kleinen Messfehlern sollte in einem Versuch der einbaubedingte Messfehler geprüft werden. Dazu ist das Thermometer aus der Einbaustelle herauszuziehen (ca. 10mm) und die Temperaturanzeige zu beobachten.

**Fehlersuche**

Einer der am häufigsten auftretenden Fehler ist das Vergessen bzw. die falsche Auswahl der Ausgleichsleitung. Ein Thermo-element kann mit einem einfachen Durchgangsprüfer oder Ohmmeter auf Unterbrechung geprüft werden. Die Funktion der Messstelle und die richtige Polarität des Thermoelementes kann mit einem Spannungsmessgerät (Millivolt-Messbereich) und Erwärmen der Messstelle geprüft werden.

Mögliche Anschlussfehler und ihre Auswirkungen:

- *Anzeigeelement zeigt Raumtemperatur an*  
Thermoelement oder Leitung unterbrochen
- *Anzeige stimmt dem Betrag nach, hat aber negatives Vorzeichen*  
Polarität am Anzeigeelement vertauscht
- *Deutlich zu hohe oder zu niedrige Anzeige*  
a) Falsche Linearisierung im Anzeigegerät  
b) Falsche Ausgleichsleitung bzw. verpolt angeschlossen
- *Anzeige um einen festen Betrag zu hoch oder zu niedrig*  
Falsche Vergleichsstellentemperatur
- *Anzeige korrekt, aber driftet langsam trotz konstanter Messtemperatur*  
Vergleichsstellentemperatur nicht konstant oder nicht erfasst
- *Bei einpolig abgeklemmtem Element wird noch ein Wert angezeigt*  
a) Elektromagnetische Störungen werden auf die Eingangsleitung eingekoppelt  
b) Wegen fehlender galvanischer Trennung und mangelhafter Isolation werden parasitäre Spannungen, z. B. durch die Ofenisolation, eingeschleift
- *Auch bei zweipolig abgeklemmtem Element wird ein hoher Wert angezeigt*  
a) Elektromagnetische Störungen werden auf die Eingangsleitung eingekoppelt  
b) Parasitäre galvanische Spannungen, z. B. durch feuchte Isolation in der Ausgleichsleitung

**Sicherheitstechnischer Hinweis**

Alle Schweißverbindungen bei Thermometern und Tauchhülsen werden in einem elementaren Qualitätssicherungssystem nach DIN 85 63, Teil 113 überwacht. Für den „Überwachungspflichtigen Bereich“ (z. B. Druckbehälterbau) nach §24 der Gewerbeordnung gelten besondere Bedingungen. Nach Mitteilung des Kunden, dass es sich um einen Einsatz im geregelten Bereich handelt, wird eine schweißtechnische Überwachung nach EN 287 und EN 288 durchgeführt.

**Druckbelastung bei Temperaturfühlern**

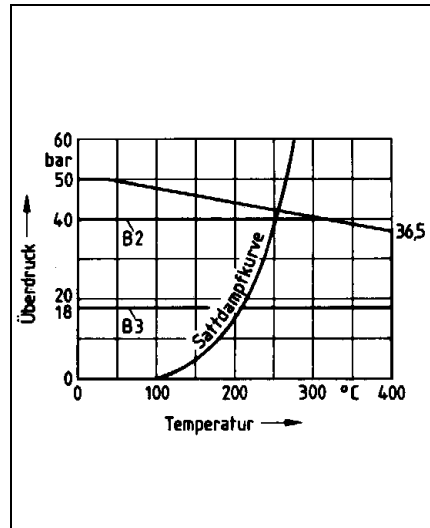
Die Druckbeständigkeit von Schutzarmaturen wie sie bei elektrischen Thermometern zum Einsatz gelangen, hängt stark von verschiedenen Prozessparametern ab.

Hierunter fallen:

- Temperatur
- Druck
- Strömungsgeschwindigkeit
- Schwingungen

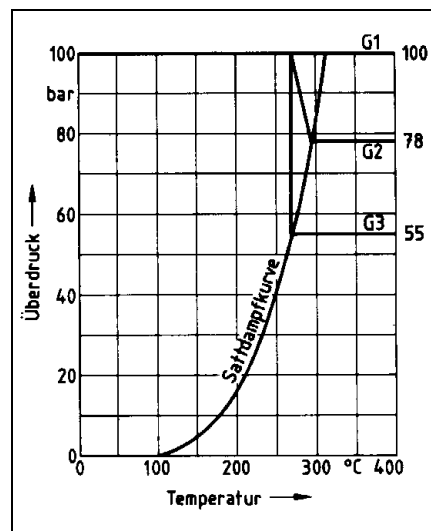
Darüber hinaus müssen Materialeigenschaften der Schutzarmatur wie Werkstoff, Einbaulänge, Durchmesser und Art des Prozessanschlusses berücksichtigt werden.

