

Aufbau und Anwendung von Widerstandsthermometern

Temperaturabhängiger Widerstand

Für elektrische Temperaturmessungen wird sehr häufig die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen ausgenutzt. Da der elektrische Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, spricht man z. B. bei Platin-Temperatur Sensoren von einem positiven Temperaturkoeffizienten oder **PTC (Positiv Temperature Coefficient)**. Um diesen Effekt bei Temperaturmessungen verwenden zu können, muss das Metall seinen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur auf reproduzierbare Weise ändern. Die charakteristischen Eigenschaften des Metalles dürfen sich während der Betriebsphase nicht verändern, da es hierdurch zu Messfehlern kommen würde. Der Temperaturkoeffizient sollte möglichst unabhängig von Temperatur, Druck und chemischen Einflüssen sein.

Normierte Platin-Temperatursensoren

Als Widerstandsmaterial hat sich in der industriellen Messtechnik Platin durchgesetzt. Zu seinen Vorteilen zählen die hohe chemische Beständigkeit, vergleichsweise leichte Bearbeitung (insbesondere bei der Drahtherstellung), die hochreine Darstellung und die gute Reproduzierbarkeit der elektrischen Eigenschaften. Für die Gewährleistung eines universellen Austausches werden diese Eigenschaften in der DIN EN 60 751 definiert. In dieser Norm sind der elektrische Widerstand und die zulässige Abweichung in Abhängigkeit von der Temperatur festgelegt. Zu den weiteren Definitionen zählen der Nennwert des Temperatursensors und der Temperaturbereich. Man unterscheidet bei der Berechnung zwischen den Temperaturbereichen -200 ... 0°C und 0 ... 850°C. Für den Bereich von -200 ... 0°C gilt ein Polynom dritten Grades:

$$R(t) = R_0(1 + A \times t + B \times t^2 + C \times (t - 100^\circ\text{C}) \times t^3)$$

Für den Bereich von 0...850°C gilt ein Polynom zweiten Grades...

$$R(t) = R_0(1 + A \times t + B \times t^2)$$

...mit den Koeffizienten:

$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

Die Größe R_0 wird als **Nennwert** bezeichnet und gibt den Widerstandswert bei 0°C an.

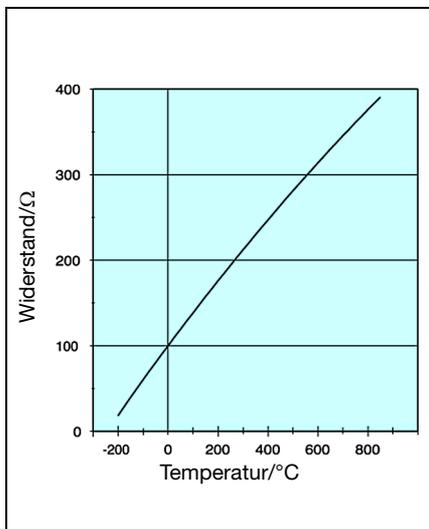


Abb. 1: Pt 100-Kennlinie

Nach DIN EN 60 751 beträgt der Nennwert 100,000Ω bei 0°C. Man spricht daher auch von einem Pt 100-Temperatursensor. Darüber hinaus werden auch Temperatursensoren mit Nennwerten von 500 und 1000Ω angeboten. Ihr Vorteil liegt in einer höheren Empfindlichkeit, d. h. einer stärkeren Änderung ihres Widerstandswertes in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Widerstandsänderungen im Temperaturbereich bis 100°C betragen ca.:
 0,4Ω/K bei Pt 100-Temperatursensoren
 2,0Ω/K bei Pt 500-Temperatursensoren
 4,0Ω/K bei Pt 1000-Temperatursensoren
 Als weitere Kenngröße definiert die DIN einen mittleren Temperaturkoeffizienten zwischen 0°C und 100°C. Er gibt die gemittelte Widerstandsänderung, bezogen auf den Nennwert bei 0°C an:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \times 100^\circ\text{C}} = 3,850 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

R_0 bzw. R_{100} sind die Widerstandswerte bei den Temperaturen 0°C oder 100°C.

Berechnung der Temperatur aus dem Widerstand

In der Anwendung als Thermometer wird aus dem Widerstand des Temperatursensors auf die zugehörige Temperatur geschlossen. Die genannten Formeln geben die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Temperatur wieder.

Für Temperaturen oberhalb 0°C lässt sich zur Ermittlung der Temperatur eine geschlossene Form der Darstellung aus der Kennlinie nach DIN EN 60 751 ableiten:

$$t = \frac{-R_0 \times A + [(R_0 \times A)^2 - 4 \times R_0 \times B \times (R_0 - R)]^{1/2}}{2 \times R_0 \times B}$$

R = gemessener Widerstand in Ω
 t = berechnete Temperatur in °C
 R_0, A, B = Parameter nach DIN EN 60 751

Grenzabweichungen

Bei den Grenzabweichungen unterscheidet die DIN zwei Toleranzklassen:

$$\text{Klasse A: } \Delta t = \pm (0,15 + 0,002 \times |t|)$$

$$\text{Klasse B: } \Delta t = \pm (0,30 + 0,005 \times |t|)$$

t = Temperatur in °C (ohne Vorzeichen)

Für die Berechnung der Grenzabweichung ΔR in Ω bei einer Temperatur von $t > 0^\circ\text{C}$ gilt:

$$\Delta R = R_0(A + 2 \times B \times t) \times \Delta t$$

Bei $t < 0^\circ\text{C}$ gilt:

$$\Delta R = R_0(A + 2 \times B \times t - 300^\circ\text{C} \times C \times t^2 + 4 \times C \times t^3) \times \Delta t$$

Die Toleranzklasse A gilt für Temperaturen von -200 ... +600°C.

Für die Toleranzklasse B gilt der gesamte Definitionsbereich von -200 ... +850°C.

Erweiterte Toleranzklassen

Immer wieder zeigt sich, dass für bestimmte Anwendungen die beiden in der Norm aufgeführten Toleranzklassen nicht ausreichen. Basierend auf den genormten Toleranzen hat **JUMO** eine weitere Einteilung der Toleranzklassen definiert, um den unterschiedlichsten Anforderungen auf dem Markt gerecht zu werden.

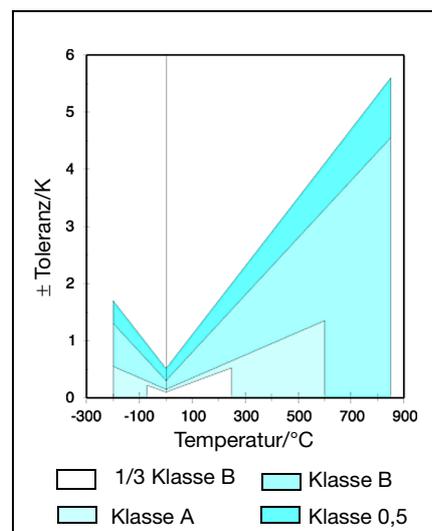


Abb. 2: Toleranzverlauf in Abhängigkeit von der Messtemperatur

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

Tab. 1: Toleranzklassen - Temperaturgültigkeitsbereich

Itl = Messtemperatur in °C ohne Vorzeichen

Aufbau von Widerstandsthermometern

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

Widerstandsthermometer mit Anschlusskopf

Ein derartiges **Widerstandsthermometer** ist modular aufgebaut: Es setzt sich zusammen aus dem Messeinsatz, dem Schutzrohr, dem Anschlusskopf und dem darin befindlichen Anschlusssockel sowie möglicherweise noch Flanschen oder Klemmverschraubungen. Als **Temperatursensor** wird nur der Teil des Widerstandsthermometers bezeichnet, auf den die Messgröße unmittelbar einwirkt.

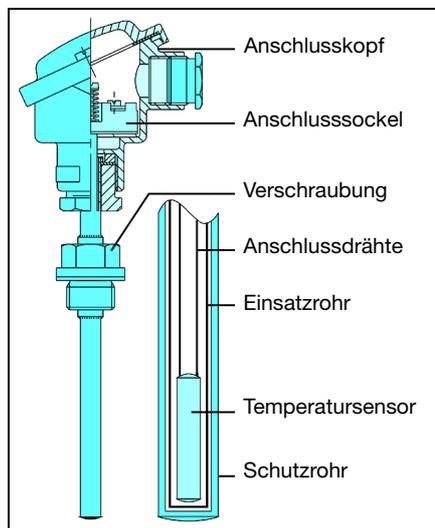


Abb. 3: Aufbau eines elektrischen Thermometers

Messeinsätze sind fertig konfektionierte Einheiten, bestehend aus Temperatursensor und Anschlusssockel, wobei der Temperatursensor in einem **Einsatzrohr** von 6 oder 8mm 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.

Die Bodenplatte des Einsatzrohres stößt 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 Bemaßung legt die Norm DIN 43 762 fest. Es werden auch Messeinsätze mit integriertem Zweidraht-Messumformer gefertigt.

Wird kein Messeinsatz verwendet, befindet sich der Temperatursensor, in Aluminiumoxid oder Wärmeleitmittel eingebettet, direkt im Schutzrohr. Nach seinem Einbau wird der Anschlusssockel im Anschlusskopf montiert und die Zuleitungen verlötet.

Ein späterer Austausch des Sensors ist dann nicht möglich, es muss in diesem Fall das komplette Widerstandsthermometer getauscht werden.

Bei Verwendung einer **Tauchhülse** kann ein Thermometer herausgenommen werden, ohne dass die Anlage drucklos gemacht oder entleert werden muss.

Es handelt sich hierbei um eine Art Schutzrohr, das fest am Messort montiert wird, in welches das Thermometer hineingeschoben und fixiert wird. Andere Ausführungsformen besitzen ein Innengewinde, so dass ein Thermometer eingeschraubt werden kann. Das Thermometer kann dabei nur aus einem Messeinsatz bestehen, aber auch ein eigenes Schutzrohr haben. Allerdings verschlechtert sich dann das Ansprechverhalten deutlich. Die Tauchhülse selbst wird am Messort festgeschweißt (was mit Schutzrohren wegen der geringen Wandstärke nicht möglich ist) oder besitzt ein Außengewinde, meist ein Rohrgewinde.

