

BWB	Fach: Werkstoffkunde	Thema: Widerstandswerkstoffe	Beruf: AU2
------------	--------------------------------	----------------------------------------	----------------------

Einleitung

Die in der Elektrotechnik am weitesten verbreiteten Bauelemente sind die **Widerstände**.

- In der Energietechnik werden Widerstände hauptsächlich als Anlass- und Regelwiderstände für elektrische Maschinen und als Heizwiderstände in Warmgeräten verwendet.
- Widerstände werden als Bauelemente auf Printplatten verwendet. Ferner dienen sie zur Erweiterung des Messbereichs von elektrischen Messgeräten.
- Vorwiderstände zur Strombegrenzung von Dioden.
- Widerstände spielen in der Sensorik eine wichtige Rolle: DMS und Pt100.

So unterschiedlich der Einsatz der Widerstände ist, so verschieden sind auch die geforderten Parameter hinsichtlich ihres Verhaltens in elektrotechnischen Komponenten.

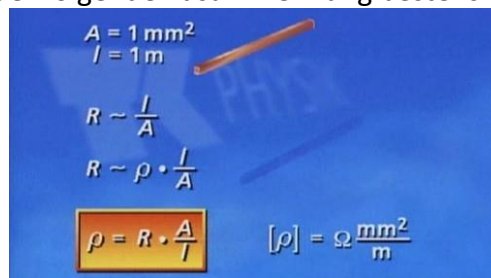
1. Grundbegriffe aus der Elektrotechnik

Widerstandswerkstoffe sollen im Gegensatz zu den Leiterwerkstoffen einen möglichst hohen spezifischen elektrischen Widerstand haben. Dadurch entstehen verschiedene Werkstoffe, wie z.B. Silber, Kupfer, Aluminium oder Kohle, die dem elektrischen Strom entgegenwirken und ihn hemmen.

Spezifischer elektrischer Widerstand

Der *spezifische elektrische Widerstand* ρ eines Werkstoffes ist der Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt bei einer Temperatur von 20°C.

Aus der Elektrotechnik ist der folgende Zusammenhang bestens bekannt:



$$A = 1 \text{ mm}^2$$

$$l = 1 \text{ m}$$

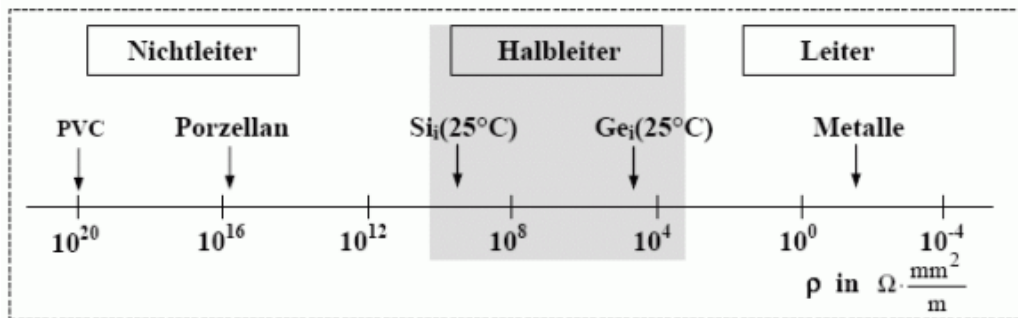
$$R \sim \frac{l}{A}$$

$$R \sim \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

$$[\rho] = \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Hier folgt nun eine Gegenüberstellung von Leitern-Halbleitern-Nichtleitern:



Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Der spezifische elektrische Widerstand von elektrischen Leitern ist im allgemeinen *temperaturabhängig*.

