

Temperaturmessung mit dem Pt100

Andreas Hofmeier



Zu der Erkenntnis, dass Sprache wichtig ist, gelangte ich erst recht spät. Daher bitte ich um Verständnis, was einige Fehler angeht, und hoffe, dass meine alten Arbeiten trotzdem den einem oder anderen nützen.

[Like to be free? ... then: Fight for Freedom](#)

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](#)
 - [Komplettes Referat als ZIP-File](#)
 - [Dieses Referat als PDF-File](#)
 - [Tabelle zum Umrechnen Openoffice \(sxc\) \(xls\)](#)
 - -
 - [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-Kennlinie unter 0°C](#)
 - [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgaben des Pt100-Kennlinie über 0°C](#)

Was ist Temperatur?

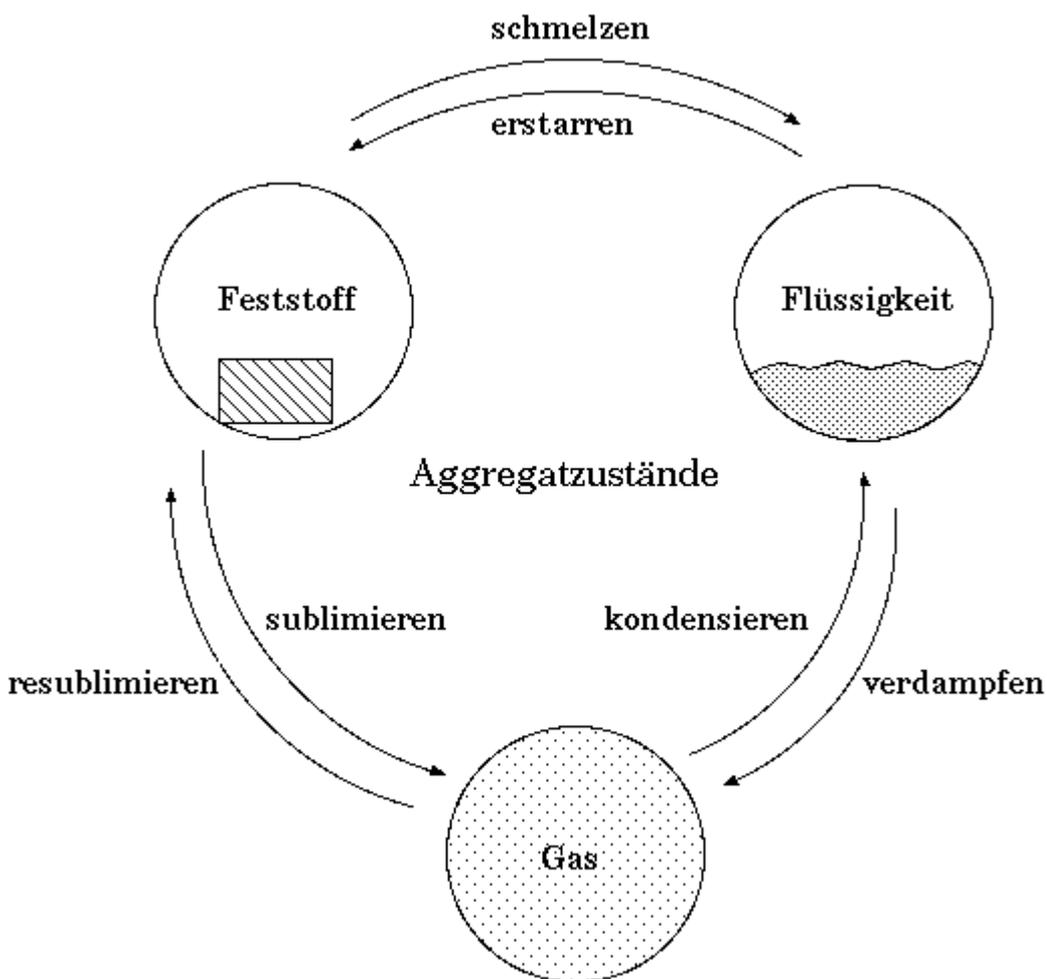
Temperatur kann als Bewegung von Teilchen beschrieben werden. Je heftiger die Atome eines Materials Schwingen, desto wärmer ist es. Dies wird zum Beispiel durch elektrischen Strom

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, in welchem die Atome mehr Bewegungsfreiheit haben. 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. Wasser (im flüssigen Zustand) kann nicht über 100°C erhitzt werden (unter normalen Bedingungen, um ca. 1013 mbar). Alle zusätzlich hineingepumpte Energie, wird zum Wechsel des Aggregatzustandes verwendet. Dies gilt ebenfalls für das Schmelzen.