Da die Tauchhülse direkt mit dem Messmedium in Berührung kommt, werden an sie die gleichen Anforderungen hinsichtlich der chemischen und mechanischen Beständigkeit gestellt, wie sonst an das Schutzrohr.

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.

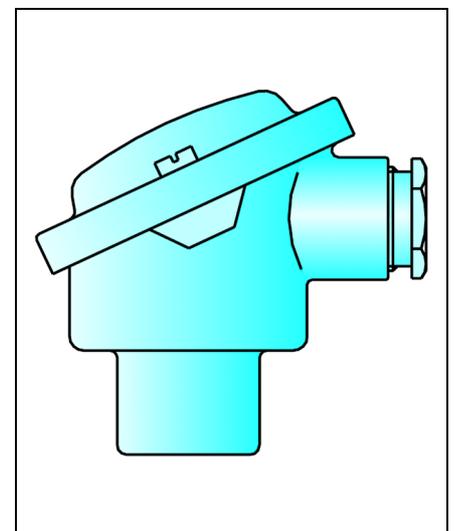


Abb. 4: Anschlusskopf nach DIN 43 729, Form B

Als Materialien werden Gusseisen, Aluminium oder Kunststoff verwendet.

Es existieren noch verschiedene andere Bauformen, die speziellen Anforderungen angepasst sind. Die Schutzart ist nicht genormt, üblich sind spritzwasserdichte Ausführungen (IP54).

Das Nennmaß des Durchmessers der Bohrung zur Aufnahme des Schutzrohres beträgt für die Anschlussköpfe:

Bei Form A: 22, 24 oder 32mm.

Bei Form B: 15mm oder Gewinde M 24 x 1,5.

Die größere Verbreitung hat der kleinere Anschlusskopf Form B, für den auch die Zweidraht-Messumformer ausgelegt sind.

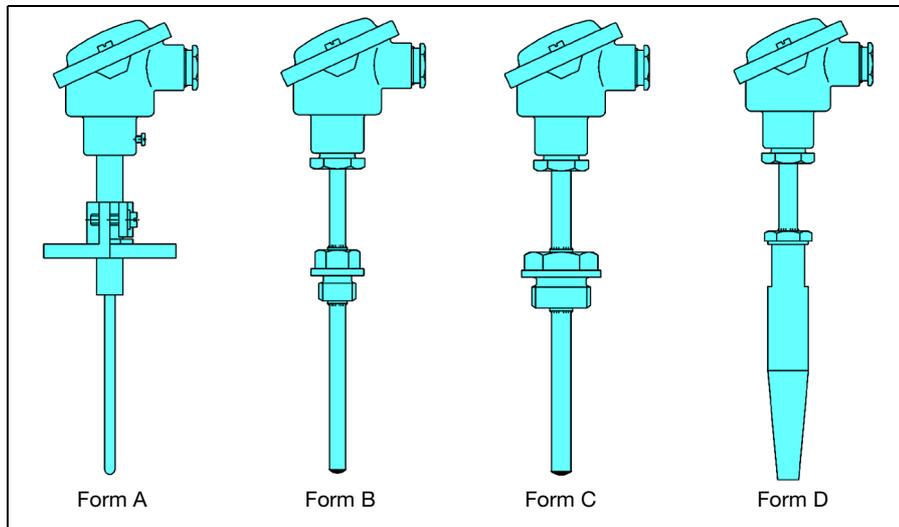


Abb. 5: Thermometer nach DIN 43 770

Für Widerstandsthermometer **und** Thermoelemente sind in den Normen 43 764 bis 43 769 verschiedene Schutzrohr-Bauformen für unterschiedliche Aufgabenstellungen festgelegt. Sie sind alle mit einem Messeinsatz und Anschlusskopf Form B ausgestattet. Auch die Durchmesser und Längen der Schutzrohre sind festgelegt. Die Form der Schutzrohre dieser Thermometer (mit Flansch, konisch usw.) wird mit Kennbuchstaben von A bis G gekennzeichnet, die ihrerseits in der DIN 43 763 festgeschrieben sind:

Form A: Emailliertes Rohr zur Befestigung mit verschiebbarem Anschlagflansch für Rauchgas-Messungen

Form B: Rohr mit angeschweißtem Gewinde G 1/2 A

Form C: Rohr mit angeschweißtem Gewinde G 1A

Form D: Druckfestes, dickwandiges Rohr zum Einschweißen

Form E: Am Ende verjüngtes Rohr für schnellansprechendes Verhalten zur Befestigung durch verschiebbaren Anschlagflansch

Form F: Rohr wie Form E, jedoch mit angeschweißtem Flansch

Form G: Rohr wie Form E, jedoch mit angeschweißtem Gewinde G 1A

Die genannte Norm 43 763 legt auch die Werkstoffe sowie ihre Beschreibung in speziellen Kürzeln fest. Die Kennzeichnung „Schutzrohr DIN 43 763-B1-H“ beispielsweise kennzeichnet ein Rohr nach Form B, also mit angeschweißtem Gewinde G 1/2 A mit einer Länge von 305mm (Kennziffer 1) aus Stahl St 35.8 (Kennbuchstabe H). Weiterhin werden durch die Norm die zulässige Druckbeaufschlagung durch Luft, Wasser oder Dampf so-

wie die maximale Anströmgeschwindigkeit angegeben. Dadurch können die beschriebenen Schutzrohre sehr gut schon in der konstruktiven Phase der Anlagenherstellung berücksichtigt werden. Ansonsten stehen vielfältige Sonderformen zur Verfügung, teilweise mit genormten Anschlussköpfen, teilweise in sehr speziellen, nicht genormten Bauformen mit Steckverbindungen oder fest montierter Anschlussleitung.

Widerstandsthermometer nach DIN EN 14 597

Widerstandsthermometer, die an Temperaturregler oder Temperaturbegrenzungseinrichtungen von Wärmeerzeugern angeschlossen werden, müssen die Anforderungen der Norm DIN EN 14 597 erfüllen. Es handelt sich um Widerstandsthermometer, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, die eine zusätzliche Bauartzulassung des TÜV aufweisen.

Die Widerstandsthermometer müssen mindestens eine Stunde mit Temperaturen von 15% über der oberen Grenztemperatur belastbar sein und in Abhängigkeit vom Medium bestimmte Ansprechzeiten einhalten (z. B. in Luft $t_{0,63} = 120$ s). Ferner müssen die Thermometer so konstruiert sein, 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!

Explosionssgeschützte Widerstandsthermometer

Überall dort, wo brennbare Stoffe gelagert, verarbeitet oder hergestellt werden, kann sich in Verbindung mit Luft eine explosive Atmosphäre bilden, die eine Gefahr für die Umwelt

darstellt. Die notwendigen Voraussetzungen und Bestimmungen, die ein elektrisches Betriebsmittel erfüllen muss, damit es in einem explosionsgefährdetem Bereich eingesetzt werden darf, sind in den Europeanormen EN 50 014 ... EN 50 020 zusammengefasst. Ein nach diesen Normen zugelassenes Gerät darf somit im gesamten europäischen Raum eingesetzt werden.

Druckfeste Kapselung EEx „d“

Messwertgeber in druckfester Kapselung sind so ausgelegt, dass alle Teile, die eine explosive Atmosphäre zünden können, sicher in der Schutzarmatur bzw. dem Anschlusskopf eingeschlossen sind. Eine im Innern entstehende Explosion kann sich somit nicht nach außen fortpflanzen. Erreicht wird dies durch enge Toleranzen, spezielle Leitungszuführungen und einen besonders stabilen Aufbau des Anschlusskopfes. Vorteile dieser Ausführung:

- Keine eigensichere Spannungsversorgung notwendig
- Anschluss in Zwei-, Drei- oder Vierleiter-technik möglich
- Auch mit Zweidraht-Messumformer lieferbar



Abb. 6: Widerstandsthermometer in druckfester Kapselung EEx „d“

Eigensicherheit EEx „i“

Anders als bei der Zündschutzart „d“, die sich generell auf Geräte bezieht, wird bei der Zündschutzart „i“ stets der ganze Stromkreis betrachtet.

Der eigensichere Zweidraht-Messumformer mit einem Ausgangssignal von 4 ... 20mA befindet sich bei dieser Widerstandsthermometer-Bauform direkt im vergrößerten Anschlusskopf des Thermometers und wird in einen eigensicheren Stromkreis eingebunden.

Aus dieser Montageart ergeben sich entscheidende Vorteile:

- Störsicheres Ausgangssignal bereits ab Thermometer
- Geringe Installationskosten
- Kein Leitungsabgleich notwendig
- Übertragung des Messsignals über weite Strecken
- Montage und Reparatur während des Betriebes



Abb. 7: Widerstandsthermometer mit Eigensicherheit EEx „i“

Widerstandsthermometer mit Zweidraht-Messumformer

Widerstandsthermometer mit Messumformer für Temperaturmessungen in flüssigen und gasförmigen Medien werden eingesetzt, wenn Messsignale über größere Entfernungen störsicher übertragen werden sollen. Der Messumformer wandelt das Sensorsignal in ein normiertes, temperaturlineares Stromsignal von 4 ... 20mA um.

Die Spannungsversorgung des Messumformers geschieht ebenfalls über die Anschlussleitungen, man nutzt hierbei den Ruhestrom von 4mA. Wegen des angehobenen Nullpunkts wird auch von „life zero“ gesprochen. Der Zweidraht-Messumformer verstärkt das Signal und verringert dessen Störempfindlichkeit bedeutend. Der in Epoxidharz vergossene Zweidraht-Messumformer befindet sich bei diesen Bauformen direkt im Anschlusskopf des Widerstandsthermometers.