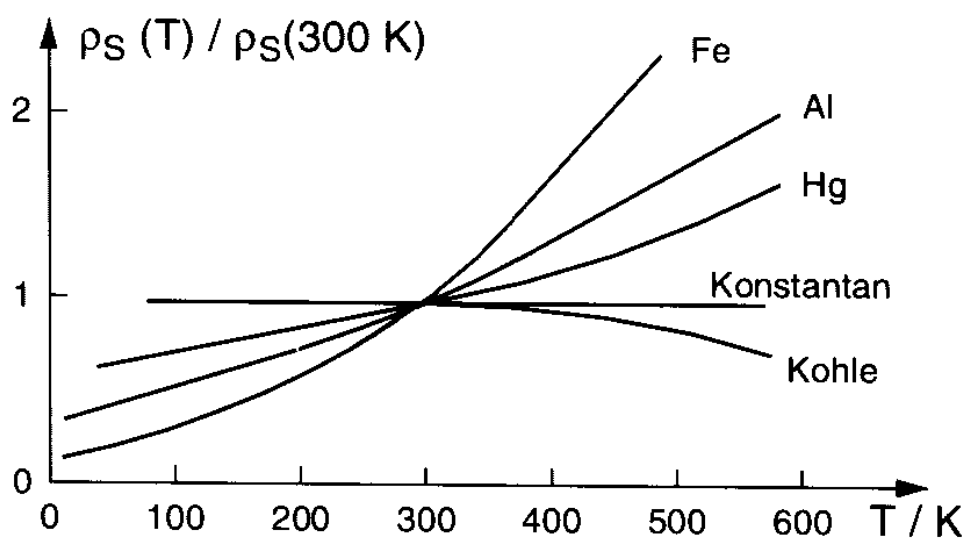
Die Temperaturabhängigkeit des spez. Widerstandes gehorcht näherungsweise folgender Formel:

$$\rho(T) = \rho(T_0) \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$$

α ist der Temperaturbeiwert mit $[\alpha] = 1/\text{K}$, $T_0 = 20^\circ\text{C}$

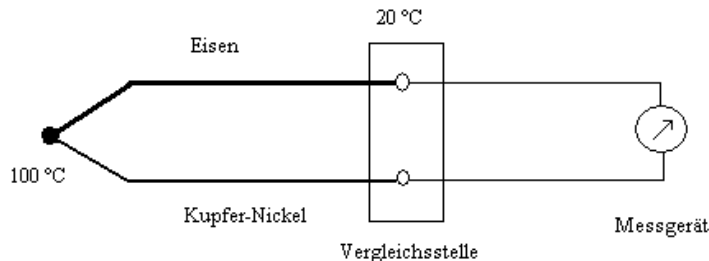
Der Temperaturbeiwert α gibt die Widerstandserhöhung eines Werkstoffes bei einer Temperaturerhöhung von 1 K (Kelvin) an.

Änderung des spezifischen Widerstandes in Abhängigkeit der Temperatur:



Thermospannung

Werden in einem Stromkreis unterschiedliche Metalle in Kontakt gebracht, so entsteht bei einer Temperaturdifferenz zwischen den Metallen bzw. zwischen einer Kontaktstelle und einer Vergleichsstelle eine Thermospannung. Ursache der Thermospannung ist die unterschiedliche Elektronendichte der kontaktierenden Metalle.



Thermospannungen werden zur Temperaturmessung mit Hilfe von Thermoelementen im Bereich von -200°C bis +3000°C technisch genutzt.

Thermospannungen können aber auch unerwünscht sein:

Thermospannungen sind z.B. an Kontakt- oder Lötstellen unerwünscht, weil dadurch Messergebnisse verfälscht werden. Widerstände für die Mess- und Regeltechnik sollten deshalb eine möglichst geringe Thermospannung gegen Kupfer haben.