Die folgenden Diagramme entstammen der DIN 43 763 und zeigen die Grenzbelastung für die verschiedenen Grundbauformen als Funktion von der Temperatur und der Einbaulänge sowie Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und Medium.



**Abb. 10: Druckbelastung für Schutzrohr Form B**

Edelstahl 1.4571  
 v bis 25m/s in Luft  
 v bis 3m/s in Wasser



**Abb. 11: Druckbelastung für Schutzrohr Form G**

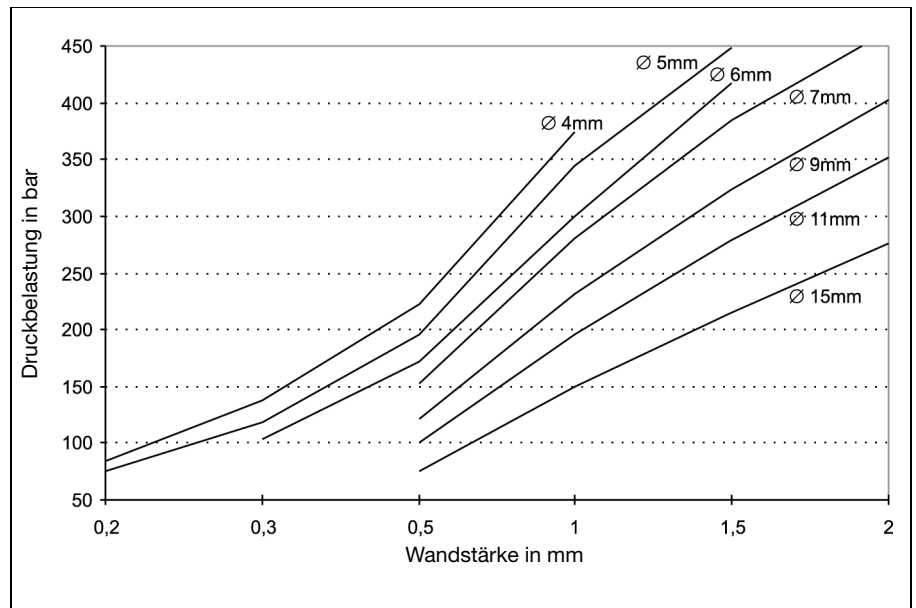
Edelstahl 1.4571  
 v bis 40m/s in Luft  
 v bis 4m/s in Wasser

Wie bereits in der Norm erläutert, handelt es sich um Richtwerte, die für den einzelnen Anwendungsfall separat geprüft werden müssen. Geringe Abweichungen der Messbedingungen können bereits zur Zerstörung des Schutzrohres führen.

Wird eine Überprüfung der Schutzarmatur bei der Bestellung eines elektrischen Thermometers gefordert, sind die Belastungsart und die Grenzwerte anzugeben.

Für eine Vielzahl von weiteren Thermometer-Konstruktionen zeigt die Abb. 12 für verschiedene Rohrabmessungen, die Belastungsgrenzen (Richtwerte) auf. Die max. Druckbelastung zylindrischer Schutzrohre ist als Funktion der Wandstärke bei verschiedenen Rohrdurchmessern dargestellt.

Die Angaben gelten für Schutzrohre aus Edelstahl 1.4571, Einbaulänge 100mm, Strömungsgeschwindigkeit 10m/s in Luft bzw. 4m/s in Wasser und einen Temperaturbereich von -20 ... +100°C. Ein Sicherheitsfaktor von 1.8 wurde berücksichtigt. Für höhere Temperaturen bzw. andere Werkstoffe, muss die max. Druckbelastung um die in der Tabelle angegebene Prozentwerte reduziert werden.



**Abb. 12: Schutzrohrbelastungsgrenzen der Rohrabmessungen**

Werkstoff	Temperatur	Reduzierung
CrNi 1.4571	bis +200°C	-10%
CrNi 1.4571	bis +300°C	-20%
CrNi 1.4571	bis +400°C	-25%
CrNi 1.4571	bis +500°C	-30%
CuZn 2.0401	bis +100°C	-15%
CuZn 2.0401	bis +175°C	-60%





**Druckprüfung für Thermometer-Schutzarmaturen**

Die geschweißten Schutzarmaturen der JUMO-Thermometer unterliegen einer Dichtheitsprüfung. Je nach Konstruktion der Schutzarmatur wird ein Lecktest oder eine Druckprüfung durchgeführt.

Thermometer, die nach DIN bzw. anwendungsspezifischen Richtlinien (Chemie, Petroindustrie, Druckbehälter-Verordnung, Dampfkessel) gefertigt werden, erfordern unterschiedliche Druckprüfungen entsprechend der jeweiligen Applikation.

