 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

1. Überblick

Der Begriff „Widerstand“ wird für die Grösse R in Ω und für das Bauteil benutzt. Von Widerstandswerkstoffen spricht man dann, wenn der spezifische Widerstand ρ zwischen $0,1$ und $1,5 \mu\Omega\text{m}$ liegt. Damit liegt der Widerstand um ein bis zwei Grössenordnungen ($10\times$ bis $100\times$) höher als bei Leiterwerkstoffen. Für die Charakterisierung (Unterscheidung) gelten aber die gleichen Grössen wie beim Leiterwerkstoff.

Aus der Anwendung ergeben sich darüber noch weitere Kenngrössen:


- die Grösse und der Verlauf von $TK\rho$
- die zeitliche Konstanz des elektrischen Widerstandes
- die thermische Belastung
- die Thermospannung

Zur Herstellung von elektrischen Widerständen finden vorwiegend folgende Werkstoffgruppen Anwendung:

- Metalle; Tantal, Wolfram, Gold
- Legierungen; NiCr, CuNi, CuMn
- Carbide, SiC
- Kohleschichten; kolloidaler¹ Kohlenstoff
- Oxide; RuO_2 , $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$, MoO_2
- Nitride; TaN
- Kombination Metall/Metalloxid; Cr/SiO₂, Au/SiO₂
Kombinationen aus Metallen und Metalloxid (Basis keramischer Werkstoffe) tragen die Bezeichnung *Cermet*, aus engl. **ceramic metal**.

Auch bei Widerstandswerkstoffen findet man, wie bei den Leiterwerkstoffen, die Anwendung als Kompakt- und/oder Schichtwerkstoff. Da bei den Widerstandswerkstoffen ganz spezielle Eigenschaften bei der Anwendung im Vordergrund stehen und nicht nur der Widerstand, erfolgt im weiteren die Behandlung unter dem Gesichtspunkt ihres Einsatzes.

¹ Bei einem **Kolloid** (von **griechisch** *kolla* „Leim“ und *eidos* „Form, Aussehen“) handelt es sich um ein System aus **Cluster** (Teilchen mit bis zu 50000 Atome) oder um kleine **Festkörper** (Teilchen mit > 50000 Atome), die innerhalb eines Mediums fein verteilt vorliegen. Kolloidaler Graphit ist eine kolloidale Lösung von Graphit in Wasser. Unter einer kolloidalen Lösung versteht man eine Lösung, in der die gelösten Stoffe in einer solchen Feinheit vorliegen, daß sie durch Filtration nicht mehr getrennt werden können.

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

2. Werkstoffe für kompakte Widerstände

2.1. Präzisions- und Messwiderstände

Anwendungsgebiete dieser Widerstände findet man in Messegräten, Kompensationsschaltungen, Eichwiderständen, Widerstandsnormen, technischen Widerständen mit festem oder mechanisch veränderbarem Widerstandswert in Schaltungen der Elektrotechnik (Schiebewiderstand, Potentiometer). Dabei liegt das Widerstandsmaterial in Draht- oder Bandform vor.

2.1.1. Anforderungen

hohe Konstanz des Widerstandswertes, auch unter veränderlichem Temperatureinfluss, langer Einsatzdauer oder Thermospannung²

2.1.2. Werkstoffauswahl

Werkstoffe, die diese Anforderungen erfüllen sind Legierungen auf der Basis aus Cu-Ni, Cu-Mn, Ag-Fe, Au-Cr, Au-Ag, und Ni-Cr.

Als bekanntester Vertreter aus dieser Gruppe ist der Konstantan zu nennen. Konstantan® ist ein Markenname der ThyssenKrupp VDM GmbH für eine Legierung die im Allgemeinen aus 55% Kupfer und 45% Nickel besteht (Cu55Ni45). Sie zeichnet sich durch einen über weite Temperaturbereiche annähernd konstanten elektrischen Widerstand aus. Es sind andere Legierungen mit ähnlich geringen z. B. Manganin (Cu86Mn12Ni2) oder noch geringerem Temperaturkoeffizienten wie Isotan® (Cu55Ni44Mn1) bekannt.