2. Anforderungen an Widerstandswerkstoffe

Folgende Forderungen werden an gute Widerstandswerkstoffe gestellt:

- ausreichend hoher spezifischer elektrischer Widerstand,
- kleiner Temperaturbeiwert im Arbeitsbereich bei Festwiderständen
- grosser Temperaturbeiwert für Temperatursensoren
- gutes Langzeitverhalten der elektrischen Kennwerte,
- geringe Thermospannung mit anderen Werkstoffen,
- ausreichende Alterungsbeständigkeit des Widerstandswertes,
- ausreichende Warmfestigkeit und Verzunderungsbeständigkeit (→Heizleiterwerkstoff),
- hohe Korrosionsbeständigkeit (→Heizleiterwerkstoff),
- niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient,
- gute Verarbeitbarkeit, z.B. Löten, Schweißen,
- Genauigkeit der Widerstandswerte, z.B. Draht- und Kohleschichtwiderstände.

Es ist verständlich, dass alle diese Eigenschaften nicht von *einem* Werkstoff erbracht werden können; entsprechend den Parametern, die sich aus dem Verwendungszweck ergeben, muss eine optimale Materialauswahl erfolgen.

Grobübersicht:

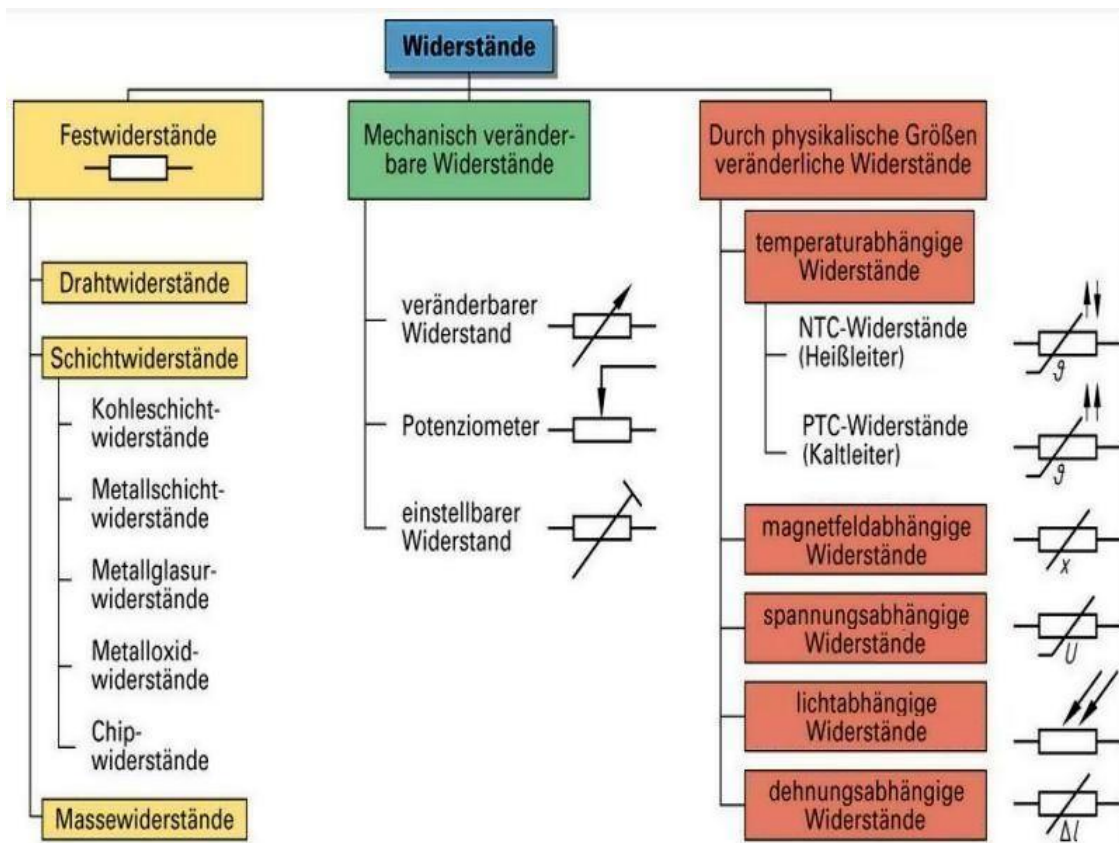


3. Technische Widerstände

Der Widerstand hat als Bauelement die Aufgabe, die Bewegung der Ladungsträger zu hemmen und somit dem elektrischen Stromfluss gezielt zu vermindern. Mit Widerständen können Ströme eingestellt oder begrenzt, Spannungen gemindert oder Teilspannungen gewonnen werden. Widerstände sind die meistverwendeten Bauelemente in der Elektrotechnik.