Sollen die Thermometer nach solchen Normen bzw. Richtlinien gefertigt werden, sind die erforderlichen Prüfungen bzw. Normen und/oder Richtlinien bei der Bestellung anzugeben.

**Prüfungsumfang**

Die Prüfungen können an jeder einzelnen Schutzarmatur durchgeführt und mit einem Prüfprotokoll oder Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10 204 dokumentiert werden (Mehrpreis).

**Art der Prüfungen**

Die Prüfungen können an Schutzarmaturen bis zu einer Einbaulänge von max. 1050mm mit Flanschanschluss DN 25 oder Gewindeanschluss bis maximal 1"-Gewinde erfolgen.

Folgende Prüfungen können durchgeführt werden:

Prüfungsart	Prüfmedium	Druckbereich	Prüfdauer
Lecktest	Helium	Vakuum	10 s
Druckprüfung I	Stickstoff	1 ... 50bar	10 s
Druckprüfung II	Wasser	50 ... 300bar	10 s

**Lecktest**

Im Inneren des Schutzrohres wird ein Unterdruck erzeugt. Von außen erfolgt eine Beaufschlagung der Schutzarmatur mit Helium. Befindet sich ein Leck im Schutzrohr, so gelangt Helium in das Innere und wird von einem Analysesystem erkannt. Aus dem Druckanstieg wird eine Leckrate ermittelt (Leckrate > 1 x 10<sup>-6</sup> l/bar).

**Druckprüfung I**

Das Schutzrohr wird von außen mit einem Überdruck Stickstoff beaufschlagt. Befindet sich ein Leck in der Armatur, entsteht im Schutzrohrinneren ein Volumenstrom, der erkannt wird.

**Druckprüfung II**

Von außen wird das Schutzrohr mit Wasser druckbeaufschlagt. Dieser Druck muss für eine bestimmte Zeit konstant bleiben. Ist dies

nicht der Fall, so ist die Schutzarmatur undicht.

**Qualifizierter Schweißprozess für die Produktion von Thermometer-Schutzrohren**

Neben der Verwendung von einwandfreiem Material bestimmt auch die Verbindungstechnik letztendlich die mechanische Stabilität und Qualität der Schutzarmatur. Aus diesem Grund richtet JUMO die Schweißtechnik nach den europäischen Normen EN 287 und EN 288 aus. Eingesetzt werden bei manuellen Schweißarbeiten geprüfte Schweißer gemäß EN 287. Bei automatisierten Schweißprozessen werden diese durch eine WPS (Schweißanweisung) nach EN 288 qualifiziert.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die qualifizierten Schweißprozesse:

Material	WIG - Schweißen	
	manuell	automatisch
W11, W11 mit W01-W04 nach EN 287	Rohr-Durchmesser 2 ... 30mm Wandstärke 0,75 ... 5,6mm	Rohr-Durchmesser 5 ... 10mm Wandstärke 0,5 ... 1,0mm

Tab. 10: Qualifizierte Schweißprozesse

Durch die vorliegenden Erfahrungen sind unsere Schweißer ebenfalls in der Lage Verbindungen von anderen Werkstoffen und Abmessungen herzustellen.

Bei Wandstärken kleiner 0,6mm wird auch das Laserstrahl-Schweißen eingesetzt, das durch eine Laserstrahl-Fachkraft gemäß der Richtlinie DSV 1187 überwacht wird.

Auf Kundenwunsch werden gegen Mehrpreis Werksprüfzeugnisse über die verwendeten Materialien ausgestellt. Ebenfalls können Sonderprüfungen und Behandlungen gegen Berechnung je nach Aufwand durchgeführt werden, wie sie von verschiedenen Anwendungsrichtlinien vorgeschrieben sind. Hierunter fallen Röntgenprüfungen, Rissprüfung (Farbeindringtest), thermische Behandlung, spezielle Reinigungen und Kennzeichnungen.



## Thermospannungen nach DIN EN 60 584

im mV für Temperaturen gestuft von jeweils 10 zu 10°C (Vergleichsstelle 0°C)

