

Anschluss-technik und Theorie

Für die Bestimmung der Temperatur mit Hilfe des elektrischen Widerstandes nutzt man den nachfolgenden Effekt aus. Mit steigender Temperatur werden die ungeordneten thermischen Schwingungen der Atome auf ihren Gitterplätzen stärker. Es wird somit für die freien Elektronen immer schwieriger, an den immer stärker schwingenden Atomen vorbei zu wandern. Der elektrische Widerstand nimmt mit steigender Temperatur zu. Dieser Zusammenhang zwischen dem Widerstand und der Temperatur wird über den selbst temperaturabhängigen Temperaturkoeffizienten α beschrieben und stellt die Grundlage der Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern dar.

In der industriellen Messtechnik hat sich Platin als metallisches Widerstandsmaterial durchgesetzt. Es weist eine hohe chemische Beständigkeit auf, ist relativ einfach zu bearbeiten, kann äusserst rein hergestellt werden und hat reproduzierbare elektrische Eigenschaften. Platin-Messwiderstände sind in der DIN EN 60751: 2008 bzw. der IEC 60751: 2008 genormt. Dadurch ist ihre Austauschbarkeit gewährleistet.

Die DIN EN 60751 bezieht sich vor allem auf Platinwiderstände mit einem Nennwiderstand von 100 Ω bei 0 °C. Diese Widerstände werden auch kurz als Pt100 bezeichnet. Die Norm teilt das durch die Messwiderstände erfassbare Temperaturintervall in die Bereiche -200 °C bis 0 °C und 0 °C bis 850 °C ein und gibt die Grundwertreihen zur Berechnung des Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur und die zulässigen Grenzabweichungen an.

Im Bereich unterhalb von 0 °C werden die Grundwerte mit folgendem Polynom berechnet:

$$R_t = R_0 (1 + A \cdot t_{90} + B \cdot t_{90}^2 + C [t_{90} - 100^\circ\text{C}] t_{90}^3)$$

Im Bereich oberhalb von 0 °C werden die Grundwerte mit einem Polynom 2. Grades berechnet:

$$R_t = R_0 (1 + A \cdot t_{90} + B \cdot t_{90}^2)$$

Dabei gibt die DIN EN 60751 für die Konstanten die folgenden Werte an:

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}; C = -4,2735 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

R_0 ist der Widerstand bei 0 °C. R_t ist der Widerstand bei der Temperatur t [°C], die sich auf die Internationale Temperaturskala von 1990 bezieht. Temperaturdifferenzen werden im Folgenden in Kelvin [K] angegeben. In der DIN EN 60751 wird als weitere Kenngrösse α definiert, das den mittleren Temperaturkoeffizienten zwischen 0 °C und 100 °C angibt:

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \cdot R_0 = 3,85 \cdot 10^{-3}$$

Technique de connexion et théorie

Pour la détermination de la température à l'aide d'une résistance électrique, on utilise l'effet suivant. Lorsque la température augmente, les vibrations thermiques désordonnées des atomes autour de leur place dans le réseau cristallin prennent de l'ampleur. Pour les électrons libres, il est donc de plus en plus difficile de passer à côté d'atomes qui s'agitent de plus en plus. La résistance électrique augmente avec la température. Cette relation entre la résistance et la température est décrite par le coefficient de température α qui est lui-même dépendant de la température; elle sert de base à la mesure de la température par des thermomètres à résistance.

En métrologie industrielle, le platine s'est imposé comme matériau métallique pour la résistance. Il présente une bonne résistance chimique, est relativement facile à travailler, peut être produit dans une qualité extrêmement pure et a des propriétés électriques reproductibles. Les résistances de mesure en platine sont soumises à la norme DIN EN 60751: 2008 ou IEC 60751: 2008. Cela permet de garantir leur interchangeabilité.

La norme DIN EN 60751 porte essentiellement sur les résistances en platine ayant une résistance nominale de 100 Ω à 0 °C. Ces résistances sont aussi désignées par l'abréviation Pt100. La norme divise l'intervalle de température mesurable par ces résistances en deux domaines allant de -200 °C à 0 °C et de 0 °C à 850 °C et donne également un tableau de valeur de référence pour le calcul de la résistance en fonction de la température ainsi que les tolérances admissibles.

Pour la plage de température située en dessous de 0 °C, les valeurs de référence sont calculées à l'aide du polynôme suivant:

$$R_t = R_0 (1 + A \cdot t_{90} + B \cdot t_{90}^2 + C [t_{90} - 100^\circ\text{C}] t_{90}^3)$$

Pour la plage de température située au-dessus de 0 °C, les valeurs de référence sont calculées à l'aide d'un polynôme de degré 2:

$$R_t = R_0 (1 + A \cdot t_{90} + B \cdot t_{90}^2)$$

Pour les constantes, la norme DIN EN 60751 donne les valeurs suivantes:

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}; C = -4,2735 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

R_0 est la résistance à 0 °C. R_t est la résistance à la température t [°C] qui se réfère à l'échelle internationale de température de 1990. Ci-dessous, les différences de température sont indiquées en Kelvin [K].

