

Temperaturmessung mit dem Pt100

Andreas Hofmeier

Table of Contents

<u>Temperaturmessung mit dem Pt100</u>	1
<u>Was ist Temperatur?</u>	1
<u>Wie wird Temperatur Ausgedrückt?</u>	2
<u>Wie wird Temperatur gemessen?</u>	3
<u>Alkohol- und Pentanthermometer (mißt von etwa -200 °C bis 100 °C)</u>	
<u>Quecksilberthermometer (mißt von -50 bis 800 °C)</u>	3
<u>Widerstandsthermometer (mißt von -200 °C bis +600 °C)</u>	3
<u>Strahlungspyrometer (mißt von 500 °C bis 3000 °C)</u>	4
<u>Thermoelemente (mißt von -200°C bis 1500°C)</u>	4
<u>Der Pt100</u>	5
<u>Die Werte des Pt100</u>	5
<u>Umrechnung der verschiedenen Temperatureinheiten und Pt100-Widerstandswerte</u>	6
<u>Die Zweileitermeßschaltung</u>	6
<u>Die Dreileitermeßschaltung</u>	7
<u>Die Vierleitermeßschaltung</u>	8

Temperaturmessung mit dem Pt100

- [Was ist Temperatur?](#)
- [Wie wird Temperatur Ausgedrückt?](#)
 - ◆ [Umrechnung der verschiedenen Temperatureinheiten](#)
- [Wie wird Temperatur gemessen?](#)
 - ◆ [Alkohol- und Pentanthermometer \(mißt von etwa -200 °C bis 100 °C\)](#)
 - ◆ [Quecksilberthermometer \(mißt von -50 bis 800 °C\)](#)
 - ◆ [Widerstandsthermometer \(mißt von -200 °C bis +600 °C\)](#)
 - ◆ [Strahlungspyrometer \(mißt von 500 °C bis 3000 °C\)](#)
 - ◆ [Thermoelemente \(mißt von -200°C bis 1500°C\)](#)
- [Der Pt100](#)
 - ◆ [Die Werte des Pt100](#)
 - ◆ [Umrechnung der verschiedenen Temperatureinheiten und Pt100-Widerstandswerte](#)
 - ◆ Die Meßschaltungen
 - ◇ [Die Zweileitermeßschaltung](#)
 - ◇ [Die Dreileitermeßschaltung](#)
 - ◇ [Die Vierleitermeßschaltung](#)
- [Siehe auch / Sonstiges](#)
 - ◆ [Verständnisfragen zum Referat](#)
 - ◆ [Dieses Referat als HTML.ZIP-File](#)