Eine Methode der elektrischen Temperaturmessung besteht in der Ausnützung des Temperaturkoeffizienten in Form von Widerstandsthermometern. Dabei nutzt man den fast linearen Verlauf des Widerstandes reiner Metalle bezogen auf die Temperatur. Wegen seiner chemischen Beständigkeit kommt Platin am häufigsten zur Anwendung. Der Temperaturbereich solcher Pt100-Messsonden liegt zwischen -220°C bis ca. 1000°C. Für den Temperaturbereich von -60°C bis 200°C ist auch Nickel verwendbar.

2.2. Heizwiderstände

Heizwiderstände benutzt man zur Umwandlung von Elektro- in Wärmeenergie. In der Prozess- und Anlagentechnik sowie in zahlreichen Varianten der Elektrowärmegeräten in der Industrie, des Gewerbes und des Haushalts sind diese Werkstoffe im Einsatz.


2.2.1. Anforderungen

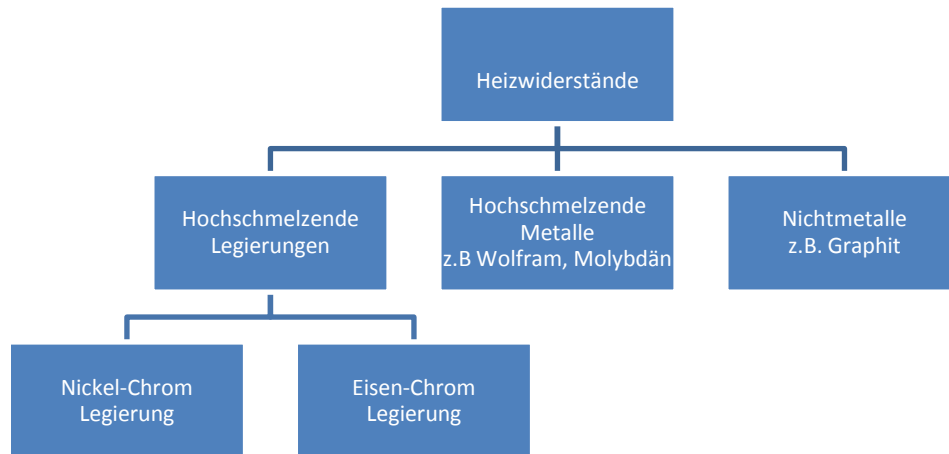
Hohe thermische und chemische Beständigkeit (Verzunderung), hohe Warmfestigkeit sowie einen stabilen spezifischen elektrischen Widerstand (Gefahr der Gefügeveränderung bei hohen Temperaturen).

2.2.2. Materialauswahl

Diese Anforderungen werden bis zu Temperaturen von etwa 1250°C durch Metalllegierungen erfüllt; bei höheren Temperaturen durch hochschmelzende Metalle und Siliziumcarbid. Die technisch wichtigsten Legierungen bestehen aus Cr-Fe-Al oder Ni-Cr.

² Thermospannung (Seebeck-Effekt); befindet sich im Stromkreis Kontaktstellen zweier Metalle unterschiedlicher Temperatur, so entsteht eine zusätzliche von der Temperatur abhängige Potentialdifferenz. Bei Thermoelementen nutzt man diesen Effekt als Messprinzip für die Temperatur aus.

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2



2.3. Thermistoren

Eigentlich kann sich niemand unter diesem Begriff etwas vorstellen, sind doch die beiden Vertreter NTC- und PTC-Widerstände viel bekannter. Dennoch ist beiden Gruppen einiges gemeinsam. Thermistoren sind Widerstände, deren Leitfähigkeit sich in einem kleinen Temperaturbereich sprunghaft ändert. Man unterscheidet

- NTC-Widerstände, mit einem negativen Temperaturkoeffizient
- PTC-Widerstände, mit einem positiven Temperaturkoeffizient

2.4. Kaltleitern

In der Elektronik finden drei grundsätzlich verschiedene Klassen von Kaltleitern Verwendung:

- Kaltleiter deren Widerstand linear mit der Temperatur ansteigt
Anwendungsgebiete: Temperaturmessung, Temperaturkompensation
Material: Dickfilmtechnologie auf verschiedenen Trägersubstraten
- Kaltleiter auf Keramikbasis mit einem nicht-linearen Widerstandsverlauf
Anwendungsgebiete: Überstromschutz (als Sicherungselement), Übertemperaturschutz, selbstregelndes Heizelement, Schaltelement (Stichworte "Motorstart PTC", "Degaussing PTC")
Material: Bariumtitanat
- Kaltleiter auf Polymerbasis mit einem nicht-linearen Widerstandsverlauf
Anwendungsgebiete: Überstromschutz (als Sicherungselement)
Material: Mit winzigen Rußpartikeln befüllter Kunststoff