La DIN EN 60751 définit aussi le paramètre α , le coefficient de température moyen entre 0 °C et 100 °C:

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \cdot R_0 = 3,85 \cdot 10^{-3}$$

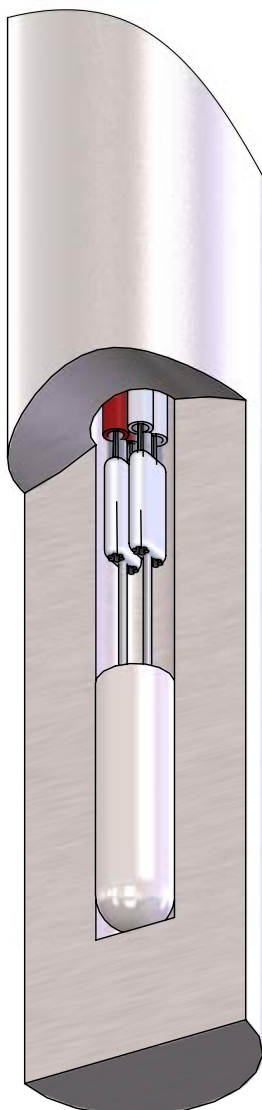
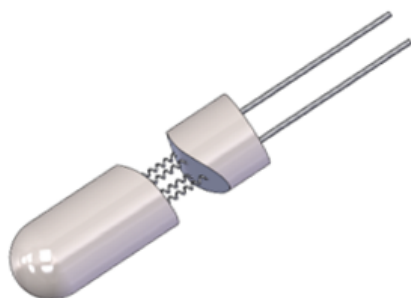
Nennwerte

Pt100 Sensoren besitzen einen Nennwert des Widerstandes von 100.00Ω bei 0°C und müssen nach den Grenzabweichungen klassifiziert werden. Wird der Pt100 bei einer Temperatur über 450°C eingesetzt, darf die Klasse A nicht verwendet werden.

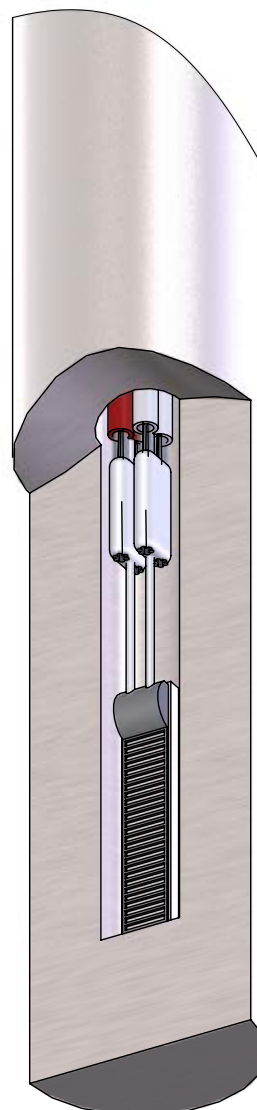
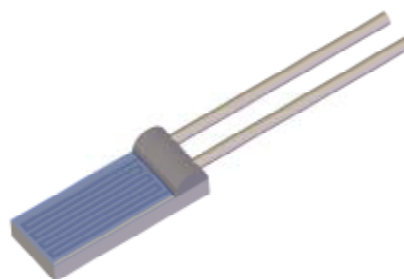
Valeurs nominales

La valeur nominale de résistance des sondes Pt100 est de 100.00Ω à 0°C . Ces sondes sont à classer selon les écarts limites. Si la sonde Pt100 est utilisée à une température supérieure à 450°C , la Classe A n'est pas adaptée.

Draht gewickelter Messwiderstand
Résistance bobinée



Dünnschicht Messwiderstand
Résistance couche mince



Grenzabweichungen für Pt100 Sensoren / *Ecartés limités pour des sondes Pt100*

Genauigkeitsklassen für Thermometer
DIN EN 60751: 2008

Classes de précision pour thermomètre
DIN EN 60751: 2008

Klasse Classe	Gültigkeitsbereich °C Domaine de validité °C		Grenzabweichung °C Tolérance °C
	Drahtgewickelte Widerstände Résistances bobinée	Schichtwiderstände Résistance couche mince	
AA (1/3 DIN)	-50 °C ... 250 °C	0 °C ... 150 °C	± (0,1 + 0,0017 t)
A	-100 °C ... 450 °C	-30 °C ... 300 °C	± (0,15 + 0,002 t)
B	-196 °C ... 600 °C	-50 °C ... 500 °C	± (0,3 + 0,005 t)
C	-196 °C ... 600 °C	-50 °C ... 600 °C	± (0,6 + 0,01 t)

° | t | = Betrag der Temperatur in °C ohne Berücksichtigung des Vorzeichens
° | t | = Montant de la température en °C sans tenir compte du signe

Anschluss technik

Bei Widerstandssensoren wie dem Pt100 kennen wir 3 verschiedene Anschlussarten.

