

DIN EN IEC 62812



ICS 17.220.20; 31.040.01

**Messung niederohmiger Widerstände –
Verfahren und Leitfaden
(IEC 62812:2019);
Deutsche Fassung EN IEC 62812:2019**

Low resistance measurements –
Methods and guidance
(IEC 62812:2019);
German version EN IEC 62812:2019

Mesures de faibles résistances –
Méthodes et recommandations
(IEC 62812:2019);
Version allemande EN IEC 62812:2019

Gesamtumfang 47 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenstelle Elektrotechnik (NE)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2019-06-06 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2020-04-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 62812:2013-08.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 613 „Widerstände“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 40 „Capacitors and resistors for electronic equipment“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Messung niederohmiger Widerstände –
Verfahren und Leitfaden
(IEC 62812:2019)

Low resistance measurements –
Methods and guidance
(IEC 62812:2019)

Mesures de faibles résistances –
Méthodes et recommandations
(IEC 62812:2019)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2019-06-06 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 40/2665/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 62812, erarbeitet vom IEC/TC 40 „Capacitors and resistors for electronic equipment“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 62812:2019 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2020-03-06
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2022-06-06

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62812:2019 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60115-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60115-2.
IEC 60115-8	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60115-8.
IEC 60301	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60301.
IEC 61249-5-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61249-5-1.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60068-1	–	Environmental testing – Part 1: General and guidance	EN 60068-1	–
IEC 60115-1 (mod)	2008	Festwiderstände zur Verwendung in Geräten der Elektronik – Teil 1: Fachgrundspezifikation	EN 60115-1	2011
–	–		+ A11	2015
IEC 60294	–	Measurement of the dimensions of a cylindrical component with axial terminations	EN 60294	–

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Einflussgrößen der Widerstandsmessung.....	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Zuleitungs- und Kontaktwiderstand	7
4.3 Eigenerwärmung	9
4.4 Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes.....	10
4.5 Thermo-EMK	12
4.6 Peltier-Effekt	15
5 Messverfahren.....	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Vierdraht-Widerstandsmessung	16
5.3 Offset-Kompensationsverfahren.....	19
5.4 Umpolungsverfahren	22
5.5 Differentielles Umpolungsverfahren	25
5.6 Kurzzeit-Triggerungsverfahren.....	28
6 Anschluss der Prüflinge.....	32
6.1 Widerstände mit Anschlussdrähten für die Lötmontage.....	32
6.1.1 Anschluss bedrahteter Widerstände in einer Prüfeinrichtung	32
6.2 Widerstände mit Lötanschlüssen für die Oberflächenmontage	33
6.2.1 Anschluss von SMD-Widerständen auf einem Prüfräger.....	33
6.2.2 Anschluss von SMD-Widerständen in einer Prüfeinrichtung	35
7 Erforderliche Angaben in der entsprechende Bauteilspezifikation.....	36
Anhang A (normativ) Formelzeichen und Abkürzungen.....	37
A.1 Formelzeichen	37
A.2 Abkürzungen	38
Anhang B (informativ) Prüfergebnisse der Lötfläche mit Kelvin-Verbindung für oberflächenmontierbare Widerstände	39
B.1 Allgemeines	39
B.2 Prüfverfahren.....	39
B.2.1 Prüfräger.....	39
B.2.2 Prüfverfahren.....	41
B.3 Messergebnis und Studien	42
Literaturhinweise.....	45

Bilder

Bild 1 – Widerstandsmessung mit dem Zweidrahtverfahren.....	7
Bild 2 – Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes (beliebiges Beispiel)	10
Bild 3 – Widerstandswerte bei einem Widerstand mit Anschlussdrähten	11
Bild 4 – SMD-Chipwiderstand auf einer Leiterplatte	11
Bild 5 – Thermo-EMK	12
Bild 6 – Thermoelemente an einem Widerstand mit Anschlussdrähten	14
Bild 7 – Widerstandsmessung unter dem Einfluss der Thermo-EMK	15
Bild 8 – Vierdraht-Widerstandsmessung	17
Bild 9 – Offset-Kompensationsverfahren für die Widerstandsmessung.....	19
Bild 10 – Strom und Spannung beim Offset-Kompensationsverfahren	20
Bild 11 – Umpolungsverfahren für die Widerstandsmessung	22
Bild 12 – Strom und Spannung beim Umpolungsverfahren	23
Bild 13 – Strom- und Spannungsverlauf beim differentiellen Umpolungsverfahren	26
Bild 14 – Beispiel eines Widerstandsprüflings.....	31
Bild 15 – Anschluss bedrahteter Widerstände in einer Prüfeinrichtung	32
Bild 16 – Widerstandswerte bei zylindrischen Anschlussdrähten aus Kupfer.....	33
Bild 17 – Lötfläche auf dem Prüfräger für die Kelvin-(4-Punkt-)Verbindungen	34
Bild 18 – Widerstand von Leiterplattenbahnen mit einer Kupferdicke von 35 µm	35
Bild 19 – Beispiel für den Anschluss von SMD-Widerständen in einer Prüfeinrichtung	36
Bild B.1 – Längen der Lötfläche	40
Bild B.2 – Position des Spannungsmessleiters	40
Bild B.3 – Dicke des Siebes zum Auftragen von Lötmaterial und Position des Messleiters.....	43
Bild B.4 – Position der Spannungsmessleitung	43
Bild B.5 – Lötflächenlänge.....	44
Bild B.6 – Empfohlene Lötfläche	44