2.4.1. Material

Als elektronische Bauteile sind Kaltleiter meistens aus halbleitenden, polykristallinen Keramiken gefertigt (zum Beispiel BaTiO₃), die in einem bestimmten Temperaturbereich eine Sperrschicht an den Korngrenzen aufbauen. Neuere Entwicklungen führten zu Bauteilen mit sehr steilem Anstieg des Widerstandes ab einer charakteristischen Temperatur (ca. 80...130°C).


Weiterhin wurden die Materialien dahingehend verbessert, dass selbstrückstellende Sicherungen auch für Netzspannungsanwendung geschaffen werden konnten.

2.5. Heißeiter

2.5.1. Heißeiter in Perlen-Bauform

Heißeiter oder NTC-Widerstände (engl. Negative Temperature Coefficient) sind stromleitende Materialien, die bei hohen Temperaturen Strom besser leiten als bei tiefen, das heißt, mit steigender Temperatur sinkt ihr elektrischer Widerstand. Anders gesagt: sie haben einen negativen Temperaturkoeffizienten. Davon leitet sich auch ihr zweiter Name NTC ab. Das Gegenteil von Heißeitern sind Kaltleiter (PTC-Widerstände), die bei geringer Temperatur besser leiten und einen positiven Temperaturkoeffizienten haben.

Heißeiter bestehen aus polykristallinen Halbleitern sinterfähiger Metalloxide. Der Widerstand lässt sich durch Mischverhältnis verschiedener Metalloxide in weitem Bereich einstellen.

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

2.5.2. Anwendungen

Heißleiter (NTC-Widerstände) zur Einschaltstrombegrenzung, Heißleiter werden beispielsweise zur Begrenzung von Einschaltströmen angewandt. Ein Heißleiter in der Zuleitung eines elektrischen Geräts ist vor dem Einschalten kalt, leitet somit schlecht und verringert den Einschaltstrom. Nach dem Einschalten erwärmt sich der Widerstand durch den Stromfluss sehr schnell und verliert seinen hohen Anfangswiderstand.

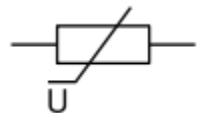


Heißleiter zur Einschaltstrombegrenzung wurden bereits bei Geräten mit Elektronenröhren im Heizkreis bei Serienheizung eingesetzt, um die Heizfäden der Röhren und ggf. den Eisen-Wasserstoff-Widerstand beim Einschalten vor dem Durchbrennen zu schützen. Es waren sog. URDOX-Widerstände (Heißleiter aus Urandioxid, siehe rechts im Bild).

In Schaltnetzteilen (auch in Computernetzteilen) werden Heißleiter zur Einschaltstrombegrenzung eingesetzt, um das Auslösen der Sicherung beim Laden der darin befindlichen großen Kondensatoren zu verhindern. Heißleiter können auch als Temperatursensoren in Widerstandsthermometern oder zur Temperaturkompensation elektronischer Schaltungen eingesetzt werden.

2.6. Varistoren

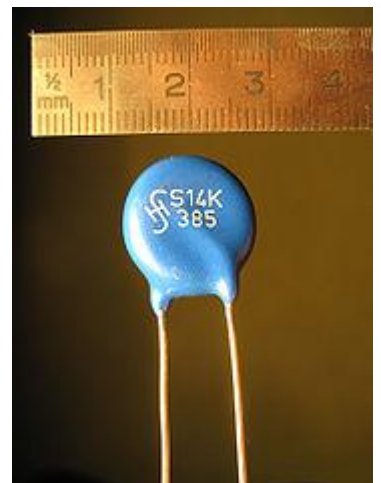
Eine weitere Gruppe keramischer Widerstände sind die Varistoren. Es sind spannungsabhängige Widerstände, die als Spannungstabilisatoren und als Überspannungsbegrenzer eingesetzt werden. Varistoren können elektrische Anlage und Geräte vor Schäden schützen. Ihre Ansprechzeiten liegen im Nanosekunden-Bereich bei Stossströmen im Bereich einiger kA.