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.

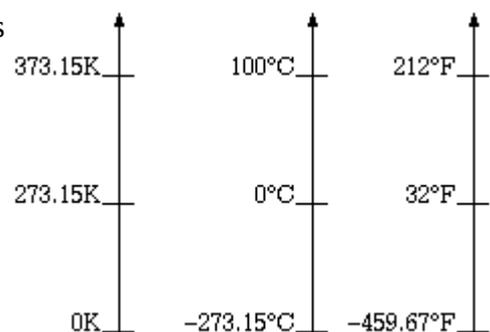
Die Temperaturen, bei welchen sich die Aggregatzustände ändern, gelten bei dem Normdruck von 1013mbar.



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 große 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 der 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. Daher ist die Formel für die Umrechnung: $K = °C + 273,15$
- Fahrenheit:
Die Fahrenheit-Skala ist an das menschliche Empfinden angepasst. Sie bezieht sich auf den "Wohlfühlpunkt". Umgerechnet wird wie folgt: $°F = 9/5 * °C + 32$ oder $°F = 9/5 * (K - 273,15) + 32$.

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. Diese Kapillarröhre ist mit einer Skala versehen, welche das Volumen des Stoffes und somit die Temperatur anzeigt.

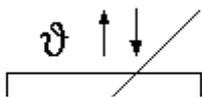


Widerstandsthermometer (misst von -200 °C bis +600 °C)

Zur elektronischen Erfassung von Temperaturen bedient man sich unter anderem der Widerstandsabhängigkeit von Leitern. Ein guter Leiter sollte selbstverständlich möglichst temperaturunabhängig sein, was aber nie ganz der Fall ist. Besonders gut zur Temperaturmessung eignen sich jene Leiter, welche ihren Widerstand möglichst linear mit der Temperatur ändern. Zum Beispiel Platin (Pt) oder Nickel (Ni).

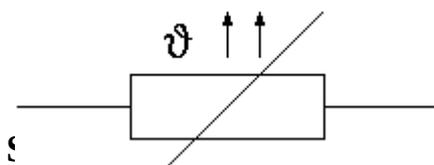
Man unterscheidet bei den Widerstandsthermometern zwischen NTCs und PTCs:

NTC



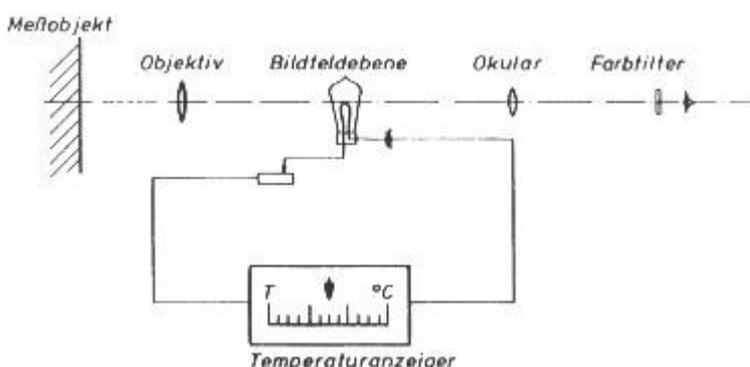
Die NTC (negative temperature coefficient), auch als Heißleiter bezeichnet, leiten, wie ihr Name vermuten lässt, um so besser je heißer sie werden. Ihr Widerstand steigt also mit sinkenden Temperatur.