- Die einfachste aber auch fraglichste Art bildet der 2-Leiteranschluss.
- In der Industrie wird meistens der 3-Leiteranschluss verwendet.
- Labor- und Präzisionsmessungen sind nur mit dem 4-Leiteranschluss sinnvoll.

2-Leiteranschluss

Bei einem Zweileiteranschluss wird der Widerstand einschliesslich der Zuleitungen RL1 + RL2 gemessen. Bei längeren Leitungen kann dies das Messergebnis verfälschen. Ein Pt100 hat bei einer Temperatur von 0°C einen Widerstand von 100.00 Ω. Bei einer Temperatur von 100°C beträgt dieser 138.51 Ω. Die Differenz ist 38.51 Ω oder 0.3851 Ω/°C. Wird ein Kabel mit einem Widerstand von zum Beispiel 200 Ω/km verwendet so ergibt sich ein Wert bei 20 m von 4 Ω. Da zwei Drähte verwendet werden addiert sich der Wert auf 8 Ω. Die Anzeige wird damit um 20.77 °C verfälscht. Eine Möglichkeit der Abhilfe würde in der Verwendung eines anderen Kabels bestehen. Das Problem wird dann zwar geringer ist aber immer noch vorhanden.

3-Leiteranschluss

Es bilden sich zwei Messkreise, RL1 + RL2 und RL2 + RL3. Durch die dritte Anschlussleitung ist es möglich den Widerstand der Leitung zu ermitteln und zu kompensieren. Voraussetzung ist, dass die 3 Leiter einen identischen Widerstand aufweisen.

4-Leiteranschluss

Ein optimaler Anschluss ist die 4-Leiteranschlusstechnik. Um den Widerstand zu ermitteln fließt immer ein kleiner Strom, im Bereich von 0.5 mA ... 1 mA über die Leitungen 1 und 4. Dieser Strom muss so gering gehalten werden dass der Pt100 nicht erwärmt wird. Über 1 und 3 wird der Spannungsabfall am Widerstand hochpräzise gemessen so dass über die Leitung kein Spannungsabfall entstehen kann. Auftretende Widerstände in der Leitung sind nicht mehr relevant für das Messergebnis.

Technique de Connexion

Les sondes à résistances telles que les Pt100 sont connues en 3 différents types de connexion.

- La façon plus simple mais aussi incertaine est la connexion en 2-conducteurs.
- L'industrie utilise le plus souvent la connexion 3-conducteurs.
- Laboratoires et mesures de précision nécessitent une la connexion 4-conducteurs.

Connexion à 2 fils

Avec une connexion à deux fils, la résistance est mesurée en incluant les lignes d'alimentation RL1 + RL2. Cela peut fausser le résultat si les conduites sont longues. Un Pt100 a une résistance de 100.00 Ω à 0 °C. A une température de 100 °C, elle s'élève à 138.51 Ω. La différence est de 38.51 Ω ou 0.3851 Ω/°C.

Si un câble possédant une résistance de 200 Ω/km est utilisé, cela donne 4 Ω pour 20 m. Comme il faut utiliser deux fils, cela fait un total de 8 Ω. Il y a alors une erreur de 20.77 °C à l'affichage.

L'utilisation d'un autre câble pourrait être une solution. Le problème est ainsi minimisé, mais il est encore présent.

Connexion à 3 fils

Ils forment deux circuits de mesure RL1 + RL2 et RL2 + RL3. Avec la troisième ligne, il est possible de déterminer la résistance de la ligne et de compenser. La condition préalable est que les 3 fils ont la même résistance.

Connexion à 4 fils

La technique de connexion à quatre fils est une solution optimale.

Un petit courant d'un ordre de grandeur de 0.5 mA ... 1 mA circule en permanence à travers les lignes 1 et 4 afin de déterminer la résistance. Ce courant doit être maintenu suffisamment faible afin que le Pt100 ne s'échauffe pas. La chute de tension au niveau de la résistance est mesurée à valeur ohmique élevée avec 1 et 3 de façon à ne pas générer de chute de tension sur les lignes. Les résistances des lignes ne sont plus importantes pour le résultat de la mesure.