Grundwerkstoff für Varistoren, das SiC, ist im Reinzustand ein Isolator. Durch gezielte Zugabe von Aluminium und Eisen entsteht ein Halbleitermaterial, welches höchst spannungsabhängig ist.



Hochspannungsvaristor



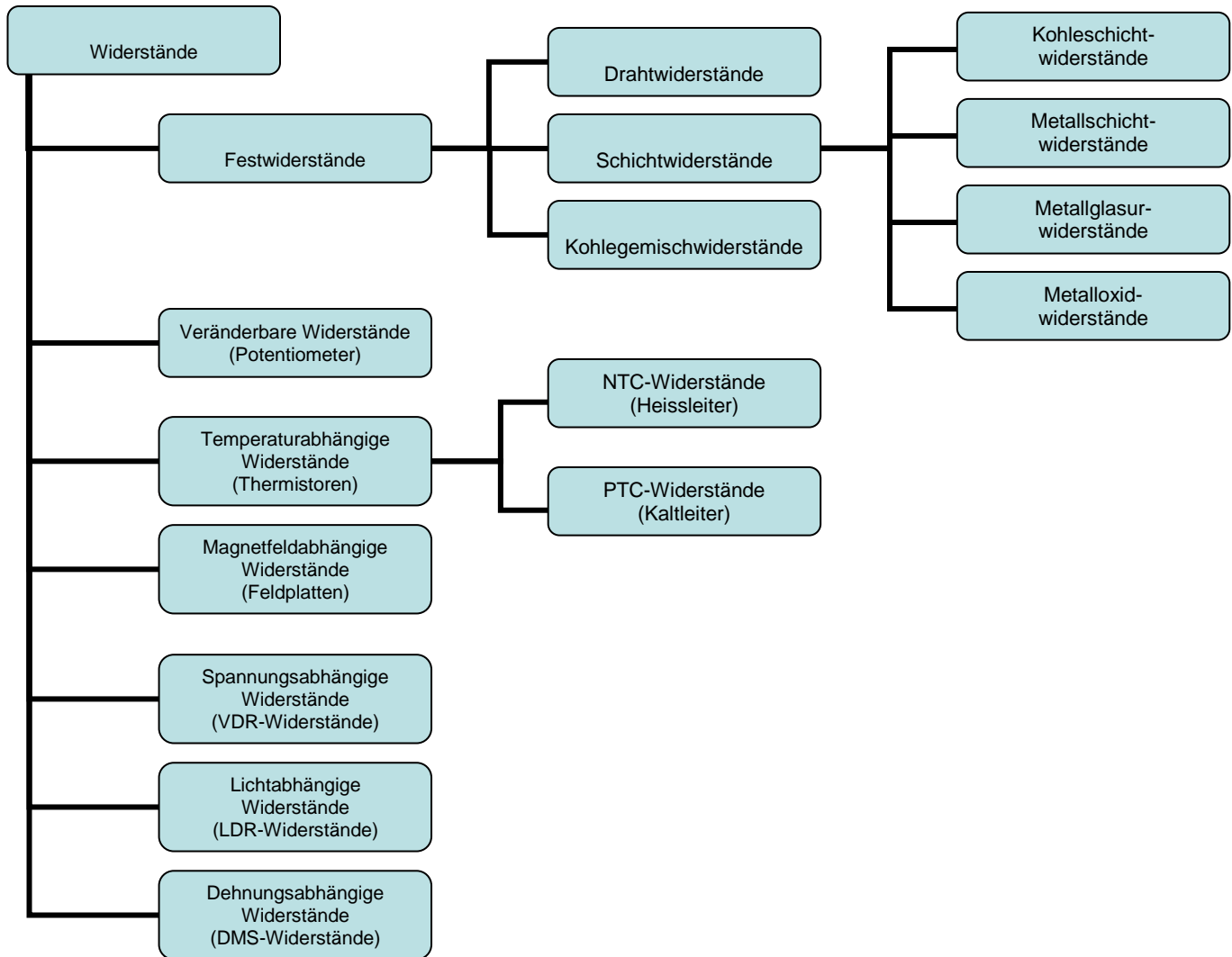
Varistor für Printmontage

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

3. Technische Widerstände

Schichtwiderstände bestehen aus einem Träger (Keramik, Glas, gefüllte Kunststoffe), auf dem die Widerstandsschicht aus einem Metall, einer Metalllegierung, Kohlenstoff, Cermets oder einer Widerstandspaste aufgebracht sind.


