



Der Temperatursensor

Widerstandsthermometer mal genauer erklärt und wie man wirklich richtig misst

Die elektrische Leitfähigkeit von Metall beruht auf der Beweglichkeit der Elektronen im Elektronengas. Fehler in der Kristallstruktur wie fremde oder fehlende Gitteratome, Korngrenzen und Atome auf Zwischengitterplätzen stören diese Bewegung und führen zu einem konstanten Widerstand. Mit steigender Temperatur erhöht sich die Atom-Schwingung, was die Elektronenbewegung behindert. Dies führt zu einem linearen Anstieg des Widerstands mit der Temperatur, bekannt als positiver Temperaturbeiwert (PTC). Ein großer Temperaturkoeffizient ist also für die Temperaturmessung ideal, aber die charakteristischen Eigenschaften des Metalls sollten sich über lange Zeiträume nicht wesentlich ändern und der Koeffizient sollte temperatur-, druck- und chemisch stabil sein.

In der industriellen Messtechnik ist Platin als Widerstandsmaterial weit verbreitet. Seine Vorteile umfassen hohe chemische Beständigkeit, leichte Bearbeitbarkeit für Drahtherstellung, hohe Reinheit und reproduzierbare elektrische Eigenschaften. Die europäische Norm DIN EN 60 751 definiert diese Eigenschaften genau, was Platinmesswiderstände zu universell austauschbaren Temperatursensoren macht. Daraus entstehen dann die bekannten Bezeichnungen Pt100 oder Pt1000 und viele mehr. Daraus ergeben sich unterschiedliche Kennlinien für die eingesetzten Materialkombinationen anhand derer sehr genau die Temperatur a. eingeteilt und b. gemessen werden kann.

Pt1000 & Pt100 Kennlinie

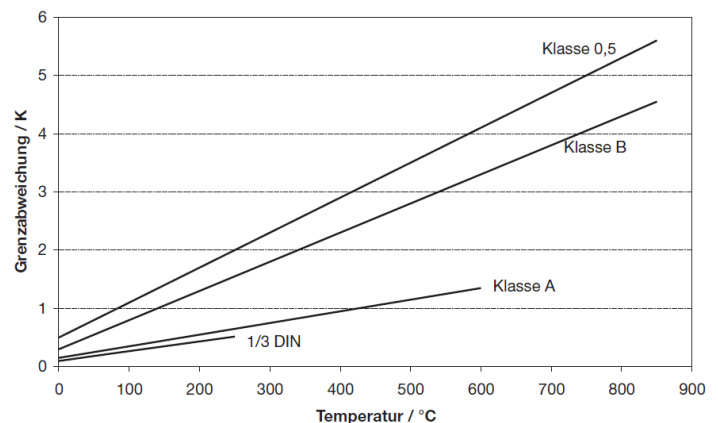
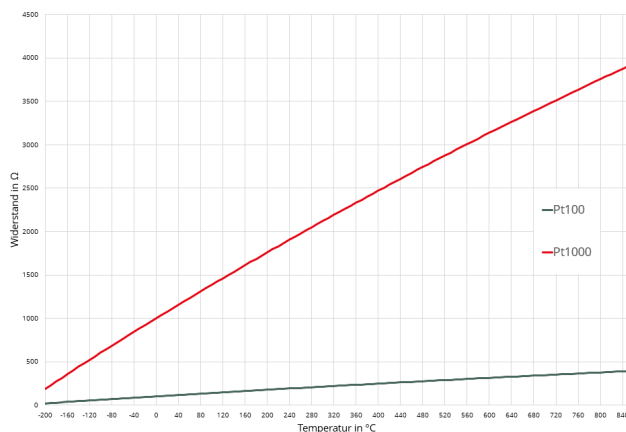


Abb. 1 – Typische Kennlinie eines Pt1000 & Pt100 Temperaturfühlers Abb. 2 – Grenzabweichung unterschiedlicher Toleranzklassen Pt100

Bei den Grenzabweichungen (Abbildung 2) unterscheidet die DIN EN 60 751 zwei Toleranzklassen:

Klasse A: $\Delta t = \pm(0,15 + 0,002 \cdot t)$

Klasse B: $\Delta t = \pm(0,30 + 0,005 \cdot t)$

t = Temperatur in °C (ohne Vorzeichen)

Die Klasse A gilt für Temperaturen von -200 ... +650°C und nur für Thermometer mit Drei- und Vierleiteranschluss.