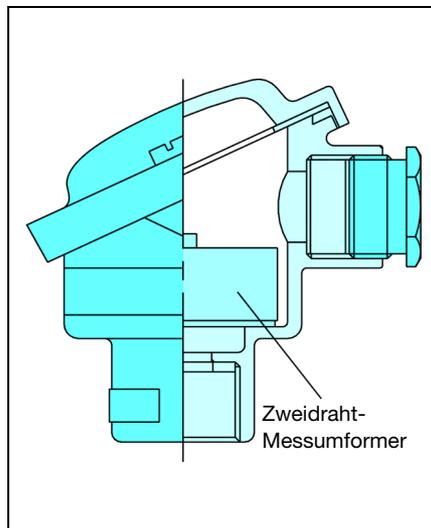


Abb. 8: Anschlusskopf mit Zweidraht-Messumformer

Der Messumformer ist für Betriebstemperaturen bis 90°C geeignet. Neben dem Standardanschlusskopf Form B sind auch die Bauformen BUZ, BBK oder BUZH lieferbar.

Widerstandsthermometer mit Anschlussleitung

Bei Widerstandsthermometern mit Anschlussleitung wird auf einen Messeinsatz und den Anschlusskopf verzichtet. Der Temperatursensor ist mit der Anschlussleitung direkt verbunden und in das Schutzrohr eingesetzt. Zur Zugentlastung wird das Schutzrohr am Ende z. T. mehrfach eingerollt oder gedrückt (Schutzart IP65). Der Innenraum zwischen Schutzrohr und Temperatursensor wird üblicherweise mit einem wärmeleitenden Material gefüllt, um den thermischen Kontakt zum Messmedium zu verbessern. Die maximale Messtemperatur wird in erster Linie durch die Temperaturbeständigkeit des Mantel- und Isoliermaterials der Anschlussleitung bestimmt. In der Tabelle sind exemplarisch einige Materialien und ihre obere Temperatur genannt.

Material	t _{max} /°C
PVC	80
PVC 105	105
Silikon	180
PTFE	260

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

- Durchmesser: 2 ... 8mm
- Schutzrohrlänge: 35 ... 150mm
- Schutzrohrmaterial: Edelstahl, Messing, beschichteter Stahl
- Anschluss technik: 2-, 3-, 4-Leiter
- Mechanischer Anschluss: Flansch mit loser Verschraubung, feste Verschraubung und Klemmverschraubung

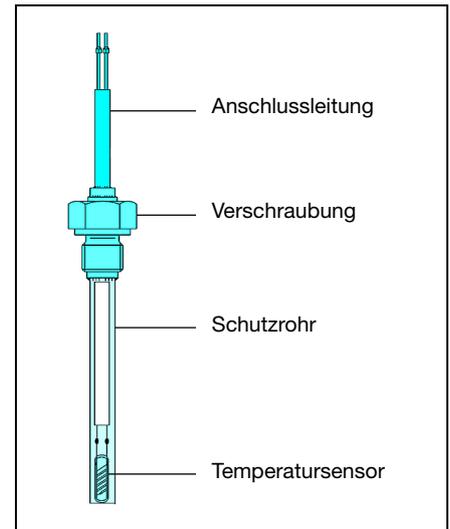


Abb. 9: Aufbau eines Widerstandsthermometers mit Anschlussleitung

Eine weitere Bauform sind Widerstandsthermometer für Sterilisatoren.

An diese Temperaturfühler werden in Bezug auf Zuverlässigkeit hohe Anforderungen gestellt, da die Anlagen in der Regel im 24-Stunden-Betrieb arbeiten.

Der Übergang vom Schutzrohr zur Anschlussleitung ist wasserdampfdicht und hält Drücken von 0,1 ... 4 bar absolut bei Temperaturen bis 150°C stand.

Die Grundauführungen sind mit hochtemperaturfesten PTFE-Anschlussleitungen und glatten Schutzrohren ausgestattet. In diese Temperaturfühler sind bis zu drei Pt 100-Temperatursensoren nach DIN EN 60 751 eingebaut (siehe Typenblatt 90.2830).

Mantel-Widerstandsthermometer

Mantel-Widerstandsthermometer basieren auf einer mineralisierten Mantelleitung. In der dünnwandigen Mantelleitung aus Edelstahl sind die Innenleitungsdrähte aus Kupfer in gepresstem feuerfestem Magnesium-oxid eingebettet. Der Temperatursensor in Zwei-, Drei- oder Vierleitertechnik ist mit den Innenleitungsdrähten verbunden und im Schutzrohr aus Edelstahl eingebaut. Schutzrohr und Mantelleitung sind miteinander verschweißt. Die Durchmesser beginnen schon bei 1,9mm.

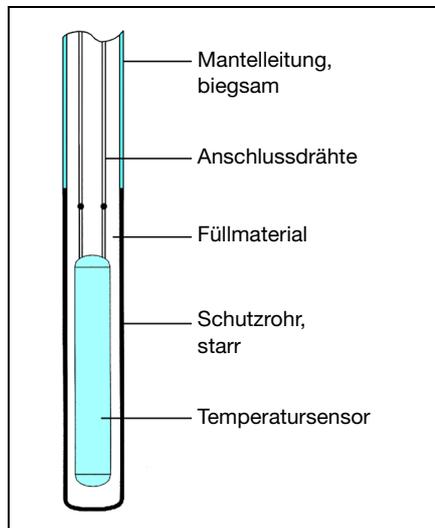


Abb. 10: Aufbau eines Mantel-Widerstandsthermometers

Der sehr gute Wärmeübergang zwischen **Schutzrohr** und Temperatursensor ermöglicht kurze Ansprechzeiten ($t_{0,5}$ ab 1,2s) und hohe Messgenauigkeiten. Der erschütterungsfeste Aufbau garantiert eine lange Lebensdauer. Durch die biegsame **Mantelleitung**, kleinster Biegeradius 5 x äußerer Durchmesser (1,9/3/6mm), sind Temperaturmessungen an schwer zugänglichen Stellen möglich. Mantel-Widerstandsthermometer werden auf Grund Ihrer Eigenschaften in Chemieanlagen, Kraftwerken, Rohrleitungen, im Motorenbau, auf Prüfständen sowie an allen Messorten, wo Biegsamkeit und problemlose Montage erwünscht sind, eingesetzt.

Wärmezähler-Widerstandsthermometer

Wärmezähler-Widerstandsthermometer haben eine innerstaatliche Bauartzulassung der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt (PTB). Die verschiedenen Bauformen entsprechen den Forderungen des Europäischen Normenentwurfes EN 14 34 und sind von der Arbeitsgemeinschaft für Fernwärme (AGFW) empfohlen. **Kopfthermometer** sind für die direkte Temperaturmessung ebenso wie für den Einsatz in geeigneten Tauchhülsen mit Passung lieferbar. Die Einbaulängen variieren von 85 ... 400mm. Eine Variante ist das **Widerstandsthermometer mit Anschlussleitung** als Einschraub- oder Einsteck-Ausführung. Einschraub-Widerstandsthermometer mit Gewinde M 10x1 messen direkt im Medium mit den Vorteilen: schnelle Ansprechzeiten und geringe Wärmeableitfehler. Bei der Verwendung von Einsteck-Widerstandsthermometern in Schutzhülsen mit Passtoleranz entfällt die Entleerung des Systems bei Tausch nach Ablauf der Beglaubigungsfrist. Der ideale Einbauort für Einschraub-Wider-

standsthermometer mit Anschlussleitung sind Kugelventile für Rohrleitungen mit Durchmessern 1/2", 3/4" und 1". Durch die besondere Konstruktion des Kugelventils müssen die Rohrsysteme bei der Montage/Wechsel des Temperaturfühlers nicht entleert werden. Durch die kleinen Rohrdurchmesser ergeben sich Einbaulängen von maximal 30mm. Hierdurch entsteht ein Wärmeableitfehler, der das Messergebnis beeinflusst. Durch Optimierung des Innenaufbaus ist der vernachlässigbare Wärmeableitfehler bei den **JUMO-Widerstandsthermometern** kleiner 0,03K und liegt somit noch unter der PTB-Anforderung (0,1K).

Einstich-Widerstandsthermometer

Die Grundkonstruktion basiert auf einem Widerstandsthermometer mit Anschlussleitung, das mit einem Handgriff versehen ist. Besondere Merkmale dieser Thermometerausführungen sind: temperaturwechselbeständig, wasser(dampf)dicht, stoß- und vibrationsfest. Der Temperatursensor, in Zweier- oder Dreileiterschaltung, ist in das Schutzrohr eingesetzt und vergossen. Das 100mm lange Schutzrohr besteht aus Edelstahl und besitzt eine zentrische oder schräge Messspitze. Die Handgriffe aus PTFE, PPS-Kunststoff oder HTV-Silikon sind beständig gegen eine Vielzahl aggressiver Medien. Die Anschlussleitung ist für eine gute Hitzebeständigkeit mit PTFE isoliert.

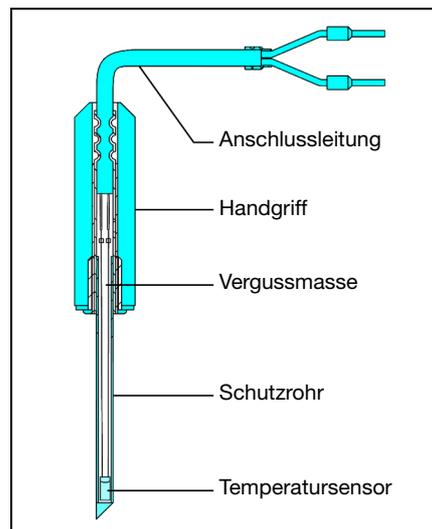


Abb. 11: Aufbau eines Einstich-Widerstandsthermometers

Hervorzuheben ist der Innenaufbau mit Abdichtung, der eine hohe Temperatur-Wärmebeständigkeit und (Wasser-) Dampf-dichtheit gewährleistet.