3.1. Übersicht



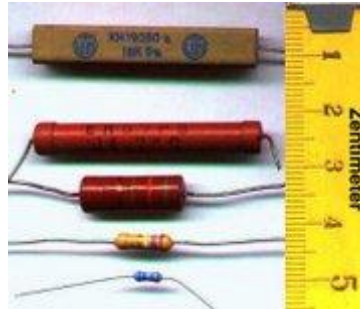
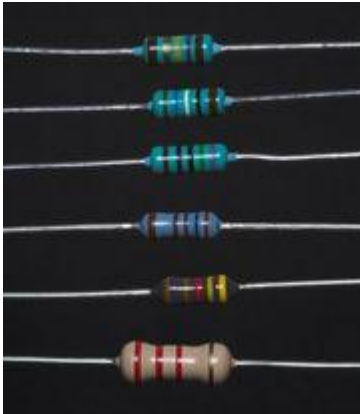
3.2. Gruppen der elektrische Widerstände

Elektrische Widerstände als Bauelement lassen sich nach verschiedenen Kriterien gruppieren. Hierzu gehören:

- Bauform
- Leistung
- Widerstandsmaterial

 Berufs Bildung Baden	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

3.2.1. Bauformen



Widerstände kommen am häufigsten in Integrierten Schaltkreisen vor. Dickschicht- und Dünnschicht-Schaltkreise enthalten oft ganze Widerstands-Netzwerke als spezielle Schaltungsteile. In einer monolithischen integrierten Schaltung (Basismaterial ein kristallines Silizium) ist die Wahl der Widerstands-Materialien sehr eingeschränkt. Meistens wird ein besonders beschalteter Transistor als Widerstands-Ersatz verwendet, da „echte“ Widerstände im Layout mehr Fläche benötigen. Ansonsten wird polymorphes Silizium verwendet.

Die bekannteste Widerstands-Bauform ist jedoch der zylindrische keramische Träger mit axialen Anschlüssen. Diese Anschlüsse werden durch Löcher in Platinen geführt und auf der Rückseite verlötet. Der keramische Träger ist mit dem Widerstandsmaterial beschichtet, das entweder durch seine Zusammensetzung oder durch Einkerbungen seinen gewünschten Widerstandswert erhält. Die maximale Verlustleistung liegt zwischen 0,1 W und 5 W.

Die axiale Bauform mit quadratischem Querschnitt (siehe zweites Foto, erster von oben) beinhaltet meist einen Drahtwiderstand, und ist mit Quarzsand gefüllt. Diese Widerstände sind für höhere Verlustleistungen ausgelegt. Wie von allen Bauelementen der Elektrotechnik werden auch **SMD**-Versionen von Widerständen hergestellt, diese treten als kleine Quader mit beispielsweise 1-2-0,5 mm Kantenlänge in Erscheinung, die an den beiden kleinsten Flächen Metallplättchen als Kontakte haben. Diese werden durch Löten direkt mit einer Platine verbunden (Oberflächenmontage).














Die verschiedenen Materialien der Widerstandsschichten werden nach der gewünschten Genauigkeit (**Toleranz**) und der Temperaturstabilität ausgewählt. Kohleschichten haben einen **negativen Temperaturkoeffizienten** und sind sehr ungenau. Metallschichtwiderstände lassen sich mit höchsten Genauigkeiten und abhängig von der Legierung mit sehr geringen Temperaturkoeffizienten fertigen. Metalle haben im Allgemeinen einen **positiven Temperaturkoeffizienten**. Metallschichtwiderstände werden auch als **Sicherungswiderstände** gefertigt - diese erzeugen bei Überlastung eine sichere Unterbrechung.


Für sehr hohe Widerstandswerte werden Metalloxid-Schichtwiderstände gefertigt. Diese sind besonders stabil gegenüber **Migrationsprozessen** bei hohen Spannungen.