Pt13Rh-Pt „R“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,054	0,111	0,171	0,232	0,296	0,363	0,431	0,501	0,573
100	0,647	0,723	0,800	0,879	0,959	1,041	1,124	1,208	1,294	1,380
200	1,468	1,557	1,647	1,738	1,830	1,923	2,017	2,111	2,207	2,303
300	2,400	2,498	2,596	2,695	2,795	2,896	2,997	3,099	3,201	3,304
400	3,407	3,511	3,616	3,721	3,826	3,933	4,039	4,146	4,254	4,362
500	4,471	4,580	4,689	4,799	4,910	5,021	5,132	5,244	5,356	5,469
600	5,582	5,696	5,810	5,925	6,040	6,155	6,272	6,388	6,505	6,623
700	6,741	6,860	6,979	7,098	7,218	7,339	7,460	7,582	7,703	7,826
800	7,949	8,072	8,196	8,320	8,445	8,570	8,696	8,822	8,949	9,076
900	9,203	9,331	9,460	9,589	9,718	9,848	9,978	10,109	10,240	10,371
1000	10,503	10,636	10,768	10,902	11,035	11,170	11,304	11,439	11,574	11,710
1100	11,846	11,983	12,119	12,257	12,394	12,532	12,669	12,808	12,946	13,085
1200	13,224	13,363	13,502	13,642	13,782	13,922	14,062	14,202	14,343	14,483
1300	14,624	14,765	14,906	15,047	15,188	15,329	15,470	15,611	15,752	15,893
1400	16,035	16,176	16,317	16,458	16,599	16,741	16,882	17,022	17,163	17,304
1500	17,445	17,585	17,726	17,866	18,006	18,146	18,286	18,425	18,564	18,703
1600	18,842	18,981	19,119	19,257	19,395	19,533	19,670	19,807	19,944	20,080

Pt10Rh-Pt „S“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,055	0,113	0,173	0,235	0,299	0,365	0,432	0,502	0,573
100	0,645	0,719	0,795	0,872	0,950	1,029	1,109	1,190	1,273	1,356
200	1,440	1,525	1,611	1,698	1,785	1,873	1,962	2,051	2,141	2,232
300	2,323	2,414	2,506	2,599	2,692	2,786	2,880	2,974	3,069	3,164
400	3,260	3,356	3,452	3,549	3,645	3,743	3,840	3,938	4,036	4,135
500	4,234	4,333	4,432	4,532	4,632	4,732	4,832	4,933	5,034	5,136
600	5,237	5,339	5,442	5,544	5,648	5,751	5,855	5,960	6,064	6,169
700	6,274	6,380	6,486	6,592	6,699	6,805	6,913	7,020	7,128	7,236
800	7,345	7,454	7,563	7,672	7,782	7,892	8,003	8,114	8,225	8,336
900	8,448	8,560	8,673	8,786	8,899	9,012	9,126	9,240	9,355	9,470
1000	9,585	9,700	9,816	9,932	10,048	10,165	10,282	10,400	10,517	10,635
1100	10,754	10,872	10,991	11,110	11,229	11,348	11,467	11,587	11,707	11,827
1200	11,947	12,067	12,188	12,308	12,429	12,550	12,671	12,792	12,913	13,034
1300	13,155	13,276	13,397	13,519	13,640	13,761	13,883	14,004	14,125	14,247
1400	14,368	14,489	14,610	14,731	14,852	14,973	15,094	15,215	15,336	15,456
1500	15,576	15,697	15,817	15,937	16,057	16,176	16,296	16,415	16,534	16,653
1600	16,771	16,890	17,008	17,125	17,243	17,360	17,477	17,594	17,711	17,826

Pt30Rh-Pt6Rh „B“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	-0,002	-0,003	-0,002	-0	0,002	0,006	0,011	0,017	0,025
100	0,033	0,043	0,053	0,065	0,078	0,092	0,107	0,123	0,140	0,159
200	0,178	0,199	0,220	0,243	0,266	0,291	0,317	0,344	0,372	0,401
300	0,431	0,462	0,494	0,527	0,561	0,596	0,632	0,669	0,707	0,746
400	0,786	0,827	0,870	0,913	0,957	1,002	1,048	1,095	1,143	1,192
500	1,241	1,292	1,344	1,397	1,450	1,505	1,560	1,617	1,674	1,732
600	1,791	1,851	1,912	1,974	2,036	2,100	2,164	2,230	2,296	2,363
700	2,430	2,499	2,569	2,639	2,710	2,782	2,855	2,928	3,003	3,078
800	3,154	3,231	3,308	3,387	3,466	3,546	3,626	3,708	3,790	3,873
900	3,957	4,041	4,126	4,212	4,298	4,386	4,474	4,562	4,652	4,742
1000	4,833	4,924	5,016	5,109	5,202	5,297	5,391	5,487	5,583	5,680
1100	5,777	5,875	5,973	6,073	6,172	6,273	6,374	6,475	6,577	6,680
1200	6,783	6,887	6,991	7,096	7,202	7,308	7,414	7,521	7,628	7,736
1300	7,845	7,953	8,063	8,172	8,283	8,393	8,504	8,616	8,727	8,839
1400	8,952	9,065	9,178	9,291	9,405	9,519	9,634	9,748	9,863	9,979
1500	10,094	10,210	10,325	10,441	10,558	10,674	10,790	10,907	11,024	11,141
1600	11,257	11,374	11,491	11,608	11,725	11,842	11,959	12,076	12,193	12,310
1700	12,426	12,543	12,659	12,776	12,892	13,008	13,124	13,239	13,354	13,470