Der **technische Widerstand** ist ein elektrisches Bauelement, das einen Strom gezielt hemmt.

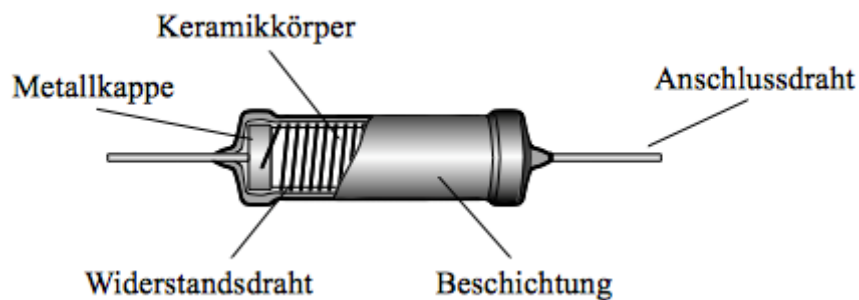
Hier folgt nun eine Feineinteilung der technischen Widerstände:



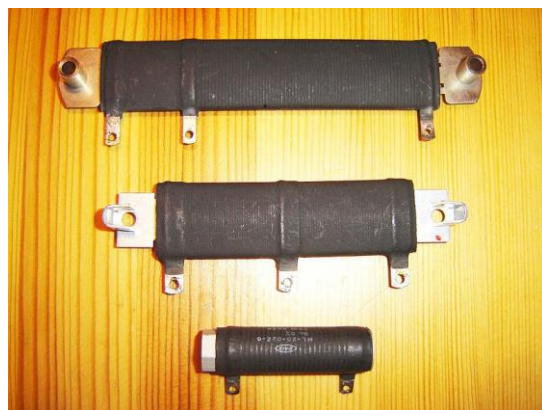
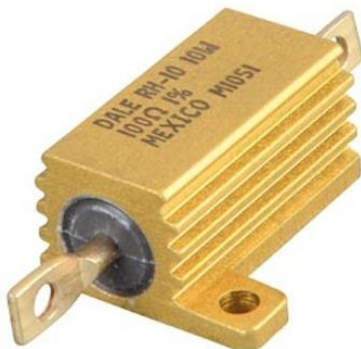
Festwiderstände

3.1 Drahtwiderstände

Aufbau eines Drahtwiderstandes:



Bei Drahtwiderständen wird der Widerstandswert durch einen Draht aus einer Metalllegierung (z.B. *Konstantan*) gebildet. Der Draht ist auf einem Trägerkörper (Keramik) aufgewickelt und mit Anschlüssen versehen. Zum Schutz der Widerstände ist eine Beschichtung aus Lack oder Glasur aufgebracht. Häufig verwendet man auch ein Gehäuse aus Metall oder Keramik:



3.2 Massewiderstände

Massewiderstände werden auch Kohlengemischwiderstände genannt. Sie bestehen aus einem *Kohle-Harz-Gemisch*. Die Grösse des Widerstandes wird durch den Gehalt des Kunstharzes bestimmt. Das Kohle-Harz-gemisch bestimmt auch die Masse.

Massewiderstände sind gut impulsbelastbar und weisen ein gutes Verhalten im HF-Bereich auf. Einsatzgebiet: Motorsteuerungen.