Sehr kleine, hoch belastbare Widerstände (z.B. **Shunts** und **Bremswiderstände** für hohe Energieabsorption) werden aus Metallfolie (**Manganin**) gefertigt. Werden diese Widerstände zur Strommessung eingesetzt (**Shunts**), haben sie oft sog. Kelvin-Anschlüsse d.h. zwei zusätzliche Anschlüsse, um den Messfehler durch den Spannungsabfall an der Kontaktierung zu vermeiden.

3.2.2. Schema

Der Widerstandswert ist üblicherweise durch Farbringe codiert oder als Zahlenwert aufgedruckt. Die Farben entsprechen dabei folgenden Werten:

Farbcodierung von Widerständen mit 4 Ringen					
Farbe		Widerstandswert in Ω			Toleranz
		1. Ring	2. Ring	3. Ring (Multiplikator)	4. Ring
„keine“		—	—	—	$\pm 20\%$
Silber		—	—	$1 \cdot 10^{-2} = 0,01$	$\pm 10\%$
Gold		—	—	$1 \cdot 10^{-1} = 0,1$	$\pm 5\%$
schwarz		0	0	$1 \cdot 10^0 = 1$	—
Braun		1	1	$1 \cdot 10^1 = 10$	$\pm 1\%$
Rot		2	2	$1 \cdot 10^2 = 100$	$\pm 2\%$
Orange		3	3	$1 \cdot 10^3 = 1.000$	—
Gelb		4	4	$1 \cdot 10^4 = 10.000$	—
Grün		5	5	$1 \cdot 10^5 = 100.000$	$\pm 0,5\%$
Blau		6	6	$1 \cdot 10^6 = 1.000.000$	$\pm 0,25\%$
Violett		7	7	$1 \cdot 10^7 = 10.000.000$	$\pm 0,1\%$
Grau		8	8	$1 \cdot 10^8 = 100.000.000$	—
weiß		9	9	$1 \cdot 10^9 = 1.000.000.000$	—

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

Beispiele

Ein Widerstand mit den Farbringen **gelb – violett – rot – braun** hat die Wertefolge: $4 - 7 - 1 \cdot 10^2$ – Toleranz 1 % – daraus ergibt sich für den Widerstand ein Wert von 4,7 kΩ (mögliche Fertigungstoleranz von 4,6765 bis 4,7235 kΩ). Widerstände hoher Genauigkeit (Metallschichtwiderstände) haben meist 5 oder 6 Ringe, also noch einen weiteren Zahlring an dritter Stelle. Für einen Widerstand mit 5 Ringen ein Beispiel:

grün – braun – braun – rot – braun bedeutet $5 - 1 - 1 - 1 \cdot 10^2$ – Toleranz 1 % – daraus ergibt sich ein Wert von 51,1 kΩ. Widerstände mit 6 Ringen sind genauso abzulesen, der 6. Ring gibt die Temperaturabhängigkeit des Widerstands an.

Die Nennwerte von Widerständen werden nach geometrischen Folgen abgestuft. Dabei weist jede Dekade die gleiche Anzahl n verschiedener, mit dem Faktor $q = 10^{(1/n)}$ abgestufter Werte auf. International gültig sind die mit $n = 3 \cdot 2^a$ (a ist ganzzahlig) abgestuften **E-Reihen**. Widerstände werden nicht in beliebigen Werten hergestellt: je nach Toleranz haben sie Werte aus der E12- (10 %), E24- (5 %), E48- (2 %) oder E96-Reihe (1 %).

Beispielsweise sind die Werte der **Toleranzreihe** E12 = {10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82}. Die Werte sind so gewählt, dass sich die Toleranzbereiche überlappen und sich somit eine minimale Anzahl von Lagerwerten ergibt.

3.2.3. SMD-Widerstände

SMD-Widerstände sind Miniaturwiderstände für das direkte Verlöten auf der Leiterplattenoberfläche. Durch geringe Abmessungen ermöglichen Sie den Bau kompakter Geräte.

SMD Bauelemente sind in verschiedenen Bauformen handelsüblich:

- 1210, 1206, 0805, 0603, 0402

Dabei geben die ersten beiden Ziffern die Länge und die letzten beiden Ziffern die Breite des Bauteils in 0,01 **Zoll** (= 0,254 mm) an.

- Bauteil 0805 → Länge: $08 \cdot 0,254 \text{ mm} = 2,032 \text{ mm}$, Breite: $05 \cdot 0,254 \text{ mm} = 1,27 \text{ mm}$

SMD-Widerständen der Toleranzklasse 5 % sind 3 Ziffern aufgestempelt. Die ersten 2 Ziffern geben den Widerstandswert an; die dritte Ziffer die Anzahl der angehängten Nullen.