## Thermospannungen nach DIN EN 60 584

im mV für Temperaturen gestuft von jeweils 10 zu 10°C (Vergleichsstelle 0°C)

Cu-CuNi „T“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,603	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,378	-3,656	-3,923	-4,177	-4,419	-4,648	-4,865	-5,069	-5,261	-5,439
0	0	-0,383	-0,757	-1,121	-1,475	-1,819	-2,152	-2,475	-2,788	-3,089

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,391	0,789	1,196	1,611	2,035	2,467	2,908	3,357	3,813
100	4,277	4,749	5,227	5,712	6,204	6,702	7,207	7,718	8,235	8,757
200	9,286	9,820	10,360	10,905	11,456	12,011	12,572	13,137	13,707	14,281
300	14,860	15,443	16,030	16,621	17,217	17,816	18,420	19,027	19,638	20,252

Fe-CuNi „J“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-7,890	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-4,632	-5,036	-5,426	-5,801	-6,159	-6,499	-6,821	-7,122	-7,402	-7,659
0	0	-0,501	-0,995	-1,481	-1,960	-2,431	-2,892	-3,344	-3,785	-4,215

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,507	1,019	1,536	2,058	2,585	3,115	3,649	4,186	4,725
100	5,268	5,812	6,359	6,907	7,457	8,008	8,560	9,113	9,667	10,222
200	10,777	11,332	11,887	12,442	12,998	13,553	14,108	14,663	15,217	15,771
300	16,325	16,879	17,432	17,984	18,537	19,089	19,640	20,192	20,743	21,295
400	21,846	22,397	22,949	23,501	24,054	24,607	25,161	25,716	26,272	26,829
500	27,388	27,949	28,511	29,075	29,642	30,210	30,782	31,356	31,933	32,513
600	33,096	33,683	34,273	34,867	35,464	36,066	36,671	37,280	37,893	38,510
700	39,130	39,754	40,382	41,013	41,647	42,283	42,922	43,563	44,207	44,852



## Thermospannungen nach DIN EN 60 584

im mV für Temperaturen gestuft von jeweils 10 zu 10°C (Vergleichsstelle 0°C)

NiCr-Ni „K“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,891	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,554	-3,852	-4,138	-4,411	-4,669	-4,913	-5,141	-5,354	-5,550	-5,730
0	0	-0,392	-0,778	-1,156	-1,527	-1,889	-2,243	-2,587	-2,920	-3,243

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,397	0,798	1,203	1,612	2,023	2,436	2,851	3,267	3,682
100	4,096	4,509	4,920	5,328	5,735	6,138	6,540	6,941	7,340	7,739
200	8,138	8,539	8,940	9,343	9,747	10,153	10,561	10,971	11,382	11,795
300	12,209	12,624	13,040	13,457	13,874	14,293	14,713	15,133	15,554	15,975
400	16,397	16,820	17,243	17,667	18,091	18,516	18,941	19,366	19,792	20,218
500	20,644	21,071	21,497	21,924	22,350	22,776	23,203	23,629	24,055	24,480
600	24,905	25,330	25,755	26,179	26,602	27,025	27,447	27,869	28,289	28,710
700	29,129	29,548	29,965	30,382	30,798	31,213	31,628	32,041	32,453	32,865
800	33,275	33,685	34,093	34,501	34,908	35,313	35,718	36,121	36,524	36,925
900	37,326	37,725	38,124	38,522	38,918	39,314	39,708	40,101	40,494	40,885
1000	41,276	41,665	42,053	42,440	42,826	43,211	43,595	43,978	44,359	44,740
1100	45,119	45,497	45,873	46,249	46,623	46,995	47,367	47,737	48,105	48,473
1200	48,838	49,202	49,565	49,926	50,286	50,644	51,000	51,355	51,708	52,060
1300	52,410	52,759	53,106	53,451	53,795	54,138	54,479	54,819	-	-

NiCr-CuNi „E“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-8,824	-9,063	-9,274	-9,455	-9,604	-9,719	-9,797	-9,835	-	-
-100	-5,237	-5,680	-6,107	-6,516	-6,907	-7,279	-7,631	-7,963	-8,273	-8,561
0	0	-0,581	-1,151	-1,709	-2,254	-2,787	-3,306	-3,811	-4,301	-4,771