PTC



Die PTC (positive temperature 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 eingehen werde

(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 seiner 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 ist es möglich die Glühtemperatur der Lampe einzustellen und zu bestimmen. Hat die Glühwendel die gleiche Temperatur wie der Stoff, so wird diese unsichtbar, da sie mit der selben Farbe glüht. Der Strom, der durch die Lampe fließt, wird durch eine geeichte Skala angezeigt. Die Temperatur kann abgelesen werden. Zu erwähnen ist noch, dass es einen kleinen Fehler bei der Messung gibt. Denn die Farbe mit der ein Stoff strahlt zusätzlich von seiner ursprünglichen Farbe abhängt. Es muss also ein Abgleich zu einem "Schwarzem Strahler" hergestellt werden. Schwarze Oberflächen nehmen besser Temperatur auf, und geben sie besser ab als weiße.

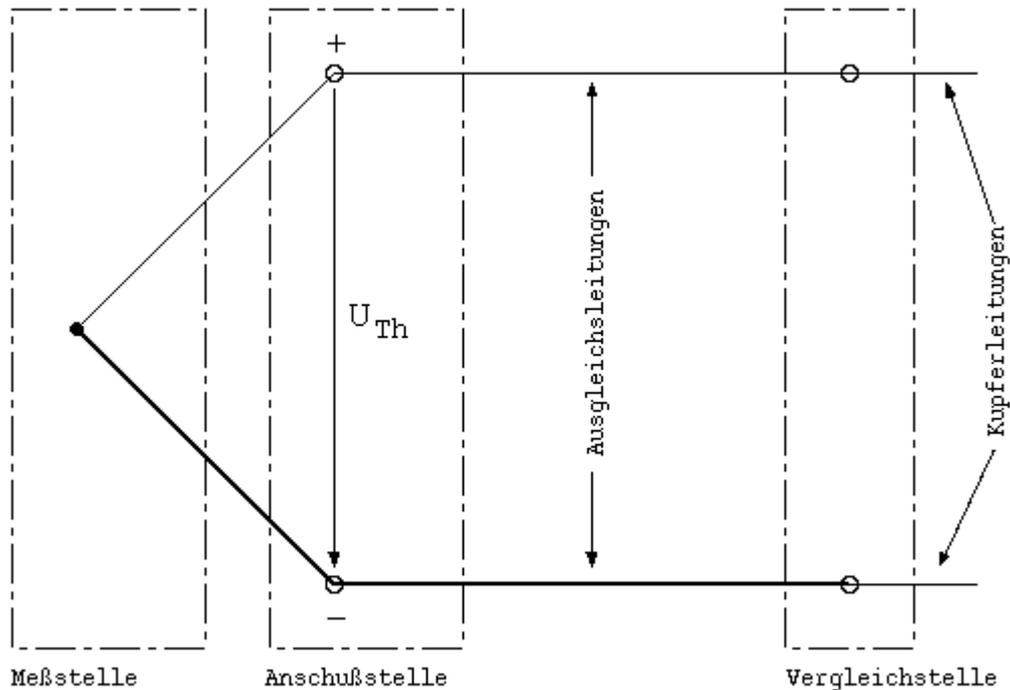
Thermoelemente (misst von -200°C bis 1500°C)

Sie basieren auf der Thermospannung, welche entsteht, wenn zwei verschiedene Materialien (Metalle) aufeinandertreffen und dieser "Treffpunkt" einer, von der Vergleichsstelle (weiterer Materialübergang) verschiedenen, Temperatur ausgesetzt ist. Die Elektronen suchen sich den, für sie am günstigsten, Leiter aus. Es findet eine Ladungstrennung statt, 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:

Materialnamen	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 Thermospannung gemessen wird, fließt ein vernachlässigbar geringer Strom, also kann der Widerstand der Messleitungen (in gewissen Grenzen) vernachlässigt werden. 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 heißt 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 Kennlinie zum Pt100](#)

Umrechnung der verschiedenen Temperatureinheiten und Pt100-Widerstandswerte

Tabelle zum Umrechnen [Openoffice \(sxc\)](#) ([xls](#))