Anlege-Widerstandsthermometer

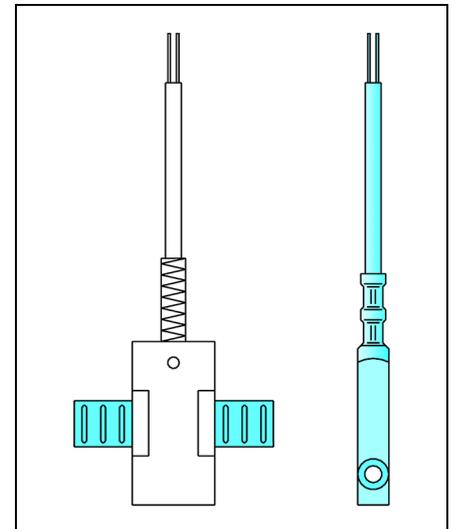


Abb. 12: Anlege-Widerstandsthermometer

Anlege-Widerstandsthermometer werden bevorzugt für Temperaturmessungen an geschlossenen Rohrsystemen bzw. anderen runden oder ebenen Oberflächen eingesetzt. Durch die einfache Montage mit Spannbändern oder Schlauchbindern entfällt die mechanische Bearbeitung am Messort. Andere Ausführungen sind mit einer Bohrung versehen und für Schraubbefestigungen an beliebigen Oberflächen geeignet. Die indirekte Temperaturmessung verhindert Störungen des Mediums in Bezug auf Strömung. Außerdem haben auch Druck und chemische Einflüsse keine Auswirkung auf die Lebensdauer des Widerstandsthermometers. Das Messobjekt wird durch die geringe thermische Masse wenig beeinflusst. Durch den Einsatz von Wärmeleitpaste wird der Wärmeübergang verbessert. Große Temperaturdifferenzen zwischen Messmedium und der Umgebung gehen direkt in die Messung ein. In solchen Fällen empfiehlt sich eine thermische Isolation des Thermometers.

Raum- und Außen-Widerstandsthermometer

Für die Temperaturmessung in Räumen sowie im Freien stehen unterschiedliche Bauformen zur Auswahl. Bei der **Wohn-raumausführung** ist der Temperatursensor in einem form-schönen Kunststoffgehäuse mit Schutzart IP20 untergebracht. Beim **Außenthermometer für industrielle Anwendungen** mit Schutzart IP65 ist der Temperatursensor außerhalb des Gehäuses montiert und von einer Schutzkappe umschlossen.

Eine weitere Ausführung ist mit einem Schutzrohr aus Edelstahl versehen, in das der Temperatursensor eingesetzt ist. Der elektrische Anschluss erfolgt über eine Kabelverschraubung Pg 9. Der Messbereich beträgt -30 ... +80°C. Verschiedene Ausführungen können mit einem Zwei-draht-Messumformer und einem Ausgangssignal mit 4 ... 20mA ausgerüstet werden.

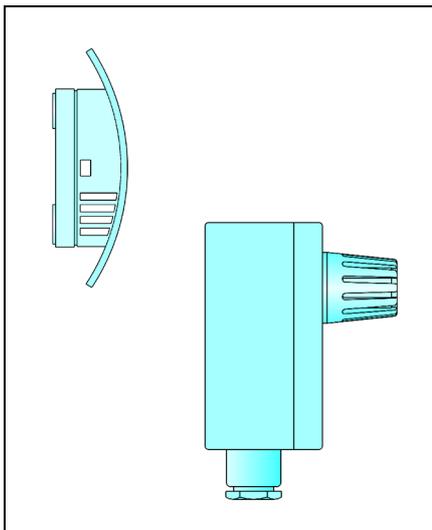


Abb. 13: Raum- und Außen-Widerstandsthermometer

Präzisions-Widerstandsthermometer

Um die höchste Stabilität bei Widerstandsthermometern erreichen zu können, werden die Drahtwendel üblicherweise im Schutzrohr frei aufgehängt.

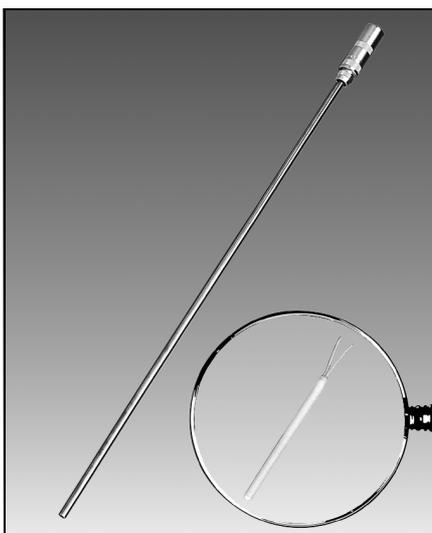


Abb. 14: Kalibrierfähiges Thermometer

Damit wird eine mechanische Belastung unter Temperatur durch verschiedene Wärmeausdehnungskoeffizienten unterbunden. Erschütterungen führen aber sehr schnell zum Bruch des Wendels. Zwar weisen diese Ther-

momometer eine sehr hohe Langzeitstabilität im Bereich unter 1mK auf, die geringe mechanische Stabilität schließt sie jedoch für die industrielle Anwendung aus. Hierfür wird bei **JUMO** ein Temperatursensor verwendet, dessen Platinwendel in einer Keramikhülse fixiert ist. Die Zuleitungen zum Anschlussstecker sind in Vierleitertechnik kontaktiert. Gegen mechanische Einwirkungen ist der Sensor durch ein Edelstahlrohr geschützt. Der Temperaturbereich erstreckt sich je nach Ausführung von -200 ... +450°C. Die Messgenauigkeit beträgt bis ±25mK.

Messtechnik

Anschluss von Widerstandsthermometern

Beim Widerstandsthermometer ändert sich der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Um das Ausgangssignal zu erfassen, wird der von einem konstanten Messstrom hervorgerufene Spannungsabfall gemessen. Für diesen Spannungsabfall gilt nach dem Ohmschen Gesetz:

$$U = R \times I$$

Damit sich der Sensor nicht erwärmt, sollte ein möglichst kleiner Messstrom gewählt werden. Man kann davon ausgehen, dass ein Messstrom von 1mA keine nennenswerte Beeinträchtigung hervorruft. Dieser Strom bewirkt bei einem Pt 100 bei 0°C einen Spannungsabfall von 0,1V. Diese Messspannung muss nun durch die Anschlussleitungen möglichst unverfälscht an den Ort der Anzeige oder Auswertung übertragen werden. Es werden dabei drei Anschlusstechniken unterschieden:

Zweileitertechnik

Auswerteelektronik und Thermometer werden mit einer zweifadigen Leitung verbunden. Wie jeder andere elektrische Leiter besitzt auch diese einen Widerstand, der dem Temperatursensor in Reihe geschaltet ist. Damit addieren sich die beiden Widerstände und es kommt zu einer systematisch höheren Temperaturanzeige. Bei größeren Entfernungen kann der Leitungswiderstand einige Ohm betragen und eine beachtliche Verfälschung des Messwertes verursachen. Zur Vermeidung dieses Fehlers, kompensiert man den Leitungswiderstand auf elektrischem Wege: Die Elektronik des Gerätes ist dabei so ausgelegt, dass z. B. von einem Leitungswiderstand von 10Ω ausgegangen wird. Beim Anschluss des Widerstandsthermometers wird ein Abgleichwiderstand in eine der Messleitungen geschaltet und der Sensor zunächst durch einen 100,00Ω-Widerstand ersetzt. Nun wird der Abgleichwiderstand so lange verändert, bis am Gerät 0°C angezeigt werden. Wegen dieser vergleichsweise aufwendigen Abgleicharbeiten und des nicht erfassten Temperatureinflusses auf die Messleitung ist die

Zweileitertechnik stark rückläufig.

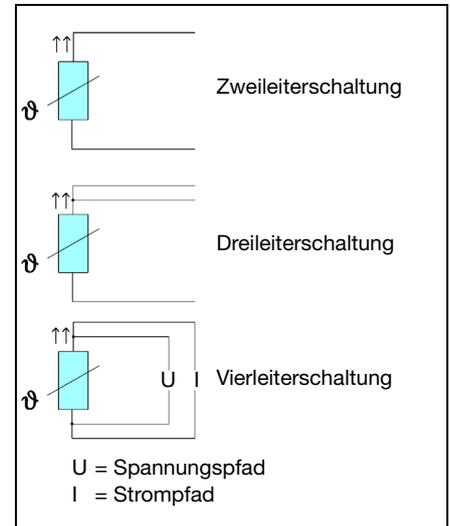


Abb. 15: Anschluss von Widerstandsthermometern

Dreileitertechnik

Die Einflüsse der Leitungswiderstände und deren temperaturabhängige Schwankungen werden mit der Dreileiterschaltung minimiert. Hierbei wird eine zusätzliche Leitung zu einem Kontakt des Widerstandsthermometers geführt. Es bilden sich somit zwei Messkreise, von denen einer als Referenz genutzt wird. Durch die Dreileiterschaltung lässt sich der Leitungswiderstand sowohl in seinem Betrag als auch in seiner Temperaturabhängigkeit kompensieren. Voraussetzung sind bei allen drei Adern identische Eigenschaften und gleiche Temperaturen. Da dies in den meisten Fällen mit genügender Genauigkeit zutrifft, ist die Dreileitertechnik heute am meisten verbreitet. Ein Leitungsabgleich ist nicht erforderlich.

Vierleitertechnik

Eine optimale Anschlussmöglichkeit für Widerstandsthermometer bietet die Vierleitertechnik. Das Messergebnis wird weder von den Leitungswiderständen noch von ihren temperaturabhängigen Schwankungen beeinträchtigt. Ein Leitungsabgleich ist nicht erforderlich. Über die Zuleitungen wird das Thermometer mit dem Messstrom I gespeist. Der Spannungsabfall U am Temperatursensor wird über die Messleitungen abgegriffen.