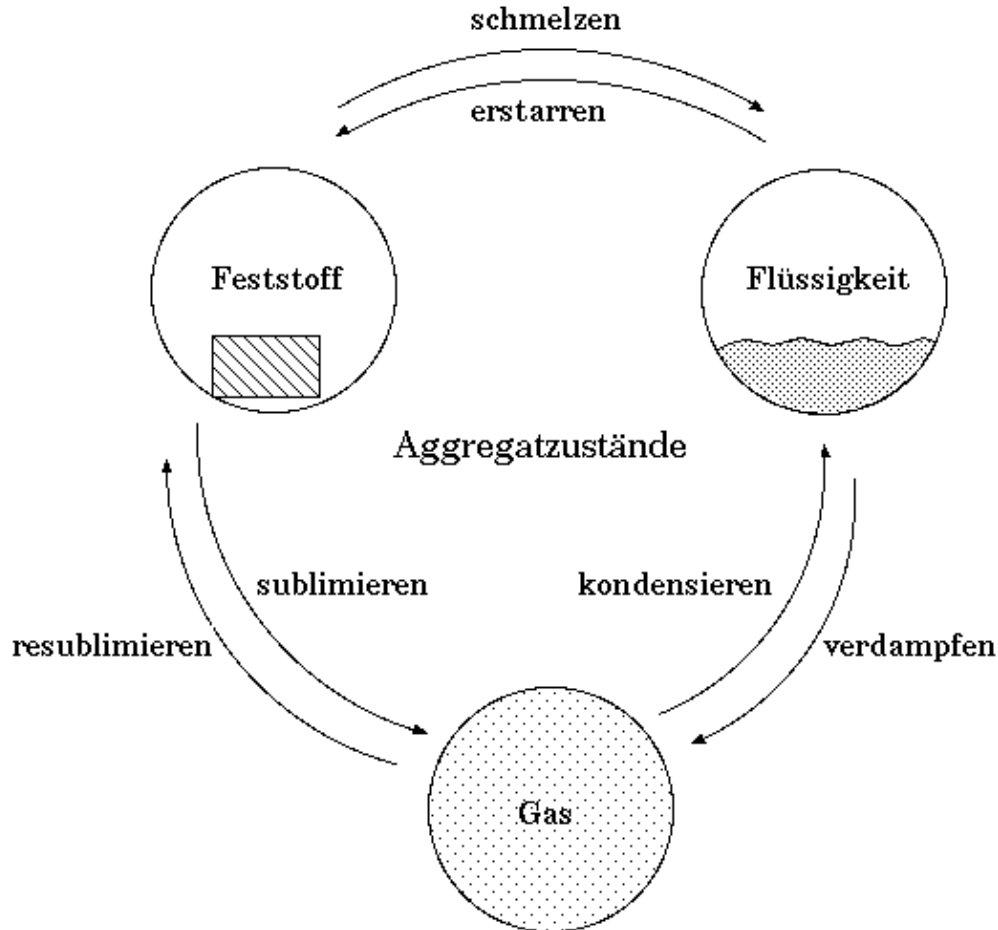
 - ◆ [Dieses Referat als PDF-File](#)
 - ◆ -
 - ◆ [Elektrotechnik, Regelungstechnik \(Referate/Schaltungen/Datenblätter/etc\)](#)
 - ◆ [Referate, Referate, Referate](#)
 - ◆ [Meine Programme: Blacky2000](#)
 - ◆ -
 - ◆ [... dieser Text unterliegt der GPL](#)
 - ◆ -
 - ◆ [Die Meisten Zeichnungen als TGif-File](#)
 - ◆ [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgaben des Pt100-Graphen unter 0°C](#)
 - ◆ [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgaben des Pt100-Graphen über 0°C](#)

Was ist Temperatur?

Temperatur kann als Bewegung von Teilchen beschrieben werden. Je heftiger die Atome eines Materials schwingen, desto wärmer ist es. Dies wird zum Beispiel durch elektrischen Strom hervorgerufen. Die Elektronen, die Ladungsträger des elektrisch Stromes, stoßen gegen die Atome des Leiters, bringen diese so zum schwingen, der Leiter erwärmt sich.

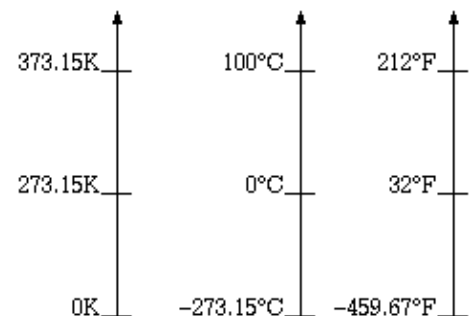
Die Bewegungsfreiheit der Atome in festen Materialien ist jedoch extrem eingeschränkt. Aus diesem Grund geht der feste Zustand eines Materials bei einer gewissen Temperatur in den flüssigen Zustand über. So haben die Atome mehr Bewegungsfreiheit. Diesen Vorgang nennt man schmelzen. Bei Wasser geschieht dies bei 0°C. Wird das Material noch weiter erwärmt, so reicht die Bewegungsfreiheit der Atome abermals nicht aus, das Material verdampft, es wird zu einem Gas. Wasser tut dies bei 100°C. Wird das Material wieder abgekühlt, so kehrt es zuerst in den flüssigen und danach in den festen Zustand zurück. Jeweils bei der selben Temperatur wie bei dem erwärmen. Unter gewissen Umständen können Materialien auch direkt vom Festen in den gasförmigen Zustand, und umgekehrt, übergehen. Dies nennt man dann sublimieren bzw. resublimieren.

Die Temperaturen, bei welchen sich die Aggregatzustände sich ändern, gelten bei dem Normdruck von 1013mbar.



Wie wird Temperatur Ausgedrückt?