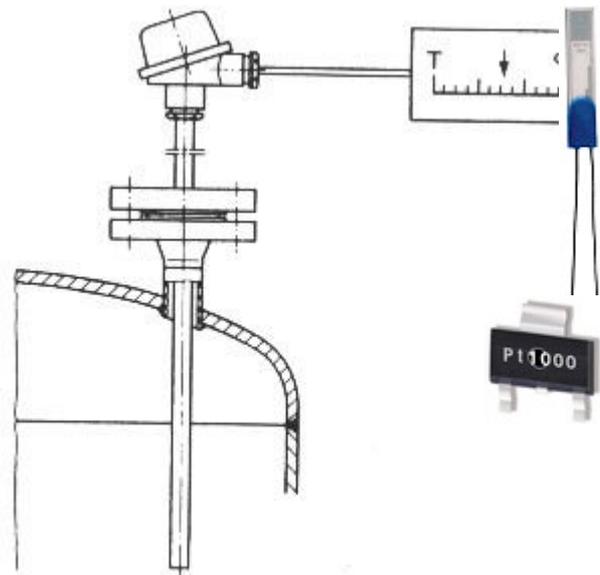
Hier die Formeln zum Umrechnen zwischen Temperatur (°C) und Pt100-Widerstandswert. R stellt den Widerstandswert des Pt100 und ϑ die Temperatur in °C da.

Von Temperaturen größer, gleich Null zum Pt100-Widerstandswert:

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

... für Temperaturen kleiner Null:

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



Um vom Widerstandswert auf die Temperatur zu kommen, braucht man folgende Gleichung:
Für Temperaturen größer, gleich Null.

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

Und hier für Temperaturen kleiner Null, oder besser für Widerstände kleiner 100 Ohm:

$$\vartheta = 1.597 \cdot 10^{-10} \cdot R^5 - 2.951 \cdot 10^{-8} \cdot R^4 - 4.784 \cdot 10^{-6} \cdot R^3 + 2.613 \cdot 10^{-3} \cdot R^2 + 2.219 \cdot R - 241.9$$

Vielen Dank an Daniel Schultheiß und Jürgen Grusdat für das Erstellen und Zusenden dieser Näherungsfunktion.

EINGABE: °C K °F Ohm-Wert eines Pt100

Rechne um

°C

K

°F

Ohm (für Pt100)