Liegt der Eingangswiderstand der nachgeschalteten Elektronik um ein Vielfaches höher als der Leitungswiderstand, ist dieser zu vernachlässigen. Der so ermittelte Spannungsabfall ist dann unabhängig von den Eigenschaften der Zuleitungen. Sowohl bei der Drei- als auch bei der Vierleitertechnik muss beachtet werden, dass nicht immer die Schaltung bis zum Messelement



geführt ist. Häufig ist die Verbindung des Sensors zum Anschlusskopf in der Armatur, die sogenannte Innenleitung, in Zweileitertechnik ausgeführt. Dadurch ergeben sich - wenn auch in wesentlich geringerem Ausmaß - für diese Verbindung die bei der Zweileitertechnik geschilderten Probleme. Der Gesamtwiderstand, der sich aus der Summe der Widerstandswerte von Innenleitung und Temperatursensor ergibt, wird nach DIN 16 160 als **Thermometerwiderstand** bezeichnet.

Mangelnder Isolationswiderstand

Bedingt durch einen endlichen Widerstand zwischen den Zuleitungen sowie im Isolationsmaterial, in das der Sensor eingebettet ist, kann bei schlechtem Isolationswiderstand ein weiterer Messfehler auftreten, der eine zu niedrige Temperaturanzeige bewirkt. Bezogen auf ein Pt 100-Thermometer ergibt sich bei einem Isolationswiderstand von 100kΩ ein Anzeigefehler von 0,25K bzw. bei 25kΩ von 1K. Wegen der Temperaturabhängigkeit der Isolationswiderstände kann der durch sie verursachte Fehler mit den Messbedingungen variieren. Speziell bei keramischen Isolationsmaterialien sinkt der Widerstand mit zunehmender Temperatur.

Bedingt durch die relativ niedrige Maximaltemperatur von ca. 600°C, fällt der Effekt bei Platin-Temperaturensoren jedoch kaum ins Gewicht. Eine erheblich größere Wirkung hat in die Isolation eindringende Feuchtigkeit, die deutliche Messfehler zur Folge haben kann. Die Sensoren sind daher im allgemeinen durch Glasurüberzüge oder andere Versiegelungen hermetisch abgedichtet. Der Messeinsatz selbst ist ebenfalls abgedichtet, um ein Eindringen von Feuchtigkeit in das Sondenrohr zu vermeiden. Messeinsätze können unbedenklich ausgetauscht werden, da sie eine geschlossene Einheit bilden. Bei Reparaturen von Widerstandsthermometern ohne Messeinsatz dagegen, muss unbedingt auf eine zuverlässige Abdichtung geachtet werden.

Eigenerwärmung

Damit das Ausgangssignal eines Widerstandsthermometers gemessen werden kann, muss der Sensor von einem Strom durchflossen werden. Dieser Messstrom erzeugt eine Verlustleistung und somit Wärme am Sensor. Es kommt zu einer höheren Temperaturanzeige. Die Eigenerwärmung hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem davon, in welchem Maße die erzeugte Verlustleistung vom Messmedium abgeführt werden kann. Wegen des Zusammenhanges für die elektrische Leistung als $P = R \times I^2$ ist der Effekt auch vom Grundwert des Temperatursensors abhängig: Bei gleichem Messstrom wird ein Pt 1000-Temperatursensor zehnmal stärker erwärmt als ein Pt 100. Außerdem bestimmen

Konstruktionsmerkmale (Größe des Thermometers) sowie die Wärmeleitung und -kapazität den Messfehler. Die Wärmekapazität und die Strömungsgeschwindigkeit des Messmediums beeinflussen den Effekt ebenfalls in starkem Maße.

Die Thermometerhersteller geben häufig einen Selbsterwärmungskoeffizienten an, der ein Maß für die Temperaturerhöhung durch eine definierte Verlustleistung im Sensor ist. Derartige kalometrische Messungen werden unter festgelegten Bedingungen durchgeführt (in Wasser mit $0,5m \times s^{-1}$ bzw. Luft mit $2m \times s^{-1}$), die Angaben haben jedoch eher theoretischen Charakter und dienen als Vergleichswerte verschiedener Konstruktionsvarianten.

In den meisten Fällen wird der Messstrom vom Gerätehersteller auf 1mA festgelegt, da sich dieser Wert als praxistauglich erwiesen hat und keine nennenswerte Eigenerwärmung erzeugt.

Befindet sich beispielsweise in einem völlig wärmeisolierten, abgeschlossenen Behälter mit $10cm^3$ Luft ein Pt 100-Temperatursensor bei dem genannten Messstrom von einem Milliampere, so hätte dieser nach einer Stunde die Luft um 39K erwärmt. Bei strömenden Gasen oder Flüssigkeiten ist der Effekt durch die um ein Vielfaches größere abgeführte Wärmemenge weniger deutlich.

Je nach vorherrschenden Messbedingungen muss die Eigenerwärmung vor Ort gemessen werden. Hierzu wird bei verschiedenen Stromstärken die Temperatur aufgenommen. Der Eigenerwärmungskoeffizient E ergibt sich wie folgt:

$$E = \Delta t / (R \times I^2)$$

Mit Δt = (angezeigte Temperatur) - (Temperatur des Mediums), R = Widerstand des Thermometers, I = Messstrom

Mit Hilfe des Erwärmungskoeffizienten lässt sich wiederum der maximale Messstrom bestimmen, wenn ein Messfehler Δt zugelassen wird.

$$I = (\Delta t / E \times R)^{1/2}$$

Parasitäre Thermospannungen

Auch bei der Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern tritt der Effekt der Thermospannungen auf, hier allerdings als recht unerwünschter Nebeneffekt. Thermospannungen können an der Verbindungsstelle zweier unterschiedlicher Metalle entstehen. Derartige Metallübergänge treten beim Widerstandsthermometer an den Zuleitungen auf: So bestehen die Anschlussdrähte der Sensoren vielfach aus Silber, die - z. B. als Innenleitung - mit Kupfer oder Nickel verlängert werden.

Normalerweise kann davon ausgegangen werden, dass sich beide Kontaktstellen auf gleicher Temperatur befinden, und sich die entstehenden Thermospannungen somit aufheben. Tatsächlich können sich aber auf Grund unterschiedlicher Wärmeableitung nach außen unterschiedliche Temperaturen einstellen. Die so entstehende Thermospannung wird von der Auswertelektronik als Spannungsabfall interpretiert und es kommt zu einem falschen Messwert.

Je nach dem Vorzeichen der entstehenden Thermospannung ist ein zu hoher oder zu niedriger Wert möglich.

Der Betrag des hierdurch verursachten Fehlers ist stark von den Eigenschaften der Auswertelektronik abhängig, namentlich davon, wie eine Spannung als Temperatur ausgewertet wird.

Eine einfache Methode zur Diagnostizierung des Messfehlers ist die Durchführung zweier Messungen mit umgekehrter Richtung des Messstromes. Je größer dabei die Differenz beider Messwerte ist, desto höher ist die erzeugte Thermospannung.

Übergangsfunktion

Wegen der stets vorhandenen thermischen Widerstände im Fühler wird dieser nie sofort, sondern immer verzögert reagieren. Die hierdurch verursachte Messabweichung infolge des zeitlichen Nacheilens des Messwertes bzw. Ausgangssignales gegenüber einem sprunghaft geänderten Wert der Messgröße wird als **Nachlaufabweichung** bezeichnet.

Vereinfacht kann man sich das Thermometer aus Widerständen und Energiespeichern zusammengesetzt vorstellen. Die Materialien besitzen verschiedene Wärmeleitfähigkeiten und bilden die Widerstände. Die Materialmassen und ihre zugehörigen Wärmekapazitäten stellen die Energiespeicher dar. Oftmals haben die Komponenten des Thermometers beide Eigenschaften gleichzeitig. Wie schnell das Thermometer anspricht, hängt in erster Linie vom Verhältnis des thermischen Widerstandes zum Wärmespeichervermögen des Thermometers ab. Je größer dieser Wärmewiderstand ist, desto langsamer erwärmt es sich. Für kurze Ansprechzeiten sollten daher immer möglichst kleine Sensoren und gut wärmeleitende, dünne Materialien verwendet werden. Besonders ungünstig wirken sich Luftspalten zwischen dem Messeinsatz und dem Schutzrohr aus, da alle Gase sehr schlechte Wärmeleiter sind. Hier schaffen Wärmeleitpasten bzw. Metalloxid Abhilfe, in die der Messeinsatz eingebettet wird. Thermoelemente haben wegen der geringen thermischen Masse grundsätzlich geringere Ansprechzeiten als Widerstandsthermometer. Dies trifft insbesondere für dünne Mantelthermoelemente zu. In den meisten Fällen wird

der Unterschied jedoch durch die vergleichsweise große Wärmekapazität der Schutzarmatur völlig überdeckt. Allgemein nimmt die Ansprechzeit mit wachsendem Schutzrohrdurchmesser zu. Es sollten daher möglichst kleine Schutzrohrdurchmesser und dünnwandige Armaturen verwendet werden, sofern die mechanischen Gegebenheiten dies zulassen.

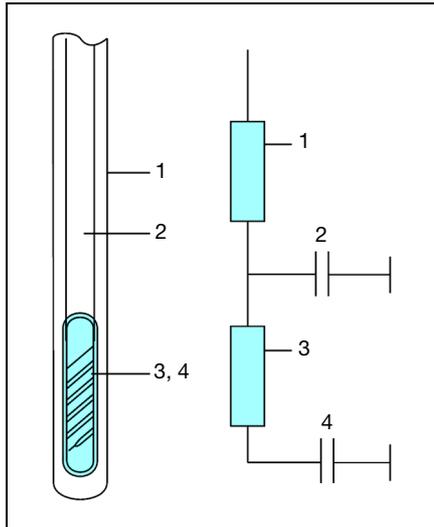


Abb. 16: Thermische Widerstände in einem Thermometer

Auch das Wärmeleitvermögen des Schutzrohrmaterials ist von großer Bedeutung. Kupfer und Eisen sind vergleichsweise gut wärmeleitend, Edelstahl und Keramik hingegen nicht.