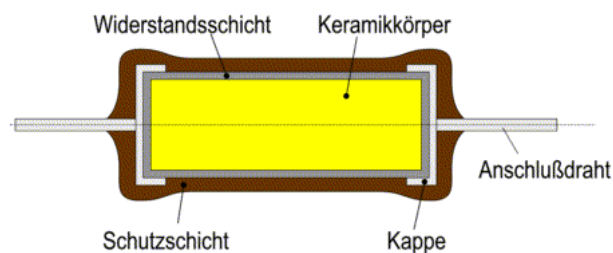
3.3 Schichtwiderstände

Bei Schichtwiderständen werden Widerstandswerkstoffe (Kohle, Metall oder Metalloxid) auf einen Trägerkörper aus Aluminiumoxid oder Keramik als Schicht aufgedampft.

Schichtdicke: 0,5 µm bis 50 µm

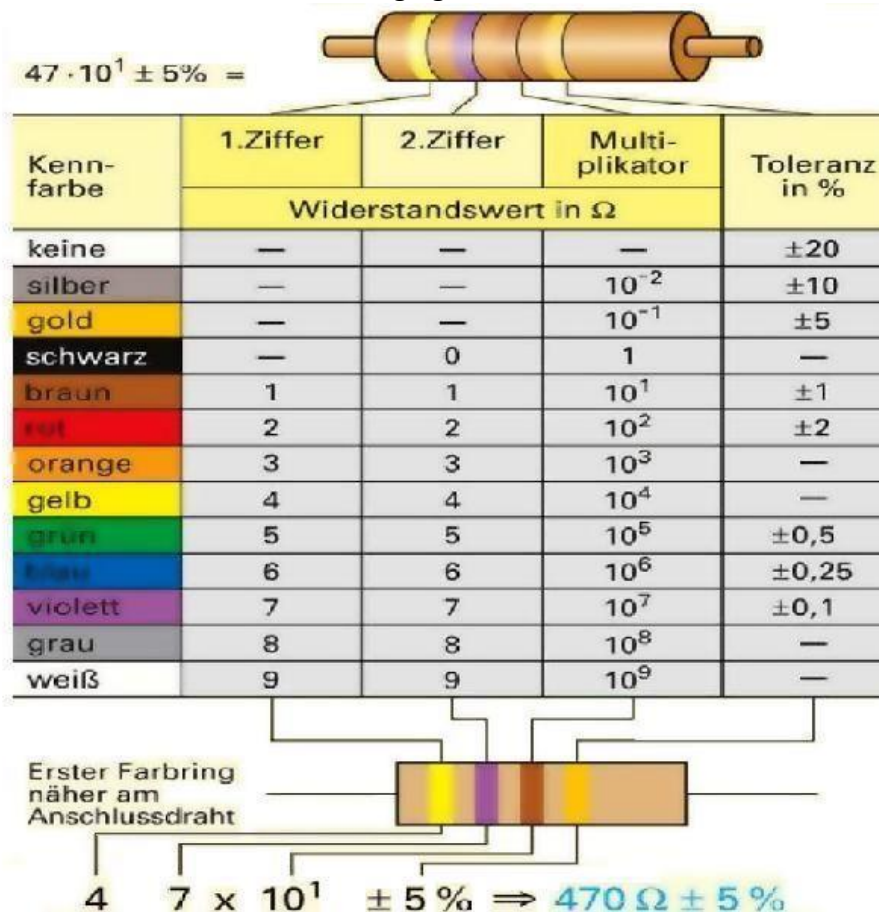
Mit Lackschichten wird der Widerstand gegen Umwelteinflüsse geschützt.

- Metallschichtwiderstände: Cr-Ni-Schichten
- Metalloxidwiderstände: Zinnoxid, Tantalnitrid



3.4 Farbringe

Die Widerstandswerte sind durch Farbringe gekennzeichnet:



3.5 Präzisionswiderstände

An Präzisionswiderstände im Bereich der Messtechnik werden folgende Anforderungen gestellt:

- sehr kleiner Temperaturbeiwert ($< 25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$),
- niedrige Thermospannung gegen Kupfer,
- hohe zeitliche Stabilität des Widerstandes,
- induktivitätsarm

Materialien: Cu-Mn-, Ni-Cr-, Au-Cr- und Ag-Mn-Legierungen, Konstantan und Manganin.