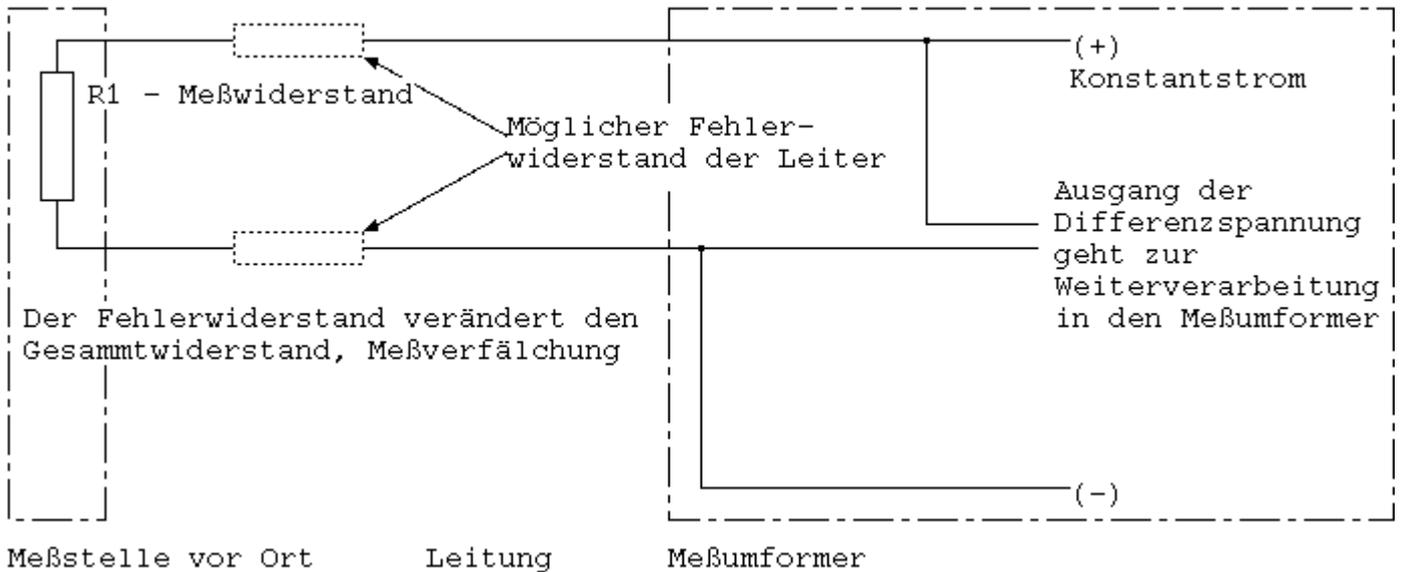
Die Messschaltungen

Ein Problem in der Messtechnik ist, dass der Messumformer, das Gerät welches den Widerstandswert des Pt100 misst und auswertet, sich oftmals nicht direkt an der Messstelle befindet. 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 ein konstanter Strom durch die Schaltung geschickt wird. Der Spannungsabfall ist ein Maß für die Temperatur. Leider ist der Messfehler ziemlich groß, da der Widerstand der Leitungen mitgemessen wird. Man braucht also Kompensationsverfahren. Zum Beispiel: Den Widerstand der Messleitungen abziehen. Dies ist allerdings Nachteilhaft, da sich der Widerstand der Messleitungen selber verändern kann und das ausmessen dieses Widerstandes ziemlich aufwendig ist. Es müsste ja bei jeder Installation durchgeführt werden.