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,591	1,192	1,801	2,419	3,047	3,683	4,329	4,983	5,646
100	6,317	6,996	7,683	8,377	9,078	9,787	10,501	11,222	11,949	12,681
200	13,419	14,161	14,909	15,661	16,417	17,178	17,942	18,710	19,481	20,256
300	21,033	21,814	22,597	23,383	24,171	24,961	25,754	26,549	27,345	28,143
400	28,943	29,744	30,546	31,350	32,155	32,960	33,767	34,574	35,382	36,190
500	36,999	37,808	38,617	39,426	40,236	41,045	41,853	42,662	43,470	44,278
600	45,085	45,891	46,697	47,502	48,306	49,109	49,911	50,713	51,513	52,312
700	53,110	53,907	54,703	55,498	56,291	57,083	57,873	58,663	59,451	60,237
800	61,022	61,806	62,588	63,368	64,147	64,924	65,700	66,473	67,245	68,015
900	68,783	69,549	70,313	71,075	71,835	72,593	73,350	74,104	74,857	75,608



## Klassen der Grenzabweichungen für Thermopaare (Vergleichsstelle 0°C) nach DIN EN 60 584

Thermopaar	Verwendungsbereich	Klasse 1	Grenzabweichung ( $\pm$ ) <sup>1</sup>
Kupfer/Kupfer-Nickel „T“	-40 ... + 350°C		0,5°C oder 0,004 x Itl
Eisen/Kupfer-Nickel „J“	-40 ... + 750°C		1,5°C oder 0,004 x Itl
Nickel-Chrom/Kupfer-Nickel „E“	-40 ... + 800°C		0,5°C oder 0,004 x Itl
Nickel-Chrom/Nickel „K“	-40 ... + 1000°C		1,5°C oder 0,004 x Itl
Platin-13% Rhodium/Platin „R“	0 ... 1600°C		1 °C oder $[1+(t-1100) \times 0,003]^\circ\text{C}$
Platin-10% Rhodium/Platin „S“	0 ... 1600°C		1 °C oder $[1+(t-1100) \times 0,003]^\circ\text{C}$
Platin-30% Rhodium/Platin-6% Rhodium „B“	-		-

Thermopaar	Verwendungsbereich	Klasse 2	Grenzabweichung ( $\pm$ ) <sup>1</sup>
Kupfer/Kupfer-Nickel „T“	-40 ... + 350°C		1 °C oder 0,0075 x Itl
Eisen/Kupfer-Nickel „J“	-40 ... + 750°C		2,5°C oder 0,0075 x Itl
Nickel-Chrom/Kupfer-Nickel „E“	-40 ... + 900°C		1 °C oder 0,0075 x Itl
Nickel-Chrom/Nickel „K“	-40 ... + 1200°C		2,5°C oder 0,0075 x Itl
Platin-13% Rhodium/Platin „R“	0 ... 1600°C		1,5°C oder 0,0025 x t
Platin-10% Rhodium/Platin „S“	0 ... 1600°C		1,5°C oder 0,0025 x t
Platin-30% Rhodium/Platin-6% Rhodium „B“	600 ... 1700°C		1,5°C oder 0,0025 x t

Thermopaar	Verwendungsbereich	Klasse 3 <sup>2</sup>	Grenzabweichung ( $\pm$ ) <sup>1</sup>
Kupfer/Kupfer-Nickel „T“	-200 ... + 40°C		1 °C oder 0,015 x Itl
Eisen/Kupfer-Nickel „J“	-200 ... + 40°C		2,5°C oder 0,015 x Itl
Nickel-Chrom/Kupfer-Nickel „E“	-200 ... + 40°C		1 °C oder 0,015 x Itl
Nickel-Chrom/Nickel „K“	-200 ... + 40°C		2,5°C oder 0,015 x Itl
Platin-13% Rhodium/Platin „R“	-		-
Platin-10% Rhodium/Platin „S“	-		-
Platin-30% Rhodium/Platin-6% Rhodium „B“	600 ... 1700°C		4 °C oder 0,005 x t

**Die Standardtoleranz bei Thermoelementen entspricht der DIN 43 760 oder DIN EN 60 584, Klasse 2.  
 Eingeschränkte Toleranzbereiche nach Klasse 1 sind bei Mantel-Thermoelementen möglich.**

1. Als Grenzabweichungen gelten die festgelegten Werte °C oder die auf die tatsächliche Temperatur in °C bezogenen Prozentsätze. Es gilt jeweils der größere Wert.
2. Thermopaare und Thermodrähte werden üblicherweise so geliefert, dass die Grenzabweichungen nach obenstehender Tabelle für den Temperaturbereich oberhalb -40°C eingehalten werden. Die Abweichungen für Thermopaare des gleichen Materials können bei Temperaturen unterhalb von -40°C größer sein als die in Klasse 3 festgelegten Grenzabweichungen. Wenn Thermopaare benötigt werden, die die Grenzabweichungen nach den Klassen 1, 2 und/oder 3 einhalten sollen, muss dies vom Besteller angegeben werden, wobei üblicherweise eine spezielle Selektion des Materials notwendig ist.