- $472 = 47 + 2 \text{ Nullen} = 4700 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$
- $104 = 10 + 4 \text{ Nullen} = 100.000 \Omega = 100 \text{ k}\Omega$
- $101 = 10 + 1 \text{ Null} = 100 \Omega$

SMD-Widerstände der Toleranzklasse 1 % weisen einen Aufdruck mit vier Ziffern auf. Dabei geben die ersten 3 Ziffern den Widerstandswert an, die vierte Ziffer die Anzahl der angehängten Nullen.

- $1002 = 100 + 2 \text{ Nullen} = 10.000 \Omega = 10 \text{ k}\Omega$
- $1003 = 100 + 3 \text{ Nullen} = 100.000 \Omega = 100 \text{ k}\Omega$

Für sehr kleine Widerstandswerte wird der Buchstabe 'R' als Komma verwendet.


- $10R = 10 \Omega$
- $1R5 = 1,5 \Omega$
- $R005 = 0,005 \Omega = 5 \text{ m}\Omega$

3.3. Drahtwiderstände

Bei Drahtwiderständen wird der Widerstandswert durch einen Draht aus einer Metalllegierung, z.B. Konstantan oder Manganin, gebildet. Der Draht ist auf einen Trägerkörper z.B. aus Keramik aufgewickelt und mit Anschlüssen versehen. Zum Schutz der Widerstände und zur besseren Wärmeableitung sind Lackumhüllungen, Glasuren, oder Gehäuse aus Keramik oder Metall üblich.

3.4. Kohlegemischwiderstände

Kohlegemischwiderstände, auch Massewiderstände genannt, haben einen Widerstandskörper aus einem Kohle-Harz-Gemisch. Die Grösse des Widerstandswertes wird durch den Gehalt des Kunstharzes z.B. Phenolharz oder Epoxiharz, im Kohlegemische bestimmt. Das Kohle-Harz-Gemisch ist zugleich Widerstandsmasse und Widerstandskörper.

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

3.5. Schichtwiderstände

Bei Schichtwiderständen werden Widerstandswerkstoffe, z.B. Kohle, Metall oder ein Metalloxid, auf einen Trägerkörper aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) bzw. andere Keramik als Schicht im Vakuum aufgedampft.

Die Widerstandsschichten der meisten Metallschichtwiderstände bestehen aus NiCr_{20} -Legierungen (Nickel 80%, Chrom 20%). Wird die Schicht aus den entsprechenden Legierungen durch Aufdampfen abgeschieden, entstehen inhomogene zusammengesetzte Schichten (Zonen) infolge der unterschiedlichen Verdampfungsgeschwindigkeiten. Dies führt zu Problemen, die durch das „Aufputtern“³ gelöst werden können.

Die Schichtdicke liegt im Bereich von $0,5\ \mu\text{m}$ bis $50\ \mu\text{m}$ und richtet sich nach dem gewünschten Widerstandswert. Durch Einschneiden einer schraubenförmigen Wendel, meist mit Hilfe eines Lasers, wird der geforderte Widerstandswert erreicht. Gegen Umwelteinflüsse und Berührungsspannungen werden Schichtwiderstände mit mehreren Lackschichten umhüllt. Metallschichtwiderstände lassen sehr enge Toleranzen, z.B. 0,05%, mit kleinem Temperaturkoeffizient, z.B. $\pm 50 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{K}$, und guter Langzeitkonstanz herstellen.

3.6. Präzisionswiderstände

Diese Werkstoffe sollten folgende Eigenschaften aufweisen:

- sehr kleinen Temperaturkoeffizient ($< 25 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{K}$)
- Niedrige Thermospannung gegen Kupfer ($< 10\ \mu\text{V/K}$)
- hohe zeitliche Stabilität des Widerstandes (Abweichung $< 0,005\%$ je Jahr)
- induktivitätsarm (bifilar⁴)
- niedriges Rauschen
- eventuell hohe Belastung

Für Präzisionswiderstände verwendet man Cu-Mn-, Ni-Cr-, Au-Cr- und Ag-Mn-Legierungen. Eine häufig verwendete Legierung ist Manganin⁵, das aus 86% Kupfer, 2% Nickel und 12% Mangan besteht. Präzisionswiderstände haben als niederohmige Widerstände einen Anschluss in Vierleitertechnik, da der durch die Zuleitungsdrähte verursachte und damit resultierende Spannungsabfall nicht mehr vernachlässigt werden kann.