Zusammenfassung

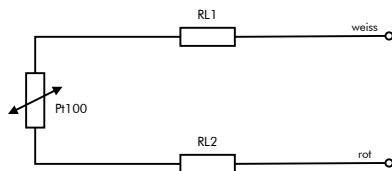
Die 2-Leiteranschlusstechnik empfehlen wir nie. Bei Hochtemperatursensoren wird oft ein Nickelleiter verwendet, dessen Widerstand noch viel höher als bei Kupfer ist. Für die Mess- und Regelgeräte ist die 3-Leiteranschlusstechnik weit verbreitet und angemessen. Für Laborgeräte, zu kalibrierende Sensoren und präzisere Messungen empfehlen wir die 4-Leiteranschlusstechnik.

Résumé

Nous ne recommandons jamais la technique de connexion à 2 fils. Un conducteur en nickel est souvent utilisé pour les sondes à haute température, sa résistance est encore beaucoup plus élevée que celle du cuivre. Pour les appareils de mesure et de réglage, la technique de connexion à 3 fils est très répandue et bien appropriée. Pour les appareils de laboratoire, les sondes à étalonner et les mesures précises, nous recommandons la technique de connexion à 4 fils.

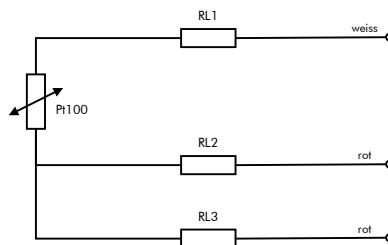
Symbole nach DIN EN 60751:2008

2-Leiter / 2-conducteurs

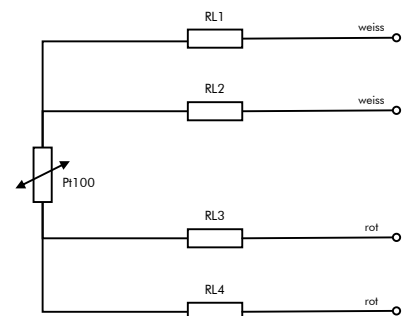


Symboles selon DIN EN 60751:2008

3-Leiter / 3-conducteurs



4-Leiter / 4-conducteurs



Messfehler durch den Leitungswiderstand

Wird ein Widerstandssensor, wie Pt100, 500, 1000 etc., in 2-Leiter Technik angeschlossen, entsteht ein Messfehler. Dieser wird bei Pt100 in etwa wie folgt aussehen:

Erreurs de mesure dues à la résistance de ligne

Si une sonde de résistance telle que Pt100, 500, 1000 etc. est connectée en technique 2-conducteurs, des erreurs de mesure en résultent. Avec une sonde Pt100 elles sont à peu près comme suit:

Querschnitt / Section nominal		Max. Leitungswiderstand Max. résistance de ligne Ohm / m	Temperatur-Fehler in °C / Meter Kabel Erreur de température en °C / mètre de câble
mm ²	AWG		
0,15	26	0,138	0,717
0,24	24	0,078	0,405
0,38	22	0,048	0,249

Beispiel

Leitung mit 5 m Länge und 0,34 mm² Querschnitt

$$\rho_{Cu} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}, L = 5 \text{ m}, A = 0,34 \text{ mm}^2$$

$$RL1 + RL2 = ((2 \times 0,0175 \times 5) / 0,34) = 0,5147 \Omega = 1,33 \text{ °C Fehler / Erreur}$$

Example

Ligne de 5 m et de section de 0,34 mm²

Einbautiefe

Um genaue Messresultate zu erhalten bedarf es einer optimalen Einbautiefe des Sensors. Diese ist so zu wählen, dass sowohl das Sensorrohr als auch das Kabel dem Messpunkt keine Wärme mehr entziehen kann. Ab ca. 130 mm ist dies gegeben.

Als Faustregel für die minimalste Einbautiefe gilt :

6 x Durchmesser des Messwiderstandes + die aktive Länge.

Beispiel	Messwiderstand P 100/1545
Durchmesser	4,5 x 15 mm
Aktive Länge	12 mm

$$6 * 4,5 + 12 = 39 \text{ mm}$$

Der Wärmeentzug ist bei diesem Beispiel in der Messung zu berücksichtigen.

Profondeur d'installation

Pour obtenir des résultats de mesure précis, il est recommandé de choisir une profondeur d'installation optimale, et de chercher à éviter les pertes de chaleur dues au câble de raccordement et au doigt de gant. Ceci a lieu environ à 130 mm environ.

La règle d'estimation de la profondeur d'installation minimale est :

6 x le diamètre de la résistance de mesure + la longueur active.

<i>Exemple</i>	<i>Résistance de mesure P 100/1545</i>
<i>Diamètre</i>	<i>4,5 x 15 mm</i>
<i>Longueur active</i>	<i>12 mm</i>

$$6 * 4,5 + 12 = 39 \text{ mm}$$

Dans l'exemple ci-dessus il faut tenir compte également de la perte chaleur.