## Thermospannungen nach DIN 43 710

im mV für Temperaturen gestuft von jeweils 10 zu 10°C (Vergleichsstelle 0°C)

Cu-CuNi „U“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,40	-3,68	-3,95	-4,21	-4,46	-4,69	-4,91	-5,12	-5,32	-5,51
0	0	-0,39	-0,77	-1,14	-1,50	-1,85	-2,18	-2,50	-2,81	-3,11

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,40	0,80	1,21	1,63	2,05	2,48	2,91	3,35	3,80
100	4,25	4,71	5,18	5,65	6,13	6,62	7,12	7,63	8,15	8,67
200	9,20	9,74	10,29	10,85	11,41	11,98	12,55	13,13	13,71	14,30
300	14,90	15,50	16,10	16,70	17,31	17,92	18,53	19,14	19,76	20,38
400	21,00	21,62	22,25	22,88	23,51	24,15	24,79	25,44	26,09	26,75
500	27,41	28,08	28,75	29,43	30,11	30,80	31,49	32,19	32,89	33,60

Fe-CuNi „L“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-8,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-4,75	-5,15	-5,53	-5,90	-6,26	-6,60	-6,93	-7,25	-7,56	-7,86
0	0	-0,51	-1,02	-1,53	-2,03	-2,51	-2,98	-3,44	-3,89	-4,33

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,52	1,05	1,58	2,11	2,65	3,19	3,73	4,27	4,82
100	5,37	5,92	6,47	7,03	7,59	8,15	8,71	9,27	9,83	10,39
200	10,95	11,51	12,07	12,63	13,19	13,75	14,31	14,88	15,44	16,00
300	16,56	17,12	17,68	18,24	18,80	19,36	19,92	20,48	21,04	21,60
400	22,16	22,72	23,29	23,86	24,43	25,00	25,57	26,14	26,71	27,28
500	27,85	28,43	29,01	29,59	30,17	30,75	31,33	31,91	32,49	33,08
600	33,67	34,26	34,85	35,44	36,04	36,64	37,25	37,85	38,47	39,09
700	39,72	40,35	40,98	41,62	42,27	42,92	43,57	44,23	44,89	45,55
800	46,22	46,89	47,57	48,25	48,94	49,63	50,32	51,02	51,72	52,43

## Elektrische Temperaturmessung

mit Thermoelementen  
und Widerstandsthermometern

Matthias Nau

Elektrische Temperatursensoren sind aus der heutigen Automatisierungs-, Konsum- und Fertigungstechnik nicht mehr wegzudenken. Gerade im Zuge rasant zunehmender Automatisierung ist ihr Einzug in die Industrietechnik in den letzten Jahren und Jahrzehnten unaufhaltsam geworden.



**Abb. 13: Publikation**  
„Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern“

Um so wichtiger ist es daher für den Anwender, aus dieser Vielfalt der angebotenen Mittel zur elektrischen Temperaturmessung das für seinen Anwendungsfall geeignete herauszufinden.

Auf 166 Seiten informiert dieser Fachaufsatz über die theoretischen Grundlagen elektrischer Temperaturmessung, die praktische Ausführung von Temperatursensoren, ihre Normung, den elektrischen Anschluss, Toleranzen und Bauformen.

Weiterhin wird ausführlich auf die unterschiedlichen Armaturen für elektrische Thermometer, ihre Klassifizierung nach DIN und die unterschiedlichsten Einsatzgebiete eingegangen. Ein ausführlicher Tabellenteil der Spannungs- und Widerstandsreihen nach DIN und EN ergänzt das Buch zu einem wertvollen Leitfaden sowohl für den erfahrenen Praktiker als auch den Neuling auf dem Gebiet elektrischer Temperaturmessung.

Zu bestellen unter Verkaufs-Artikel-Nr. 90/00074750 oder als Download im Internet unter [www.jumo.net](http://www.jumo.net)

Wegen der Bearbeitungskosten bitten wir Schulen, Institute und Universitäten um eine Sammelbestellung.

## Messunsicherheit einer Temperaturmesskette

mit Beispielrechnungen

Gerd Scheller

Dieser 40-seitige Fachaufsatz stellt insbesondere mit dem in Kapitel 3 aufgeführten Beispielrechnungen ein Hilfsmittel bei der Beurteilung der Messunsicherheit dar. Bei auftretenden Problemen sind wir gerne bereit, mit unseren Kunden die konkreten Fälle zu besprechen und praktische Hilfestellungen zu geben.