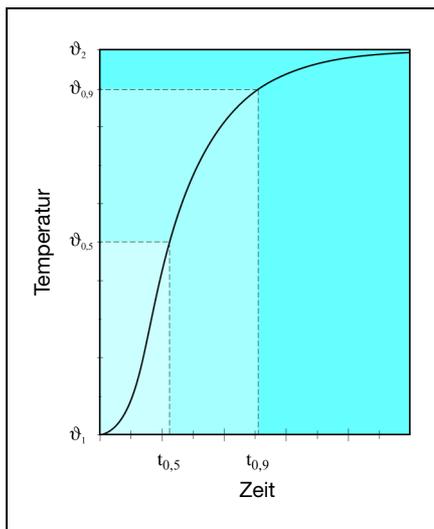


Abb. 17: Die Übergangsfunktion

Die **Übergangsfunktion**, d. h. der Verlauf des Messwertes bei sprunghaft veränderter Temperatur am Fühler, gibt hierüber Auskunft. Zur Ermittlung der Übergangsfunktion wird das Thermometer von warmem Wasser oder

Luft angeströmt, wozu spezielle Versuchsaufbauten, beispielsweise in der DIN EN 60 751, vorgeschrieben sind. Zwei Zeiten (Einstell-dauern) charakterisieren die Übergangsfunktion:

- **Halbwertzeit $t_{0,5}$**
 Sie gibt an, in welchem Zeitraum der Messwert 50% des Endwertes erreicht, und die
- **Neunzehntelzeit $t_{0,9}$**
 in der 90% des Endwertes erreicht sind.

Eine Zeit τ die zum Erreichen von 63,2% des Endwertes erforderlich ist, wird wegen der möglichen Verwechslung mit der Zeitkonstanten einer e-Funktion nicht angegeben. Die Wärmeübergangsfunktion praktisch aller Thermometer weicht deutlich von einer solchen Funktion ab.

Fehler bei Widerstandsthermometern

Einfluss der Messleitung

Bei Messungen mit Widerstandsthermometern können konstruktiv oder messtechnisch bedingte Einflüsse das Messergebnis verfälschen. Im folgenden werden die wichtigsten Effekte, die zu Fehlmessungen führen können, erläutert:

Wie schon an anderer Stelle beschrieben, geht der Leitungswiderstand in die Messung wie ein zum Sensor in Reihe geschalteter Widerstand ein. Gerade bei größeren Anlagen und damit verbundenen längeren Anschlusswegen kann der Leitungswiderstand in der Größenordnung des Messwiderstandes liegen. Daher ist die Kompensation des Leitungswiderstandes zwingend erforderlich, die meist in einer Nullpunktverschiebung des angeschlossenen Gerätes besteht. Eine derartige Kompensation berücksichtigt jedoch nicht temperaturabhängige Änderung des Leitungswiderstandes. Unterliegt die Anschlussleitung wechselnden Temperaturen, führt dies zu mehr oder weniger deutlichen Fehlmessungen. Dieser Effekt tritt jedoch erst bei größeren Leitungswiderständen zutage, das heißt bei großen Leitungslängen mit kleinen Drahtquerschnitten.

Wärmeableitfehler

Ein Thermometer wird selten im Bereich der Umgebungstemperatur eingesetzt. Liegt die Messtemperatur ober- oder unterhalb der Umgebungstemperatur, entsteht am Thermometer ein Temperaturgradient zwischen Messort und Umgebung. Hieraus resultiert eine Verfälschung der Temperaturanzeige: Die Wärme fließt über das Schutzrohr oder durch den Innenaufbau des Thermometers vom wärmeren zum kühleren Ort. Weiterhin ist der Sensor mit der Zuleitung verbunden, durch die eine direkte metallische Verbindung zwischen Sensor und Umgebung gebildet wird,

die als Wärmebrücke ebenfalls eine Verfälschung zur Folge hat. Gute elektrische Leiter haben stets auch einen geringen thermischen Widerstand; der Forderung nach einem geringen Widerstand der Zuleitungen steht demnach immer die Tatsache entgegen, dass sie einen großen Wärmeableitfehler bewirken. Weiterhin bestimmt die Konstruktion des Thermometers den Wärmeableitfehler. Der Sensor muss eine gute thermische Verbindung zum Schutzrohr bei gleichzeitiger thermischer Entkopplung von den Anschlussleitungen haben. Die Einbaulänge des Thermometers darf nicht zu gering gewählt werden, da ansonsten zu viel Wärme abgeführt werden kann. Die **Eintauchtiefe** (die Länge des Thermometerteiles, die der Messgröße ausgesetzt ist) hängt auch von der Art des Messmediums und der von ihr pro Zeiteinheit übertragenen Wärmemenge ab. Eine schnellströmende Flüssigkeit beispielsweise überträgt mehr Wärme und kann daher die Wärmeableitung des Thermometers besser kompensieren als ruhende Luft.

Bei Messungen in Flüssigkeiten genügen allgemein 50 Prozent der Einbaulänge gegenüber Gas.

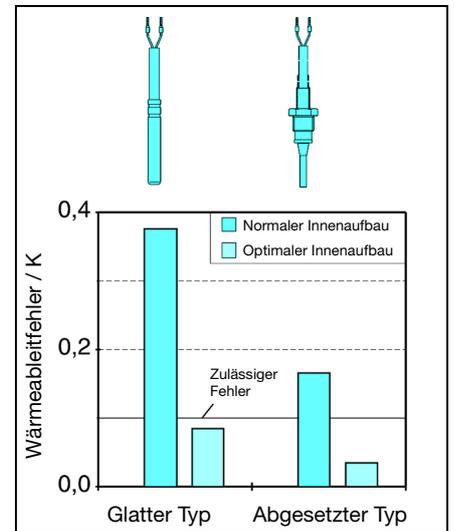


Abb. 18: Optimierung des Wärmeableitfehlers durch Schutzrohrgeometrie und Innenaufbau

In einem Beispiel sollen die Konstruktionseinflüsse auf den Wärmeableitfehler aufgezeigt werden: Im Bereich der Wärme-messungen dürfen die Thermometer unter folgenden Bedingungen einen Ableitfehler von nicht mehr als 0,1K aufweisen:

- Messtemperatur: 80°C,
- Umgebungstemperatur: 20°C,
- Messmedium: Wasser mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 ... 0,2ms⁻¹

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



Gerade bei kurzen Temperaturfühlern mit Einbaulängen unter 50mm wirft die Einhaltung der o. g. Messgenauigkeit Probleme auf, die konstruktiv gelöst werden müssen. Die Anschlussleitung ist bis an den Sensor geführt und besteht aus Kupfer. Die thermische Adaption des Sensors an das Schutzrohr wird allgemein mit Wärmeleitpaste ausgeführt.

Ohne besondere Maßnahmen zur thermischen Entkopplung tritt ein Ableitfehler von ca. 0,3K auf.

Eine Verbesserung um 50 Prozent bewirkt die Verringerung des Schutzrohrdurchmessers im Sensorbereich. Mit 0,15K hält diese Fühlervariante jedoch den Prüfkriterien noch nicht stand. Erst eine thermische Entkopplung der Anschlussleitung und des Sensors reduziert den Ableitfehler auf 0,03K, was einer Verbesserung um den Faktor 10 gegenüber der ursprünglichen Ausführung entspricht.

Maßnahmen zur Verringerung des Wärmeableitfehlers

Nicht immer ist für jedes Messproblem ein optimaler Fühler konstruktiv zu realisieren, bei dem das Messergebnis nicht durch den Wärmeableitfehler beeinträchtigt wird. In dem auf der vorletzten Seite vorgestellten Fachaufsatz „Elektrische Temperaturmessung“ sind die wichtigsten Auswahlkriterien für einen Fühler hinsichtlich des Wärmeableitfehlers zusammengefasst.

Kalibrierung

Im Laufe der Betriebsdauer eines Thermometers können sich infolge chemischer und mechanischer Einflüsse sowie Alterungerscheinungen wie Rekristallisationen und Diffusionen, Änderungen der Kennlinie gegenüber dem Auslieferungszustand ergeben. Um eine Drift berücksichtigen und kompensieren zu können, muss das Thermometer in regelmäßigen Zeitabständen kalibriert werden.

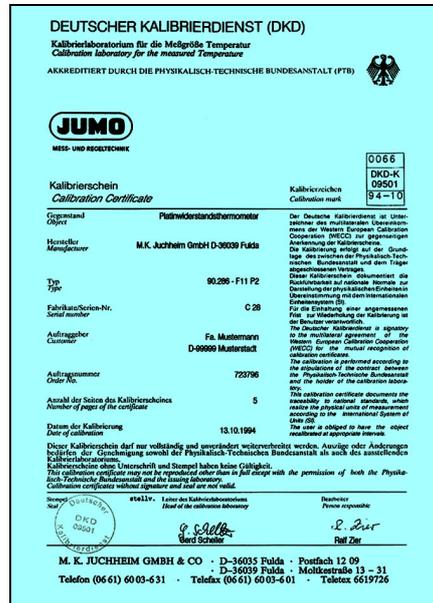


Abb. 19: Kalibrierzertifikat

Kalibrierung bedeutet eine Überprüfung der angezeigten Temperaturwerte und gegebenenfalls die Festschreibung der Abweichungen von den tatsächlichen Messtemperaturen. Der vielfach in diesem Zusammenhang genannte Begriff der **Justierung** bedeutet dagegen, durch einen Eingriff in das Gerät, die Abweichungen klein, zumindest kleiner als die Fehlergrenzen zu halten.

Eine Kalibrierung ist gleichbedeutend mit einer individuell für jedes Thermometer geprüften und gemessenen Genauigkeit. Für die Langzeitstabilität dieser Werte kann allerdings vom Hersteller keine Garantie übernommen werden, da er die zukünftigen Einsatzgebiete bzw. -häufigkeiten und die damit verbundenen Belastungen auf das Thermometer nicht voraussehen kann. Anfangs sollte ein Thermometer jährlich kalibriert werden und die Messergebnisse mit den Daten der letzten Kalibrierung verglichen werden.