Was Temperatur ist wissen wir jetzt, aber wie drücken wir dies aus?
Dazu gibt es mehrere Maßeinheiten:



- Kelvin:
Die lineare Temperatur-Skala bezieht sich auf den absoluten Nullpunkt. 0K heißt also keine Bewegung. Dieser Temperaturnullpunkt kann wahrscheinlich nie ganz erreicht werden, da dazu eine unvorstellbare Energiemenge notwendig wäre. Kelvin ist die in der Technik am meisten verwendete Einheit.
- Celsius:
Die Celsius-Skala orientiert sich am Wasser. 0°C entspricht dem Schmelzpunkt und 100°C dem Siedepunkt des Wassers. Die Einteilung die Skala ist linear und identisch mit der Kelvin-Skala. Eine

Temperaturdifferenz von 1°C entspricht also 1K. Allerdings ist die Skala um 273,15 nach Verschieben. Also entsprechen 0°C 273,15K. Die Umrechnung ist deshalb ganz einfach: $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$

- Fahrenheit:

Die Fahrenheit-Skala ist an das Menschliche empfinden angepaßt. Sie Bezieht sich auf den "Wohlfühlpunkt". Umgerechnet wird wie folgt: $^{\circ}\text{F} = 9/5 * ^{\circ}\text{C} + 32$ oder $^{\circ}\text{F} = 9/5 * (\text{k} - 273,15) + 32$.

Wie wird Temperatur gemessen?

Alkohol- und Pentanthermometer (mißt von etwa -200°C bis 100°C) Quecksilberthermometer (mißt von -50 bis 800°C)

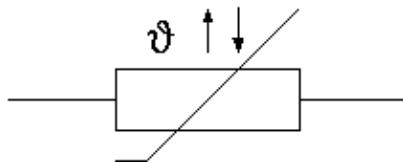
Zur Messung von Temperatur macht man sich die Hitzeausdehnung von Stoffen zu nutze. Besonders gut geeignet sind Stoffe, welche sich mit der Temperaturerhöhung linear ausdehnen, wie zum Beispiel Quecksilber oder Alkohol. Die Flüssigkeit wird in einem kleinem Behälter aufbewahrt, in welchem eine Kapillarröhre mündet. Welche mit einer Skala versehen, das Volumen des Stoffen und somit die Temperatur anzeigt.



Widerstandsthermometer (mißt von -200°C bis $+600^{\circ}\text{C}$)

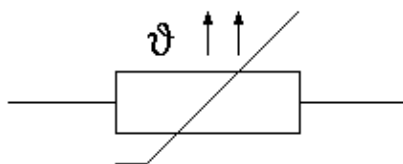
Zur elektronischen Erfassung von Temperaturen bedient man sich unter anderem der Widerstandsabhängigkeit von Leitern. Ein guter Leiter sollte selbstverständlich möglichst Temperaturunabhängig sein, aber ganz läßt sich das nicht vermeiden. Besonders gut zur Temperaturmessung eignen sich jene Leiter, welche ihren Widerstand möglichst linear mit der Temperatur ändern. Zum Beispiel Platin (Pt) oder Nickel (Ni). Man unterscheidet bei den Widerstandsthermometern zwischen NTCs und PTCs.

NTC



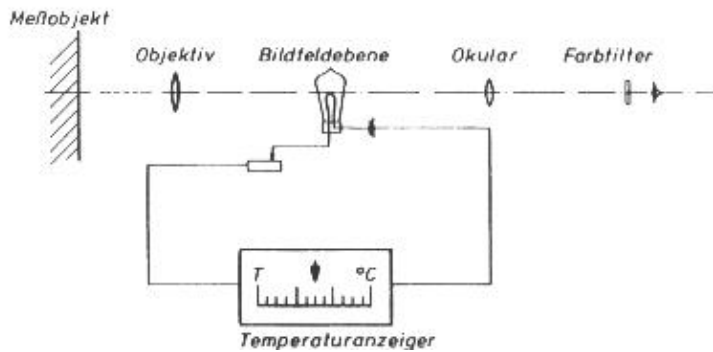
Die NTC (negative Temperatur coefficient), auch als Heißeleiter bezeichnet, leiten, wie ihr Name vermuten lässt, um so besser je heißer sie werden. Ihr Widerstand steigt also mit sinkenden Temperatur.