3.6.1. Widerstände in integrierten Schaltungen

In integrierten Schaltungen werden Widerstände durch gezielte Diffusion des reinen Halbleitermaterials hergestellt. Sie sind auf einem Chip mit weiteren Halbleiterbauelementen untrennbar miteinander verbunden.

3.7. Schichtschaltungen

Schichtschaltungen sind in Form schichtförmiger Bahnen und Flächen auf einen Träger (Print) aufgebrachte Schaltungen.

Bei Schichtschaltungen werden passive Bauelemente, z.B. Widerstände, Kondensatoren und deren Verbindungsleitungen in gemeinsamer Technologie auf einem Träger aus Keramik oder Glas aufgebracht. Aktive Bauteile, z.B. Transistoren, werden nachträglich eingesetzt. Man unterscheidet Schaltungen in Dickschicht-, Dünnschicht- und Hybrid-Technik.


3.7.1. Dickschicht-Technik

Bei Schaltungen in Dickschichttechnik werden im Siebdruckverfahren Pasten zur Herstellung von Leiterbahnen, Widerständen, Dielektrika und Kondensatoren auf einen Träger aufgebracht und anschließend durch Einbrennen fixiert. Die nach dem Einbrennen vorhandenen Widerstände haben eine Toleranz von $\pm 10\%$. Für höhere Genauigkeiten werden die Widerstände mit Hilfe eines Laserstrahls durch Einschneiden in die Widerstandsfläche

³ Aufputtern: Treffen Atome oder Ionen mit einer hohen kinetischen Energie auf eine Oberfläche, so wird Material aus der Oberfläche herausgeschlagen. Dieser Prozess wird Sputtern bezeichnet. Das losgelöste Material kann dann auf dem gewünschten Material aufgebracht werden.

⁴ Bifilar: Wendel, deren Induktivität sich kompensiert, da Eingang und Ausgang zusammen gewickelt im gleichen Sinn gewickelt werden

⁵ Manganin: registriertes Warenzeichen (Handelsnamen) der Isabellenhütte, Dillenburg

 <small>Berufs Bildung Baden</small>	Fach:	Thema:	Beruf	
	Werkstofftechnik	Widerstandswerkstoffe	Automatiker	AU2

abgeglichen. Somit werden Toleranzen unter 1% erreicht. Zum Schutz gegen Umwelteinflüsse und mechanische Beschädigungen bekommen die fertigen Schaltungen eine Lackumhüllung oder ein Gehäuse.

3.7.2. Dünnschicht-Technik

Bei Schaltungen in Dünnschichttechnik werden Metalle, z.B. Gold, Silber, und Chrom, oder deren Legierungen im Vakuum aufgedampft.

In der Dünnschicht-Technik werden folgende Verfahren verwendet:

- Aufdampfen: Metall wird erhitzt, verdampft und setzt sich als Kondensat auf dem kühleren Substrat ab.
- Kathodenzerstäubung: durch Anlegen einer Spannung werden die Metallionen (als Dampf) beschleunigt und setzt sich als dünne Schicht nieder.
- Masken: Mit verschiedenen Folien mit Aussparungen können hintereinander verschiedene, unterschiedliche Lagen (Layer) hergestellt werden.
- Dünnschichtätzen: Nach dem ganzflächigen Aufbringen der Schicht, wird diese fototechnisch geätzt.

3.7.3. Hybridtechnik

In Hybridschaltungen⁶ werden aktive Bauelemente, z.B. Transistoren oder integrierte Schaltungen, mit passiven Schaltungen, z.B. Widerstände, Kondensatoren, auf kleinstem Raum auf einem keramischen Träger aufgebracht.

Hybrid-Schaltungen haben eine

- hohe Packungsdichte
- geringe Temperaturkoeffizienten der Widerstände
- hohe Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität
- gute Wärmeleitfähigkeit der Keramiksubstrate
- hohe Grenzfrequenz und
- geringe Montage und Prüfkosten

⁶ von hyprida (lat.) = Mischling