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

Wie wird der Widerstand aber richtig gemessen?

Beim Widerstandsthermometer ändert sich also 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 das ohmsche Gesetz. Um eine Erwärmung des Sensors zu vermeiden, 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 vier Anschlusstechniken unterschieden:



1. Zweileiter Technik

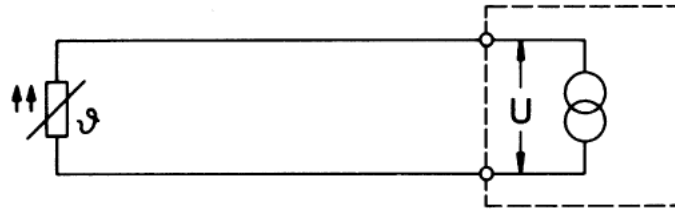


Abbildung 3 – Zweileiterschaltung

Die Verbindung zwischen Auswertelektronik und Thermometer erfolgt über eine zweiadrige Leitung, die einen Widerstand besitzt. Dieser Widerstand ist in Reihe mit dem Widerstandsthermometer geschaltet, was zu einer systematisch höheren Temperaturanzeige führt. Bei größeren Entfernungen kann der Leitungswiderstand mehrere Ohm betragen und den Messwert erheblich verfälschen.

Beispiel:

Leitungsquerschnitt: $0,5 \text{ mm}^2$
 Leitungsmaterial: Kupfer
 spez. Widerstand: $0,0175 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$
 Leitungslänge: 100m, entspricht doppelte Litzenlänge (Schleife), also 200m.

$$R = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2 * \frac{2 * 100}{0,5 \text{ mm}^2} = 7 \Omega \quad \frac{7,0 \Omega}{0,38 \Omega} = 18,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$6,8 \Omega$ entsprechen bei einem Pt 100 einer Temperaturerhöhung von $18,4 \text{ } ^\circ\text{C}$. Die Vermeidung von Fehlern erfolgt durch die elektrische Kompensation des Leitungswiderstands. Die Eingangsschaltung solcher Geräte geht von einem Leitungswiderstand von 10Ω aus. Beim Anschluss des Widerstandsthermometers wird ein Abgleichwiderstand in eine der Messleitungen geschaltet. Der Sensor wird vorübergehend durch einen $100,00 \Omega$ -Widerstand ersetzt und der Abgleichwiderstand so eingestellt, dass am Gerät $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ angezeigt werden. Dadurch ergibt sich zusammen mit dem Leitungswiderstand ein Gesamtwiderstand von 10Ω . Aufgrund des aufwändigen Abgleichs und des unberücksichtigten Temperatureinflusses auf die Messleitung ist die Zweileitertechnik stark rückläufig.

2. Dreileiter-Technik

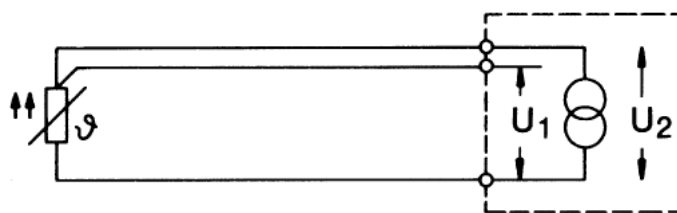


Abbildung 4 – Dreileiterschaltung

Um die Einflüsse der Leitungswiderstände und deren temperaturabhängige Schwankungen zu minimieren, wird meist eine Dreileiterschaltung verwendet. Dabei wird eine zusätzliche Leitung zu einem Kontakt des Widerstandsthermometers geführt, wodurch zwei Messkreise entstehen, von denen einer als Referenz dient. Durch diese Schaltung lässt sich der Leitungswiderstand sowohl in seinem Betrag als auch in seiner Temperaturabhängigkeit kompensieren. Voraussetzung ist jedoch, dass alle drei Adern identische Eigenschaften und Temperaturen aufweisen. Da dies in den meisten Fällen zutrifft, ist die Dreileiter-Technik heute am weitesten verbreitet, ohne dass ein Leitungsabgleich erforderlich ist.