PTC



Die PTC (positive temperatur coefficient), auch als Kaltleiter bezeichnet, leiten um so besser, je kälter sie werden. Ihr Widerstand steigt also mit steigender Temperatur. Zu den PTCs gehört auch der [Pt100](#), auf den ich später genauer eingehe.

Strahlungs-pyrometer (mißt von 500 °C bis 3000 °C)



Das Glühfadenpyrometer: Bei dieser Form der Temperaturmessung macht man sich den Umstand zu nutze, dass Stoffe bei gewissen Temperaturen glühen, also Strahlung aussenden. Die Farbe, mit welcher ein Stoff glüht, hängt von der Temperatur ab. Um nun die Temperatur zu messen, sieht man durch ein Rohr, in welches eine Glühlampe eingebaut ist, auf den glühenden Stoff. Der Strom, welcher durch die Glühwendel der Lampe fließt, kann variiert werden. So kann man die

Glüh-temperatur der Lampe bestimmen. Hat man die gleiche Glüh-temperatur wie der Stoff, so wird der Glüh-faden unsichtbar, da er mit der selben Farbe glüht. Der Strom, der durch die Lampe fließt, wird durch eine geeichte Skala angezeigt. Man kann dann die Temperatur ablesen. Zu erwehnen ist noch, dass es einen kleinen Fehler bei der Messung gibt. Denn die Farbe mit der ein Stoff strahlt hängt von seiner ursprünglichen Farbe ab. Es muß also ein Abgleich zu einem "Schwarzem Strahler" hergestellt werden. Schwartzte Oberflächen nehmen besser Temperatur auf, und geben sie besser ab als weiße.

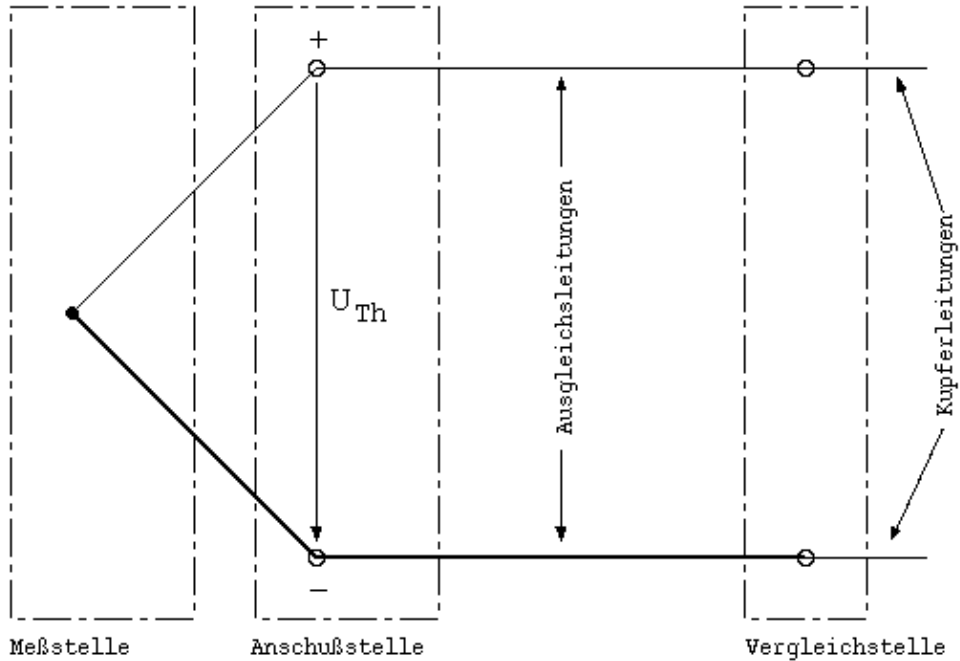
Thermoelemente (mißt von -200°C bis 1500°C)

Sie basieren auf der Thermospannung, welche entsteht, wenn zwei verschiedene Materialien (Metalle) mit verschiedenen Temperaturen aufeinandertreffen. Die Elektronen suchen sich den, für sie am günstigsten, Leiter aus. Es findet eine Ladungstrennung statt, und es entsteht eine Thermospannung. Dieses Prinzip kann auch umgekehrt werden: Ein Peltierelement wird mit Hilfe des elektrischen Stromes auf der einen Seite heiß und auf der anderen kalt. In diesem Fall findet eine "Temperaturtrennung" statt. Es folgen einige Beispiele für Thermoelemente:

Materiealnamen	kurz Bezeichnung	Typ	Thermospannung bei 20°C Temperaturdifferenz in mV	Thermospannung bei 400°C Temperaturdifferenz in mV
Kupfer – Kupfer Nickel	Cu–CuNi	T	0,79	20,87
Eisen – Kupfer Nickel	Fe–CuNi	J	1,02	21,85
Nickel – Chrom Nickel	Ni–CrNi	K	0,8	16,4
Kupfer Nickel – Chrom Nickel	CuNi–CrNi	E	1,19	28,94

Es wird immer die Differenztemperatur zwischen Meßstelle (Verbindung der beiden Materialien) und Vergleichsstelle (Verbindung der Meßmaterialien mit Normal–Leitung) gemessen. Da nur die Thermo–Spannung gemessen wird, fließt ein vernachlässigbar kleiner Strom, also kann der Widerstand der Meßleitungen (in gewissen Grenzen) egal sein. Da eine Thermospannung NUR an Materialübergängen entsteht, findet keine Verfälschung des Meßwertes durch Temperaturunterschiede an der Meßleitung statt. Die Ausgleichsleitungen (Leitungen zum Meßumformer) MÜSSEN aus dem selben Material sein, wie an der Meßstelle!

Beispiel für ein Thermoelement:



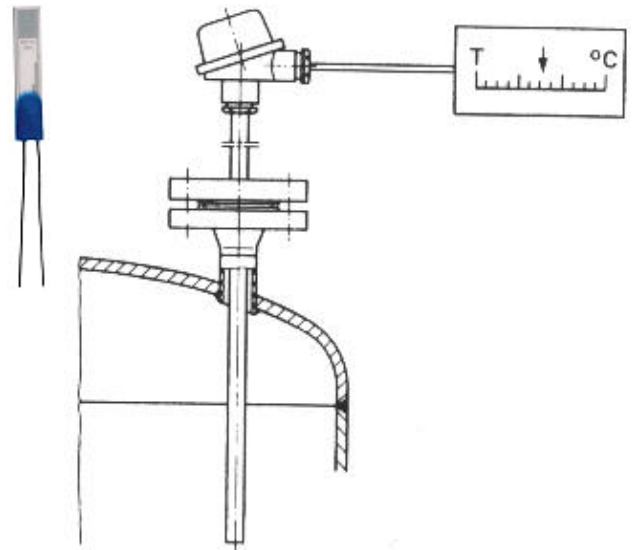
Verschiedene Metalle sind an der Meßstelle zusammengeschweißt oder -gelötet

Der Pt100



Was heist Pt100?

Pt steht für das Material, aus dem der Meßwiderstand ist. Pt: Platin, Ni: Nickel. 100 steht für den Widerstandswert in Ohm, welchen der Meßwiderstand bei 0°C annimmt.



Die Werte des Pt100

[Temperatur-Widerstandswerte-Tabelle und Graphen zum Pt100](#)



Umrechnung der verschiedenen Temperatureinheiten und Pt100–Widerstandswerte

Hier die Formel zum Umrechnen der Temperatur (°C) in den Pt100–Widerstandswert für Temperaturen größer, gleich Null

R ist der Widerstandswert des Pt100 und a die Temperatur in °C:

$$R = -5.802 * 10^{-5} * \vartheta^2 + 3.90802 * 10^{-1} * \vartheta + 100$$

Und hier für Temperaturen kleiner Null:

$$R = -4.2735 * 10^{-10} * (\vartheta - 100) * \vartheta^3 - 5.802 * 10^{-5} * \vartheta^2 + 3.90802 * 10^{-1} * \vartheta + 100$$

Um vom Widerstandswert auf die Temperatur zu kommen, braucht man folgende Gleichung:

Für Temperaturen größer, gleich Null.

$$\vartheta = \frac{3.90802 * 10^{-1}}{2 * 5.802 * 10^{-5}} - \sqrt{\frac{(3.90802 * 10^{-1})^2}{4 * (5.802 * 10^{-5})^2} - \frac{R - 100}{5.802 * 10^{-5}}}$$

Wendet man diese Formel für Temperaturen unter 0°C an, so kommt es zu Abweichungen, welche größer werden, je weiter man sich von 0°C entfernt. Für 18.49Ohm wird zum Beispiel –202.5°C statt –200°C ausgegeben. (Dieses Problem gibt es auch bei der vollgenden Umrechnung, wenn man einen Widerstandswert eingibt und die Temperatur ausrechnen lässt.) Wenn jemand die Unter–0°C–Formel umgestellt hat, sendet mir diese bitte. Danke.