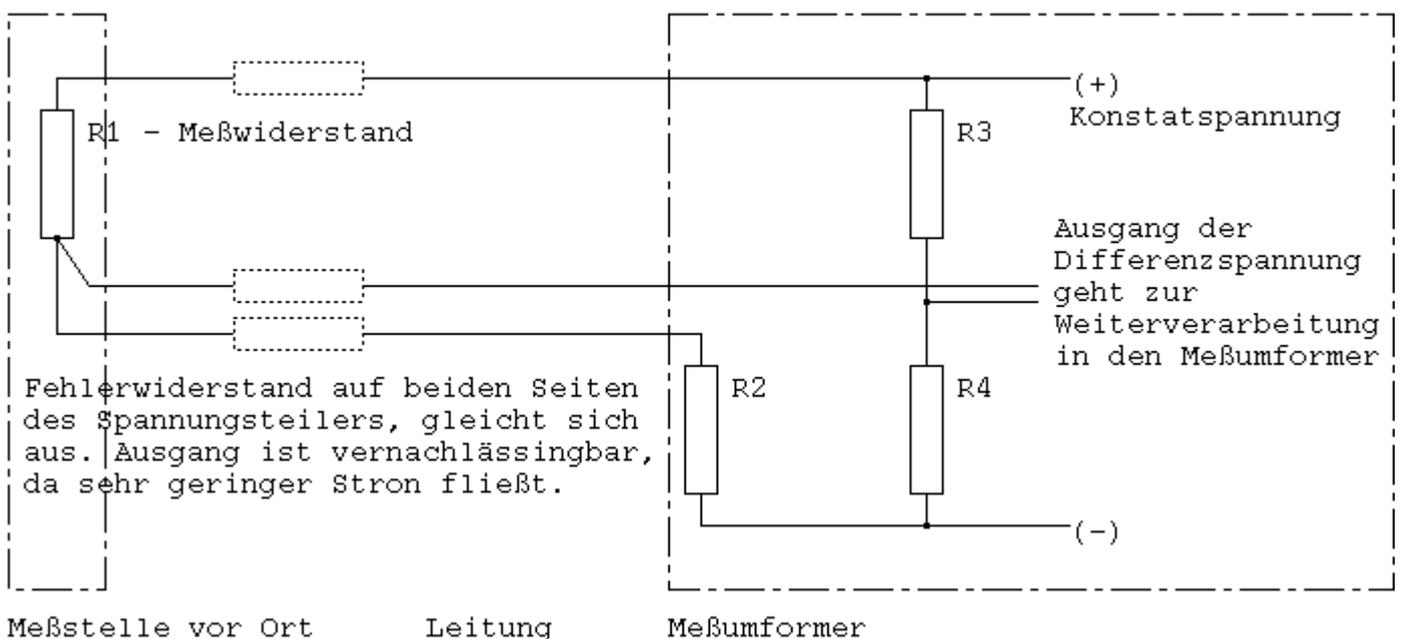
Zweileiterschaltung



Die Dreileitermessschaltung

Die Dreileitermessschaltung benötigt drei Leitungen zum Messwiderstand. 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 gegenseitig 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 erheblich genauer als die Zweileitermessschaltung, da eine Leitungswiderstandskompensation automatisch durchgeführt wird.

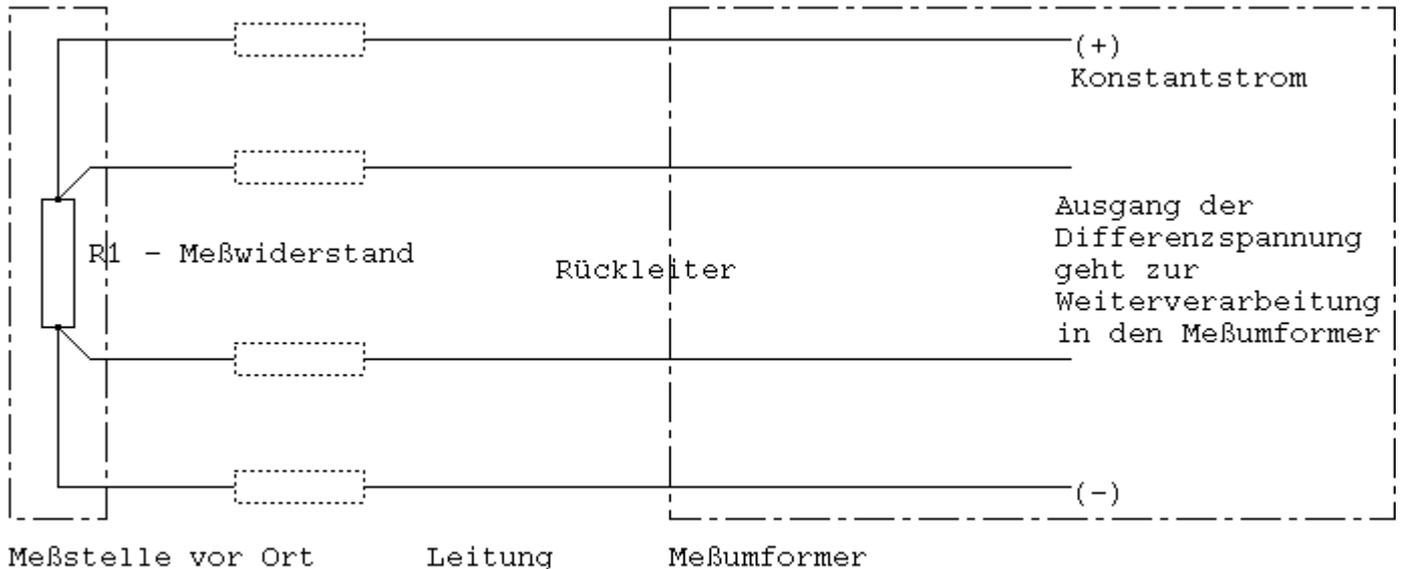
Dreileiterschaltung



Die Vierleiterschaltung

In der Vierleiterschaltung 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](#)
- [Komplettes Referat als ZIP-File](#)
- [Dieses Referat als PDF-File](#)
- [Tabelle zum Umrechnen Openoffice \(sxc\) \(xls\)](#)
- -
- [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-Kennlinie unter 0°C](#)
- [Anweisungsdatei für gnuplot zum Ausgeben des Pt100-Kennlinie über 0°C](#)

(Andreas Hofmeier; 2001) Last modified: Wed Aug 30 15:45:14 CEST 2006



(c) Andreas B. M. Hofmeier

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0 Germany License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/)