3. Vierleiter-Technik

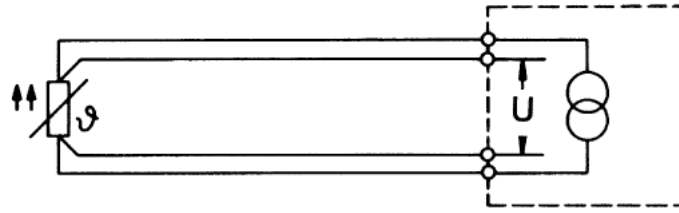


Abbildung 5 – Vierleiterschaltung

Die Vierleiter-Technik bietet eine optimale Anschlussmöglichkeit für Widerstandsthermometer, da das Messergebnis weder von Leitungswiderständen noch von ihren temperaturabhängigen Schwankungen beeinträchtigt wird. Ein Leitungsabgleich ist nicht erforderlich. Über die Zuleitungen wird das Thermometer mit dem Messstrom gespeist, während der Spannungsabfall am Messwiderstand über die Messleitungen abgegriffen wird. Wenn der Eingangswiderstand der nachgeschalteten Elektronik deutlich höher ist als der Leitungswiderstand, kann letzterer vernachlässigt werden, und der ermittelte Spannungsabfall ist unabhängig von den Eigenschaften der Zuleitungen.

Bei sowohl Drei- als auch Vierleiter-Technik ist zu beachten, dass die Schaltung nicht immer bis zum Messelement reicht. Oft ist die Verbindung des Sensors zur Armatur, die sogenannte Innenleitung, als Zweileiter-Technik ausgeführt. Dadurch können, wenn auch in geringerem Ausmaß, ähnliche Probleme auftreten wie bei der Zweileiter-Technik. Der Gesamtwiderstand aus der Summe der Widerstandswerte von Innenleitung und Messwiderstand wird nach DIN 16 160 als Thermometerwiderstand bezeichnet.

4. Zweileiter Messumformer

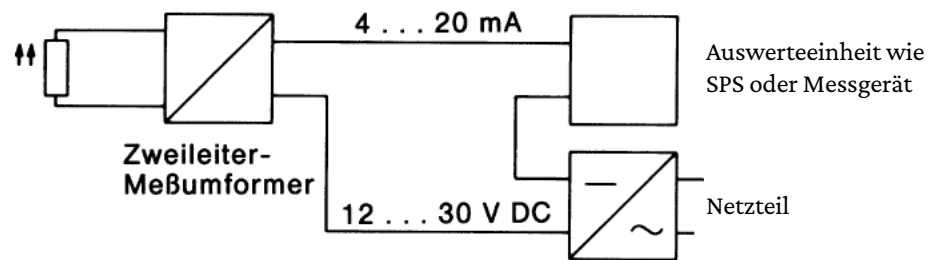
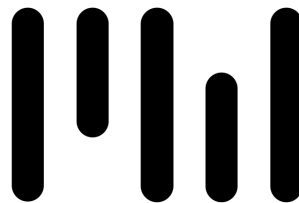


Abbildung 6 – Messumformer oder Messtransmitter

Um die Probleme der Zweileiter-Technik zu umgehen und dennoch mehradrige Leitungen zu vermeiden, werden Zweileiter-Messumformer eingesetzt. Diese wandeln das Sensorsignal in ein normiertes, temperaturlineares Stromsignal von 4 ... 20mA¹ um, wobei ein Ruhestrom von 4 mA verwendet wird. Dadurch wird die Störempfindlichkeit des Signals reduziert. Solche Messumformer neu gedacht und mit Digitaltechnik ausgestattet ist genau unser Job bei MW technologies. Wir kombinieren altbewährtes und heben es mit moderner Schaltungstechnik in die „High End“ Messtechnik. Jetzt könnte einer auch noch sagen, das ist alles nicht mehr zeitgemäß, doch auch eine Temperaturmessung mittels Microcontroller und I²C Kommunikation benötigt mind. 4 geschirmte Leitungen und ist störanfällig und problematisch bei langen Leitungen. Auch die Eigenerwärmung im Silizium macht ein echtes Temperaturmessen schwer. Auch hier hat MW die optimale Lösung.

Stefan Manzenreiter

Co-Founder/CEO



sensors. simplified.

Copyright © 2024, MW technologies GmbH

¹Hierzu gibt es den Artikel „Loop-powered 4-20mA“ von uns auf der Homepage der diese Normierung und Signalbereitstellung zur Auswertung erklärt.