EINGABE: °C K °F Ohm–Wert eines Pt100

°C

K

°F

Ohm (für Pt100)

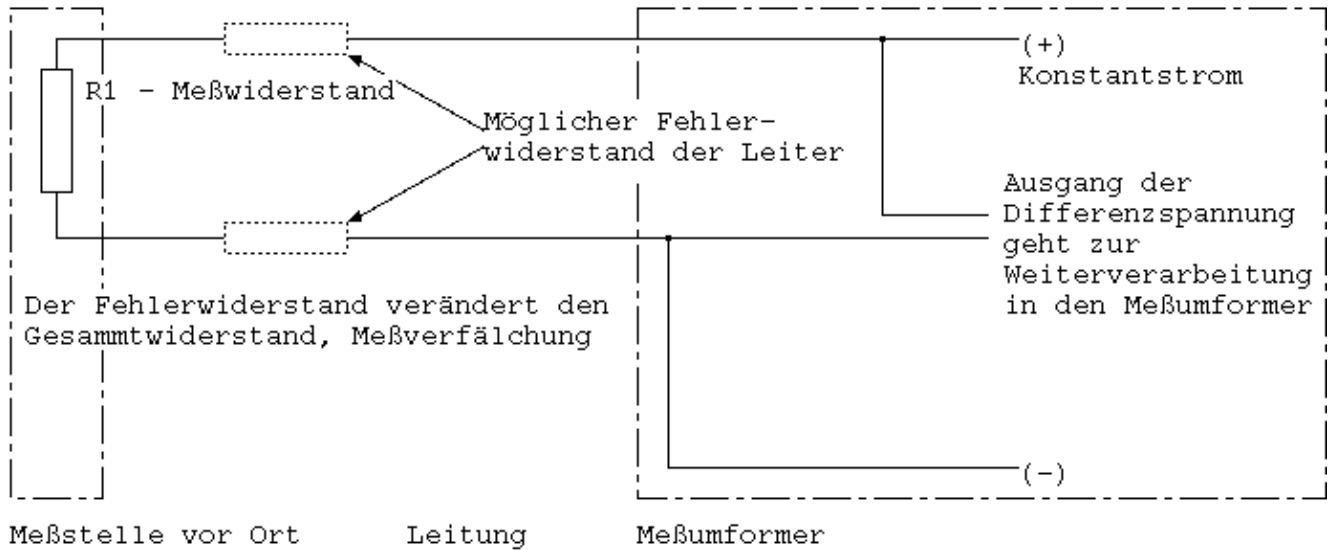
Ein Problem in der Meßtechnik ist, dass der Meßumformer, das Gerät welches den Widerstandswert des Pt100 mißt und auswertet, oft nicht direkt an der Meßstell ist. Die Meßleitungen können also schon mal länger werden. Um die Meßverfälschung zu minimieren, hat man sich folgendes einfallen lassen:

Die Zweileitermeßschaltung

Wie der Name vermuten lässt, arbeitet die Zweileitermeßschaltung mit zwei Meßleitungen. Es wird eine Widerstandsmessung durchgeführt, in dem zum Beispiel, ein konstanter Strom durch die Schaltung geschickt wird, und der Spannungsabfall ein Maß für die Temperatur ist. Leider ist der Meßfehler ziemlich groß, da man den Widerstand der Leitungen mitmißt. Man braucht also Kompensationsverfahren. Zum Beispiel: Den Widerstand der Meßleitungen einfach abziehen. Dies ist allerdings Nachteilhaft, da sich der Widerstand der Meßleitungen selber verändern kann und des ewige ausmessen dieses Widerstandes ziemlich aufwendig ist.