So wird im Laufe der Zeit eine Historie des Thermometers gewonnen, aus der dessen Stabilität ersichtlich wird. Bei einer für den Anwendungsfall genügenden Reproduzierbarkeit der Messdaten kann dann auf eine kürzere oder längere Wiederholungszeit der Kalibrierung geschlossen werden.

Die Frage nach dem Ablauf und der Genauigkeit einer Kalibrierung lässt sich nicht allgemein beantworten. Es findet stets eine Abstimmung zwischen dem Anwender und der Kalibrierstelle statt, wobei Temperaturbereiche und Messpunkte festgelegt werden. Die Messgenauigkeit wird durch die Art der Messung bestimmt.

Der Deutsche Kalibrierdienst (DKD)

Durch den Wegfall der inhereuropäischen Handelsgrenzen seit 1992, durch neue Qualitätsnormen wie die ISO 9001 und ein verschärftes Produkthaftungsgesetz werden verstärkt Forderungen an die Dokumentation der Prozesse und die Überprüfung der Messmittel gestellt. Hierzu kommen die erhöhten Kundenanforderungen nach hohem Qualitätsstandard ihrer Produkte. Eine besonders hohe Anforderung ergibt sich aus der Norm ISO 9001, die ein globales Konzept eines Qualitätssicherungssystems beschreibt.

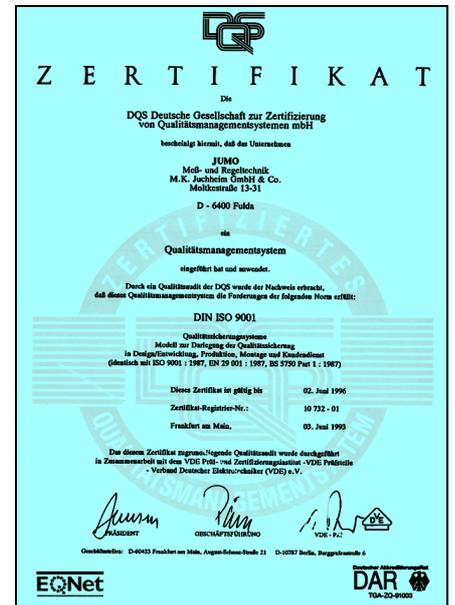


Abb. 20: Zertifikat nach ISO 9001

Wenn ein Unternehmen nach dieser Norm zertifiziert werden will, muss für die produktionsrelevanten Prüfmittel eine Rückführbarkeit auf die national anerkannten Normen/Standards vorhanden sein.

Unter der Rückführbarkeit auf die nationalen Normale versteht man, dass beim Kontrollieren eines Prüfmittels die Messungen selbst dokumentierbar auf gesetzliche Normale zurückgeführt werden können. Für Deutschland legt die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) die nationalen Standards fest und vergleicht diese mit den Messergebnissen anderer Institute, um wichtige Größen wie die Temperatur weltweit gleicherart mit physikalischen Mitteln darstellen zu können.

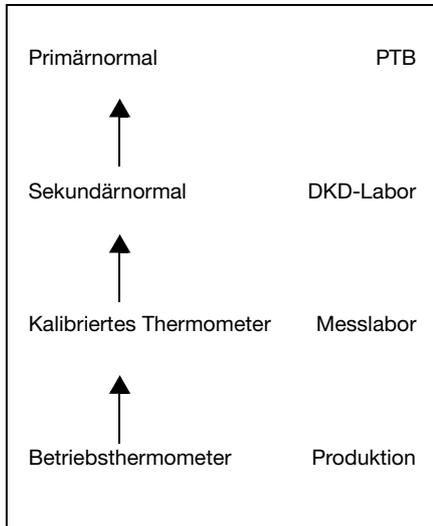


Abb. 21: Rückführbarkeit

Auf Grund der hohen Nachfrage nach derart kalibrierten Geräten reichen die staatlichen Stellen nicht aus, und es werden in der Industrie Kalibrierlabors eingerichtet, die von dieser auch getragen werden. Diese Labors, wie auch das **DKD-Laboratorium für Temperatur 9501** von **JUMO**, sind dem Deutschen Kalibrierdienst angeschlossen und unterstehen messtechnisch der PTB. Damit wird gewährleistet, dass die in einem DKD-Labor eingesetzten Messmittel eindeutig auf die nationalen Standards rückführbar sind, und damit auch die dort eingesetzten Thermometer.

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.

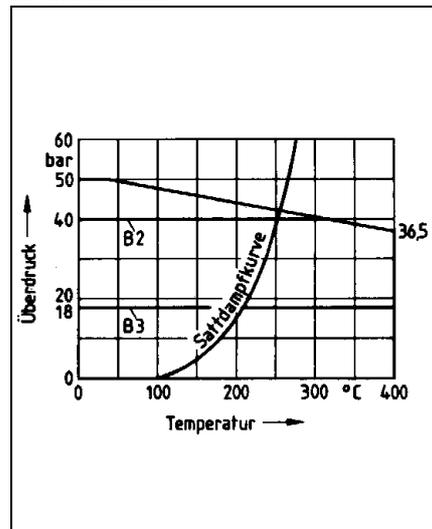


Abb. 22: Druckbelastung für Schutzrohr Form B

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

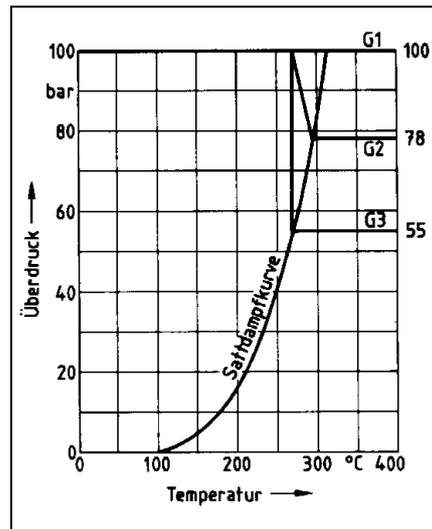


Abb. 23: Druckbelastung für Schutzrohr Form G

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. 24 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.

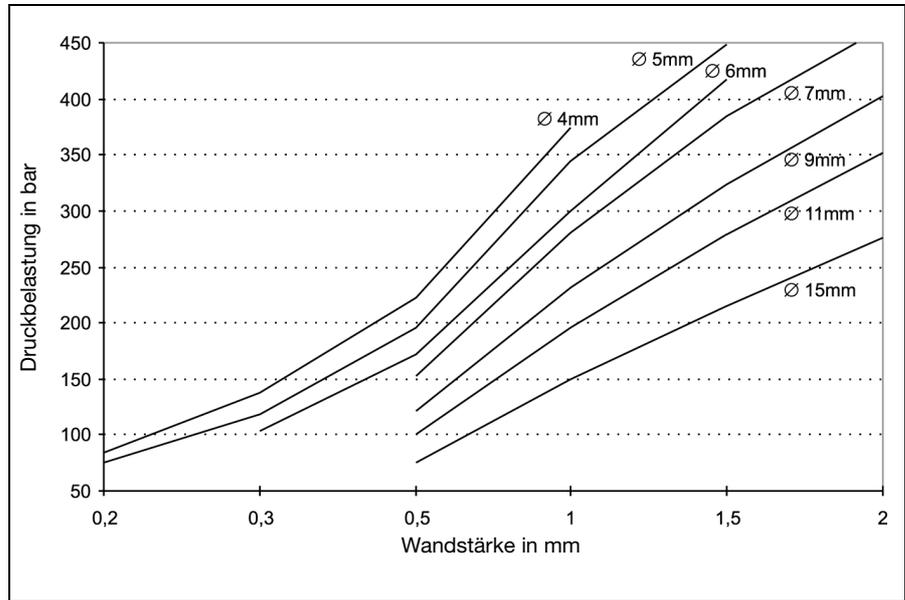


Abb. 24: Schutzrohrbelastungsgrenzen der Rohrabmessungen

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.

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	10s
Druckprüfung I	Stickstoff	1 ... 50bar	10s
Druckprüfung II	Wasser	50 ... 300bar	10s

Lecktest

Im Inneren der 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 10⁻⁶ 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.

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


**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. 2: 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.



Grundwerte nach DIN EN 60 751 (ITS 90)

in Ohm für Pt 100-Tempertursensoren gestuft von jeweils 1 zu 1°C

°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18,520	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-190	22,825	22,397	21,967	21,538	21,108	20,677	20,247	19,815	19,384	18,952
-180	27,096	26,671	26,245	25,819	25,392	24,965	24,538	24,110	23,682	23,254
-170	31,335	30,913	30,490	30,067	29,643	29,220	28,796	28,371	27,947	27,552
-160	35,543	35,124	34,704	34,284	33,864	33,443	33,022	32,601	32,179	31,757
-150	39,723	39,306	38,889	38,472	38,055	37,637	37,219	36,800	36,382	35,963
-140	43,876	43,462	43,048	42,633	42,218	41,803	41,388	40,972	40,556	40,140
-130	48,005	47,593	47,181	46,769	46,356	45,944	45,531	45,117	44,704	44,290
-120	52,110	51,700	51,291	50,881	50,470	50,060	49,649	49,239	48,828	48,416
-110	56,193	55,786	55,378	54,970	54,562	54,154	53,746	53,337	52,928	52,519
-100	60,256	59,850	59,445	59,039	58,633	58,227	57,821	57,414	57,007	56,600
- 90	64,300	63,896	63,492	63,088	62,684	62,280	61,876	61,471	61,066	60,661
- 80	68,325	67,924	67,522	67,120	66,717	66,315	65,912	65,509	65,106	64,703
- 70	72,335	71,934	71,534	71,134	70,733	70,332	69,931	69,530	69,129	68,727
- 60	76,328	75,929	75,530	75,131	74,732	74,333	73,934	73,534	73,134	72,735
- 50	80,306	79,909	79,512	79,114	78,717	78,319	77,921	77,523	77,125	76,726
- 40	84,271	83,875	83,479	83,083	82,687	82,290	81,894	81,497	81,100	80,703
- 30	88,222	87,827	87,432	87,038	86,643	86,248	85,853	85,457	85,062	84,666
- 20	92,160	91,767	91,373	90,980	90,586	90,192	89,798	89,404	89,010	88,616
- 10	96,086	95,694	95,302	94,909	94,517	94,124	93,732	93,339	92,946	92,553
0	100,000	99,609	99,218	98,827	98,436	98,044	97,653	97,261	96,870	96,478