**Abb. 14: Publikation**  
„Messunsicherheit einer Temperaturmesskette mit Beispielrechnungen“

Um Messungen vergleichbar zu machen, muss die Qualität durch die Angabe der Messunsicherheit bekannt gemacht werden. Der 1993 herausgegebene ISO/BIPM „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, meist kurz GUM genannt, führt eine einheitliche Methode zur Ermittlung und Angabe der Messunsicherheit ein. Diese Methode wurde weltweit von den Kalibrierlabors aufgegriffen. Für die Anwendung sind jedoch einige mathematische Kenntnisse erforderlich. In den weiteren Kapiteln wird durch vereinfachte Betrachtung die Messunsicherheit für alle Anwender von Temperaturmessketten

verständlich gemacht.

Fehler beim Einbau der Temperatursensoren und Anschluss der Auswerteelektronik führen zu einer Erhöhung des Messfehlers. Hinzu kommen Messunsicherheitsanteile des Sensors und der Auswerteelektronik selbst. Nach der Erläuterung der Messunsicherheitsanteile werden einige Beispielrechnungen durchgeführt.

Durch die Kenntnis von Messunsicherheitsanteilen und ihrer Größenordnung wird der Anwender in die Lage versetzt, einzelne Anteile durch geänderte Einbaubedingungen oder Geräteauswahl zu verringern. Entscheidend ist immer, welche Messunsicherheit für eine Messaufgabe erforderlich ist. Sind z. B. in einer Norm Grenzwerte für die Abweichung der Temperatur vom Sollwert vorgegeben, sollte die Messunsicherheit des verwendeten Messverfahrens maximal 1/3 des Grenzwertes betragen.

Zu bestellen unter Verkaufs-Artikel-Nr. 90/00413510 oder als Download im Internet unter [www.jumo.net](http://www.jumo.net)

Wegen der Bearbeitungskosten bitten wir Schulen, Institute und Universitäten um eine Sammelbestellung.

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-722/724  
Telefax: +49 661 6003-601/688  
E-Mail: mail@jumo.net  
Internet: www.jumo.net



## Deutscher Kalibrierdienst (DKD) bei JUMO

### Kalibrier-Laboratorium für die Messgröße Temperatur

Durch gesteigertes Qualitätsbewusstsein, Verbesserung der Messtechnik und nicht zuletzt durch Qualitätssicherungssysteme wie z. B. die DIN ISO 9000, werden verstärkt Forderungen an die Dokumentation der Prozesse und die Überwachung der Messmittel gestellt. Hinzu kommen Kundenanforderungen nach hohem Qualitätsstandard Ihrer Produkte. Besonders hohe Anforderungen ergeben sich aus den Normen DIN ISO 9000 und EN 45 000, wonach Messungen auf nationale oder internationale Normale rückgeführt sein müssen. Hierin werden als gesetzliche Grundlage die Lieferanten und Hersteller (von Produkten, die temperaturrelevanten Prozessen unterliegen) verpflichtet, alle Prüfmittel, welche die Produktqualität betreffen können, vor dem Einsatz oder in vorgegebenen Intervallen überprüfen zu lassen. Dies geschieht in der Regel durch kalibrieren und justieren mit zertifizierten Mitteln. Wegen der hohen Nachfrage nach kalibrierten Geräten und Vielzahl der zu kalibrierenden Geräte reichen die staatlichen Stellen nicht aus. Daher werden von der Industrie Kalibrierlaboratorien eingerichtet und auch getragen, die dem Deutschen Kalibrierdienst (DKD) angeschlossen sind und messtechnisch der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt (PTB) unterstehen.

Im Kalibrier-Laboratorium des Deutschen Kalibrierdienstes bei JUMO werden bereits seit 1992 Kalibrierungen für die Messgröße Temperatur durchgeführt. Diese Einrichtung ermöglicht Kalibrierungen als Dienstleistung für jedermann im zeitlich und preislich attraktiven Rahmen.

DKD-Kalibrierscheine sind für Widerstandsthermometer, Thermolemente, direktanzeigende Messketten, Datenlogger, Temperatur-Blockkalibratoren und Temperaturfühler mit eingebauten Messumformern im Messbereich zwischen

-80 ... +1100°C ausstellbar. Die Rückführung der Bezugsnormale ist hierbei das zentrale Kriterium. Deshalb werden alle DKD-Kalibrierscheine ohne weitere Angaben als Dokument der Rückführung anerkannt. Das DKD-Kalibrier-Laboratorium bei JUMO mit Kennung DKD-K-09501-04 ist akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17 025.

Den Prospekt erhalten Sie kostenlos unter Publikations-Nr. PR 90029 bzw. auch im Internet unter [www.jumo.net](http://www.jumo.net) zu bestellen.