Temperaturmessung mit dem Pt100

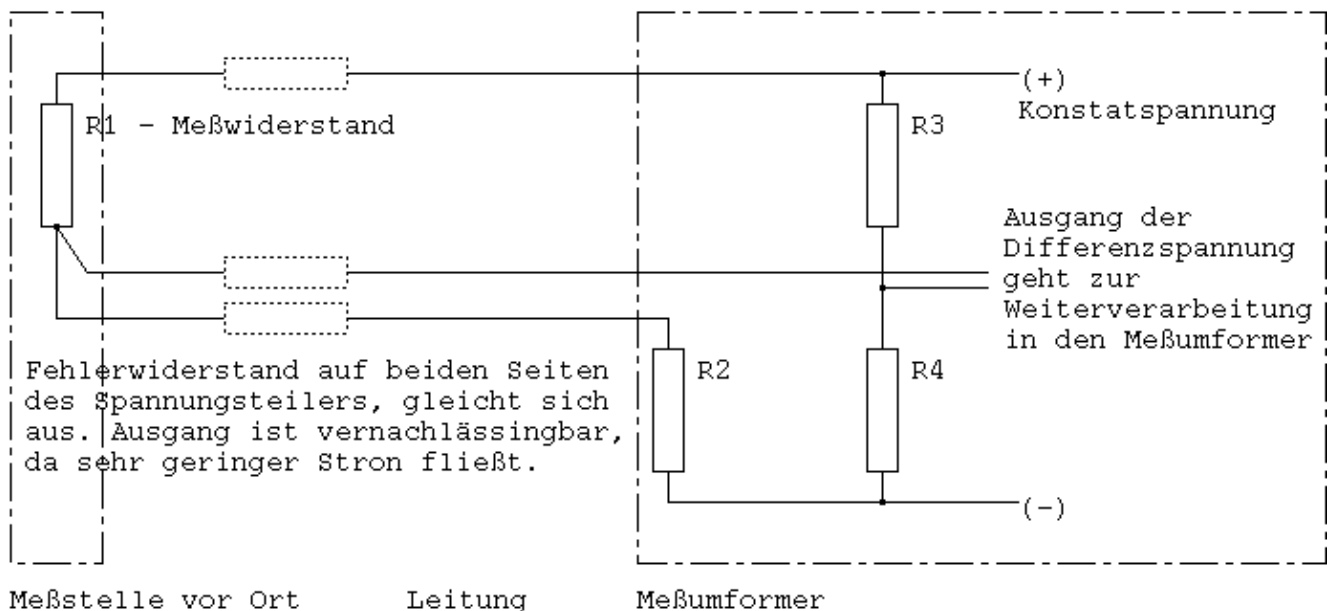
Zweileiterschaltung



Die Dreileitermeßschaltung

Bei der Dreileitermeßschaltung werden drei Leitungen zum Meßwiderstand gebraucht. Der Meßwiderstand ist diesmal in eine Brückenschaltung eingebaut. Also zwei Spannungsteiler. Der Erste ist im Meßumformer (R3 und R4). Der Zweite ist nur zur Hälfte im Meßumformer, denn der erste Widerstand dieses Spannungsteilers (R1) ist der Pt100. Der Strom fließt also durch erste Leitung zum Pt100 (R1), dann durch diesen, und über die dritte Leitung zurück in den Meßumformer. Zu guter letzt noch über den zweiten Widerstand (R2). Da die Widerstände der beiden Leiter gleich sind, und diese auf beiden Seiten des Spannungsteilers wirken, heben sie sich auf. Die zweite Leitung wird verwendet um die Spannung am Pt100 abzugreifen. Da durch diesen Leiter ein vernachlässigbar kleiner Strom fließt, kann dessen Widerstand vernachlässigt werden. Diese Art der Messung ist schon genauer als die Zweileitermeßschaltung, da eine Leitungswiderstadskompensation automatisch durchgeführt wird.