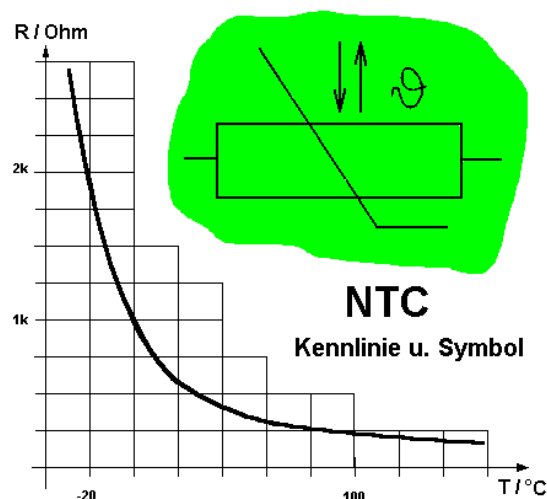
Anwendungen: Raumfahrt, Temperaturmesswiderstände (siehe dazu mehr unter PTC-Widerständen), Medizintechnik. Toleranz bis zu 0,005%.

Durch physikalische Größen veränderliche Widerstände

3.6 Temperaturabhängige Widerstände

HEISSLEITER (NTC)

Heissleiter, auch NTC-Widerstände genannt (negativer Temperaturbeiwert) werden mit steigender Temperatur niederohmiger.



Materialien:

- Einfach dotierte Halbleiter aus Silicium oder Germanium
- Fe_3O_4 mit Zusätzen aus Zn_2TiO_4 und MgCr_2O_4
- Fe_2O_3 mit Zusätzen von TiO_2

Herstellung: Die beiden letzten Stoffgruppen werden durch Sinterverfahren hergestellt.

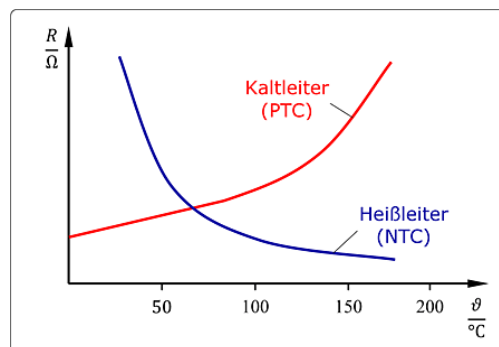
Bauformen: Miniatur-NTC, auch als SMD, scheiben- und stabförmige NTC

Anwendungen:

- Sensoren (Temperaturmessung)
- Temperaturstabilisierung von Leistungstransistoren
- Verzögerungen in Relaischaltungen

KALTLEITER (PTC)

Kaltleiter (PTC-Widerstände) werden mit steigender Temperatur hochohmiger.



Anwendungen:

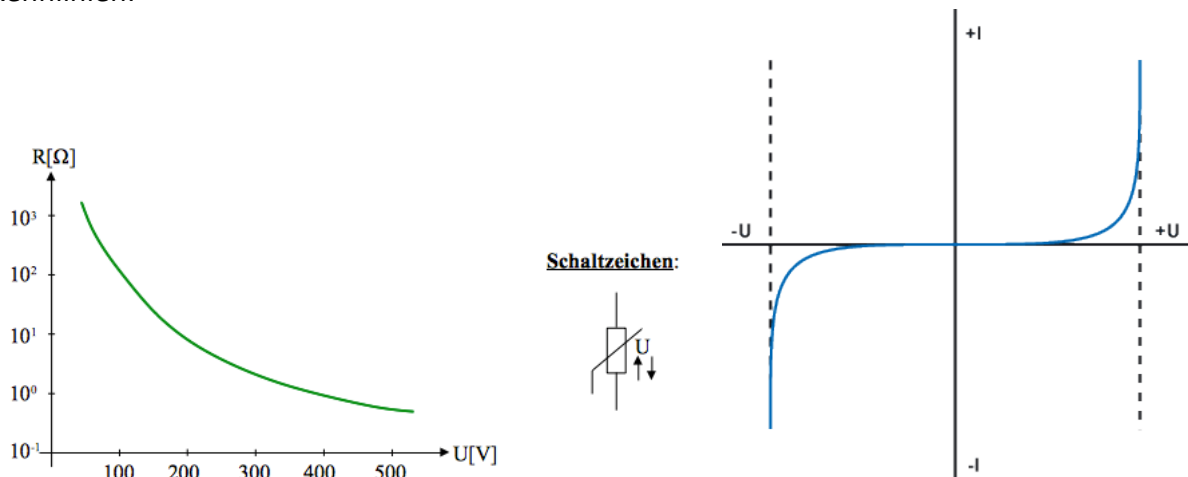
- Kaltleiter deren Widerstand **linear** mit der Temperatur ansteigt.
Anwendungsgebiete: Temperaturmessung, Temperaturkompensation
Material: Pt100, Platin
- Kaltleiter auf Keramikbasis mit einem **nicht-linearen** Widerstandsverlauf.
Anwendungsgebiete: Überstromschutz (als Sicherungselement), Übertemperaturschutz, selbstregelndes Heizelement
Material: Bariumtitanat
- PTC-Sicherung: Eine **selbstrückstellende Sicherung** ist ein elektrisches Bauelement in Form eines Kaltleiters auf Polymerbasis mit einem nichtlinearen Widerstandsverlauf, das sich bei hohen elektrischen Strömen, wie bei einem Kurzschluss, erwärmt und infolgedessen hochohmig wird. Nach Abkühlung wird es von selbst wieder niederohmig, was einer Funktion ähnlich wie einer Sicherung mit selbständiger Wiedereinschaltung gleichkommt.

Jeder metallische Leiter ist ein PTC

3.7 Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren)

Spannungsabhängige Widerstände erniedrigen ab einem bestimmten Spannungswert ihren Widerstand.

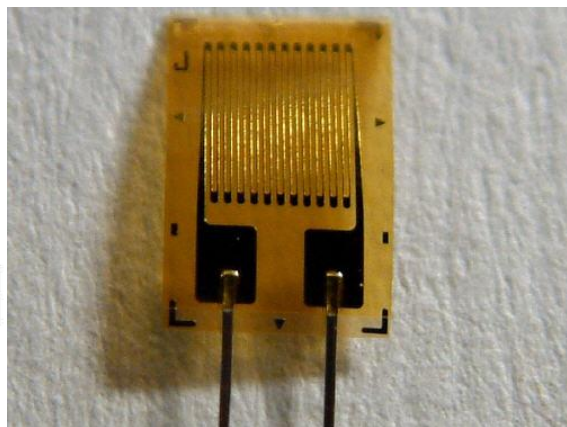
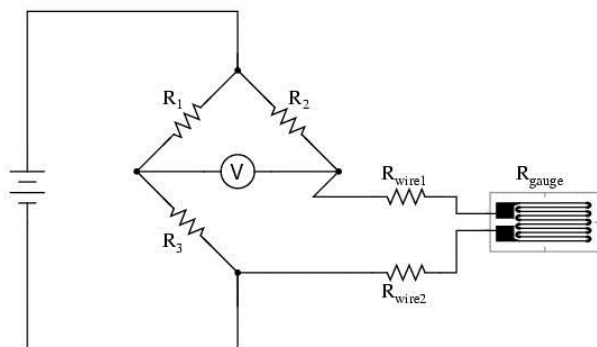
Kennlinien:



Materialien: Metalloxide (häufig ZnO mit Chrom- und Manganoxid) werden gesintert.