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,903	104,292	104,682	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,405
20	107,794	108,182	108,570	108,959	109,347	109,735	110,123	110,510	110,898	111,286
30	111,673	112,060	112,447	112,835	113,221	113,608	113,995	114,382	114,768	115,155
40	115,541	115,927	116,313	116,699	117,085	117,470	117,856	118,241	118,627	119,012
50	119,397	119,782	120,167	120,552	120,936	121,321	121,705	122,090	122,474	122,858
60	123,242	123,626	124,009	124,393	124,777	125,160	125,543	125,926	126,309	126,692
70	127,075	127,458	127,840	128,223	128,605	128,987	129,370	129,752	130,133	130,515
80	130,897	131,278	131,660	132,041	132,422	132,803	133,184	133,565	133,946	134,326
90	134,707	135,087	135,468	135,848	136,228	136,608	136,987	137,367	137,747	138,126
100	138,506	138,885	139,264	139,643	140,022	140,400	140,779	141,158	141,536	141,914
110	142,293	142,671	143,049	143,426	143,804	144,182	144,559	144,937	145,314	145,691
120	146,068	146,445	146,822	147,198	147,575	147,951	148,328	148,704	149,080	149,456
130	149,832	150,208	150,583	150,959	151,334	151,710	152,085	152,460	152,835	153,210
140	153,584	153,959	154,333	154,708	155,082	155,456	155,830	156,204	156,578	156,952
150	157,325	157,699	158,072	158,445	158,818	159,191	159,564	159,937	160,309	160,682
160	161,054	161,427	161,799	162,171	162,543	162,915	163,286	163,658	164,030	164,401
170	164,772	165,143	165,514	165,885	166,256	166,627	166,997	167,368	167,738	168,108
180	168,478	168,848	169,218	169,588	169,958	170,327	170,696	171,066	171,435	171,804
190	172,173	172,542	172,910	173,279	173,648	174,016	174,384	174,752	175,120	175,488
200	175,856	176,224	176,591	176,959	177,326	177,693	178,060	178,427	178,794	179,161
210	179,528	179,894	180,260	180,627	180,993	181,359	181,725	182,091	182,456	182,822
220	183,188	183,553	183,918	184,283	184,648	185,013	185,378	185,743	186,107	186,472
230	186,836	187,200	187,564	187,928	188,292	188,656	189,019	189,383	189,746	190,110
240	190,473	190,836	191,199	191,562	191,924	192,287	192,649	193,012	193,374	193,736
250	194,098	194,460	194,822	195,183	195,545	195,906	196,268	196,629	196,990	197,351
260	197,712	198,073	198,433	198,794	199,154	199,514	199,875	200,235	200,595	200,954
270	201,314	201,674	202,033	202,393	202,752	203,111	203,470	203,829	204,188	204,546
280	204,905	205,263	205,622	205,980	206,338	206,696	207,054	207,411	207,769	208,127
290	208,484	208,841	209,198	209,555	209,912	210,269	210,626	210,982	211,339	211,695
300	212,052	212,408	212,764	213,120	213,475	213,831	214,187	214,542	214,897	215,252

Die Grundwerte sind nach der Internationalen Temperaturskala ITS 90 berechnet.

(Für Pt 500- oder Pt 1000-Tempertursensoren müssen die Grundwerte mit dem Faktor 5 oder 10 multipliziert werden).



Grundwerte nach DIN EN 60 751 (ITS 90)

in Ohm für Pt 100-Tempertursensoren gestuft von jeweils 1 zu 1°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
310	215,608	215,962	216,317	216,672	217,027	217,381	217,736	218,090	218,444	218,798
320	219,152	219,506	219,860	220,213	220,567	220,920	221,273	221,626	221,979	222,332
330	222,685	223,038	223,390	223,743	224,095	224,447	224,799	225,151	225,503	225,855
340	226,206	226,558	226,909	227,260	227,612	227,963	228,314	228,664	229,015	229,366
350	229,716	230,066	230,417	230,767	231,117	231,467	231,816	232,166	232,516	232,865
360	233,214	233,564	233,913	234,262	234,610	234,959	235,308	235,656	236,005	236,353
370	236,701	237,049	237,397	237,745	238,093	238,440	238,788	239,135	239,482	239,829
380	240,176	240,523	240,870	241,217	241,563	241,910	242,256	242,602	242,948	243,294
390	243,640	243,986	244,331	244,677	245,022	245,367	245,713	246,058	246,403	246,747
400	247,092	247,437	247,781	248,125	248,470	248,814	249,158	249,502	249,845	250,189
410	250,533	250,876	251,219	251,562	251,906	252,248	252,591	252,934	253,277	253,619
420	253,962	254,304	254,646	254,988	255,330	255,672	256,013	256,355	256,696	257,038
430	257,379	257,720	258,061	258,402	258,743	259,083	259,424	259,764	260,105	260,445
440	260,785	261,125	261,465	261,804	262,144	262,483	262,823	263,162	263,501	263,840
450	264,179	264,518	264,857	265,195	265,534	265,872	266,210	266,548	266,886	267,224
460	267,562	267,900	268,237	268,574	268,912	269,249	269,586	269,923	270,260	270,597
470	270,933	271,270	271,606	271,942	272,278	272,614	272,950	273,286	273,622	273,957
480	274,293	274,628	274,963	275,298	275,633	275,968	276,303	276,638	276,972	277,307
490	277,641	277,975	278,309	278,643	278,977	279,311	279,644	279,978	280,311	280,644
500	280,978	281,311	281,643	281,976	282,309	282,641	282,974	283,306	283,638	283,971
510	284,303	284,634	284,966	285,298	285,629	285,961	286,292	286,623	286,954	287,285
520	287,616	287,947	288,277	288,608	288,938	289,268	289,599	289,929	290,258	290,588
530	290,918	291,247	291,577	291,906	292,235	292,565	292,894	293,222	293,551	293,880
540	294,208	294,537	294,865	295,193	295,521	295,849	296,177	296,505	296,832	297,160
550	297,487	297,814	298,142	298,469	298,795	299,122	299,449	299,775	300,102	300,428
560	300,754	301,080	301,406	301,732	302,058	302,384	302,709	303,035	303,360	303,685
570	304,010	304,335	304,660	304,985	305,309	305,634	305,958	306,282	306,606	306,930
580	307,254	307,578	307,902	308,225	308,549	308,872	309,195	309,518	309,841	310,164
590	310,487	310,810	311,132	311,454	311,777	312,099	312,421	312,743	313,065	313,386
600	313,708	314,029	314,351	314,672	314,993	315,314	315,635	315,956	316,277	316,597
610	316,918	317,238	317,558	317,878	318,198	318,518	318,838	319,157	319,477	319,796
620	320,116	320,435	320,754	321,073	321,391	321,710	322,029	322,347	322,666	322,984
630	323,302	323,620	323,938	324,256	324,573	324,891	325,208	325,526	325,843	326,160
640	326,477	326,794	327,110	327,427	327,744	328,060	328,376	328,692	329,008	329,324
650	329,640	329,956	330,271	330,587	330,902	331,217	331,533	331,848	332,162	332,477
660	332,792	333,106	333,421	333,735	334,049	334,363	334,677	334,991	335,305	335,619
670	335,932	336,246	336,559	336,872	337,185	337,498	337,811	338,123	338,436	338,748
680	339,061	339,373	339,685	339,997	340,309	340,621	340,932	341,244	341,555	341,867
690	342,178	342,489	342,800	343,111	343,422	343,732	344,043	344,353	344,663	344,973
700	345,284	345,593	345,903	346,213	346,522	346,832	347,141	347,451	347,760	348,069
710	348,378	348,686	348,995	349,303	349,612	349,920	350,228	350,536	350,844	351,152
720	351,460	351,768	352,075	352,382	352,690	352,997	353,304	353,611	353,918	354,224
730	354,531	354,837	355,144	355,450	355,756	356,062	356,368	356,674	356,979	357,285
740	357,590	357,896	358,201	358,506	358,811	359,116	359,420	359,725	360,029	360,334
750	360,638	360,942	361,246	361,550	361,854	362,158	362,461	362,765	363,068	363,371
760	363,674	363,977	364,280	364,583	364,886	365,188	365,491	365,793	366,095	366,397
770	366,699	367,001	367,303	367,604	367,906	368,207	368,508	368,810	369,111	369,412
780	369,712	370,013	370,314	370,614	370,914	371,215	371,515	371,815	372,115	372,414
790	372,714	373,013	373,313	373,612	373,911	374,210	374,509	374,808	375,107	375,406
800	375,704	376,002	376,301	376,599	376,897	377,195	377,493	377,790	378,088	378,385
810	378,683	378,980	379,277	379,574	379,871	380,167	380,464	380,761	381,057	381,353
820	381,650	381,946	382,242	382,537	382,833	383,129	383,424	383,720	384,015	384,310
830	384,605	384,900	385,195	385,489	385,784	386,078	386,373	386,667	386,961	387,255
840	387,549	387,843	388,136	388,430	388,723	389,016	389,310	389,603	389,896	390,188
850	390,481	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Grundwerte sind nach der Internationalen Temperaturskala ITS 90 berechnet.
 (Für Pt 500- oder Pt 1000-Tempertursensoren müssen die Grundwerte mit dem Faktor 5 oder 10 multipliziert werden).

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

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

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, Thermoelemente, 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.