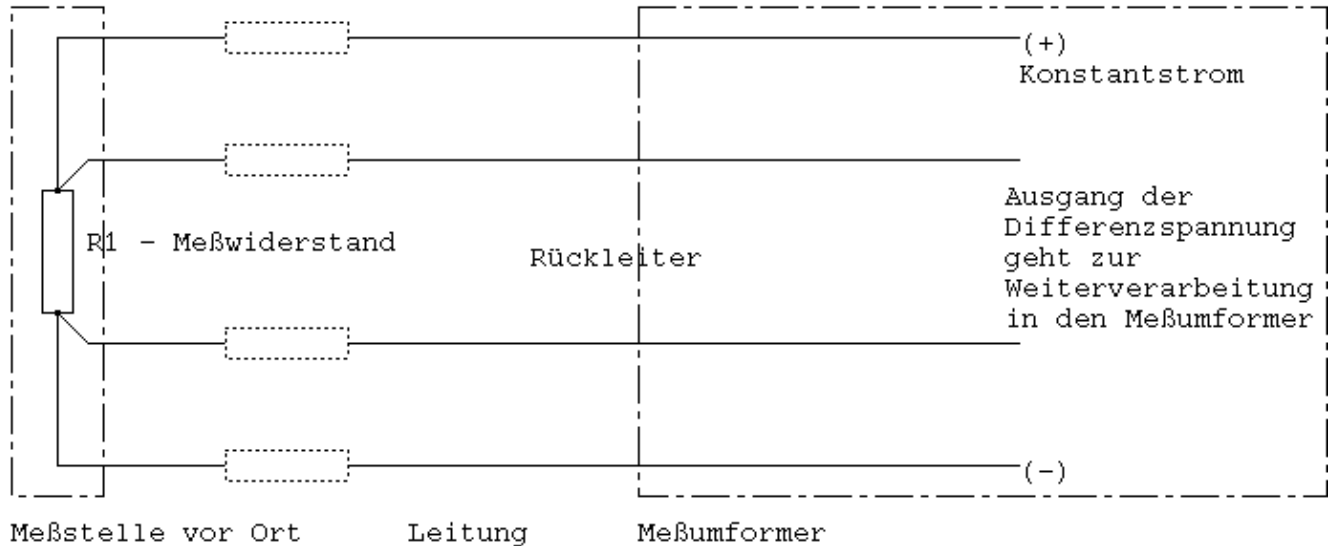
Dreileiterschaltung



Die Vierleitermeßschaltung

In der Vierleitermeßschaltung werden zwei der vier Leitungen verwendet, um einen konstanten Strom durch den Pt100 zu schicken. Mit Hilfe der anderen beiden Leitungen wird die Spannung am Pt100 abgegriffen. Der Widerstand der Zuleitungen ist, in gewissen Grenzen, egal, da es sich um eine Konstantstromquelle handelt. Da über die beiden Meßleitungen nur die Spannung am Pt100 gemessen wird, fließt über diese ein vernachlässigbar kleiner Strom. Das heißt, ein vernachlässigbar kleiner Spannungsabfall an den Meßleitungen, so gut wie keine Meßverfälschung.

Vierleiterschaltung



Der Strom wird konstant gehalten, wodurch die Vorwiderstände ziemlich egal sind. Über die Rückleitung fließt nur ein sehr geringer Strom, also kann man deren Widerstände vernachlässigen.

Siehe auch / Sonstiges:

- [Verständnisfragen zum Referat](#)
- [Dieses Referat als HTML.ZIP-File](#)
- [Dieses Referat als PDF-File](#)
- -
- [Elektrotechnik, Regelungstechnik \(Referate/Schaltungen/Datenblätter/etc\)](#)
- [Referate, Referate, Referate](#)
- [Meine Programme: Blacky2000](#)
- -
- [... dieser Text unterliegt der GPL](#)
- -
- [Die Meisten Zeichnungen als Tgif-File](#)
- [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgeben des Pt100-Graphen unter 0°C](#)
- [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgeben des Pt100-Graphen über 0°C](#)

Inhalt	Blacky	Linux	eTechnik	Links	AV.de.vu
neuer Link	Andreas Hofmeier			Anmerkung	

Adresse		Kommentar
-------------------------	--	---------------------------

Originalseite: [http://www.An-H.de\[.vu\]/pt100/index.html](http://www.An-H.de[.vu]/pt100/index.html)
[http\[s\]://www.lgut.uni-bremen.de/an-h/pt100/index.html](http[s]://www.lgut.uni-bremen.de/an-h/pt100/index.html)

Last modified: Thu Apr 17 09:29:37 CEST 2003