Anwendungen: Überspannungsschutz, Funkenlöschung, Spannungsstabilisierung

3.8 Dehnmessstreifen (DMS)



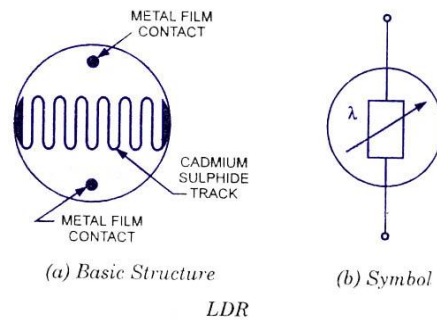
Bei elastischer Verformung von metallischen Werkstoffen kommt es durch die Gitterdeformation zu einer Verringerung der Ladungsträgerbeweglichkeit und damit zur Erhöhung des el. Widerstands.

Materialien: Trägerfolien aus Polyamid und NiCr-Legierungen

Anwendungen: Messungen von Dehnungen, Druck, Beschleunigung

3.9 Lichtabhängige Widerstände (Fotowiderstände)

Fotowiderstände, auch LDR-Widerstände genannt (Light Dependent Resistors), werden mit zunehmender Beleuchtungsstärke niederohmiger.

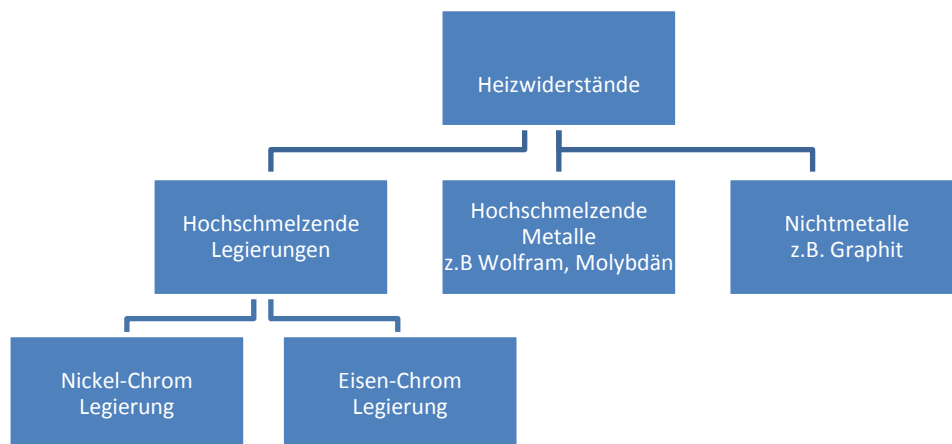


Materialien: CdS (Cadmiumsulfid), Halbleitermaterialien

Anwendungen: Messung der Beleuchtungsstärke, Verwendung in lichtabhängigen Steuer- und Regelanlagen.

4. Heizwiderstände, Heizleiterwerkstoffe

Übersicht:



Heizleiter wandeln elektrische Energie in Wärme um.

Anwendungen:

- Elektrowärmegeräte in Haushalten
- Industrieöfen zum Schmelzen von Metallen
- Anlass- und Bremswiderstände

Anforderungen:

- Hoher spezifischer elektrischer Widerstand
- Hohe Warmfestigkeit

- Hohe Korrosionsfestigkeit

Materialien:

- Bis 1300°C: Ni-Cr-Legierungen: verzunderungsbeständig, nicht beständig gegenüber Schwefel und Schwefelverbindungen.
- Ab 1300°C: Wolfram, Platin, Molybdän, Tantal in Hochtemperaturöfen bis 2500°C.
- Heizstäbe aus Siliciumcarbid (SiC) verwendet man für Temperaturen von 1000°C bis 1500°C in Öfen der Glas-und Keramikindustrie.
- Graphit und Kohle bis 2000°C: hohe Widerstandsfähigkeit gegen chem. Einflüsse und aggressive Atmosphären.