Tabellen

Tabelle 1 – Relative Seebeck-Koeffizienten für ausgewählte Metalle	13
Tabelle A.1 – Formelzeichen.....	37
Tabelle B.1 – Dicke des Siebes für das Auftragen von Lötmaterial	41
Tabelle B.2 – Tabelle der Prüfbedingungen	42

1 Anwendungsbereich

Widerstandsmessungen werden in der Regel durch verschiedene Einflussgrößen, wie z. B. den Serienwiderstand im Messpfad, die Eigenerwärmung oder nicht-ohmsche Eigenschaften, beeinträchtigt. Ob die Auswirkungen dieser Einflussgrößen auf eine Widerstandsmessung annehmbar sind oder nicht, hängt von der Größenordnung der einzelnen Auswirkungen im Vergleich zum Widerstandswert und zur erforderlichen Messgenauigkeit ab. Das Risiko fehlerhafter Widerstandsmessungen steigt folglich mit kleiner werdendem Widerstandswert und mit der Verringerung der zulässigen Grenzabweichungen.

Dieses Dokument legt Messverfahren sowie die entsprechenden Prüfbedingungen fest, mit denen die Auswirkungen der nachteiligen Einflussgrößen aufgehoben oder verringert werden, um die erreichbare Genauigkeit der Messungen niederohmiger Widerstände zu verbessern.

Die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren können für Einzelmessungen des Widerstandswertes einzelner Widerstände und auch für Widerstandsmessungen als Teil einer Prüffolge eingesetzt werden. Sie werden angewandt, sofern in einer entsprechenden Bauteilspezifikation festgelegt oder zwischen Kunde und Hersteller vereinbart.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60115-1:2008, *Fixed resistors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*

IEC 60294, *Measurement of the dimensions of a cylindrical component with axial terminations*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60115-1 und die folgenden Begriffe.

Eine Liste über die verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen ist in Anhang A aufgeführt.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 elektromotorische Kraft EMK

Potentialdifferenz, die zu einem elektrischen Stromfluss führt

3.2 Thermo-EMK

E_T
Potentialdifferenz, die an den Kontaktstellen unterschiedlicher Leiter auftritt, wenn zwischen den Kontaktstellen ein Temperaturunterschied besteht

3.3 niederohmiger Widerstand

Widerstand, für den der vorhersagbare Fehler bei der Messung mit einem herkömmlichen Zweidrahtverfahren verglichen mit der geforderten Genauigkeit oder der angegebenen Grenzabweichung wesentlich ist

3.4

Vierdrahtmessung

Kelvin-Messung

Vierleitermessung

Vierpunktmessung

Messtechnik zur Ermittlung des elektrischen Widerstands, die gesonderte Leitungspaare für den Messstrom und für den Abgriff der Potentialdifferenz verwendet, um den Beitrag des Leitungs- und Kontaktwiderstands zum elektrischen Widerstand auszuschalten

3.5

Zweidrahtmessung

herkömmliche Messtechnik zur Ermittlung des elektrischen Widerstands, die ein Leitungspaar verwendet, über das sowohl der Messstrom fließt als auch die Potentialdifferenz abgegriffen wird

4 Einflussgrößen der Widerstandsmessung

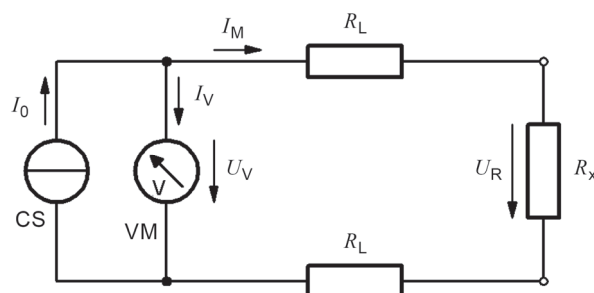
4.1 Allgemeines

Die Messung eines niederohmigen Widerstands basiert in der Regel auf der Messung einer kleinen Spannung, die einige Vorkehrungen gegen typische nachteilige Einflussgrößen wie Offsetspannungen, Funkfrequenzstörungen, elektromagnetische Störungen, elektrisches Rauschen oder nicht-ohmsche Kontakte erfordert. Diese Einflussgrößen werden in diesem hier jedoch nicht behandelt, da sie nicht speziell die Widerstandsmessung betreffen.

Die zu messende Spannung erhöht sich durch eine Steigerung des Messstroms, was ebenfalls zu nachteiligen Auswirkungen auf die Messung führen kann. Derartige Einflussgrößen werden in Abschnitt 4 beschrieben.

4.2 Zuleitungs- und Kontaktwiderstand

Ein herkömmliches Verfahren zur Messung eines Widerstandswertes ist die Verwendung einer Konstantstromquelle mit bekanntem (oder gemessenem) Ausgangsstrom und eines Spannungsmessgerätes zur Ermittlung der Spannung über dem zu messenden Widerstand, wobei die Verbindung durch ein einzelnes Prüflingpaar hergestellt wird, wie in Bild 1 angegeben.



Legende

CS Stromquelle

VM Spannungsmessgerät zur Ermittlung der Spannung U_V

R_L Zuleitungswiderstand, einschließlich Kontaktwiderstand zum Prüfling

R_x zu messender Widerstandswert

I_O Versorgungsstrom aus der Stromquelle

I_V Strom durch das Spannungsmessgerät

I_M Strom durch den zu messenden Widerstand

Bild 1 – Widerstandsmessung mit dem Zweidrahtverfahren

In dieser Schaltung teilt sich der Versorgungsstrom I_0 in den Strom I_M , der über den Pfad mit dem zu messenden Widerstand fließt, und den Strom I_V , der durch das Spannungsmessgerät fließt, auf, wobei I_V von der gemessenen Spannung U_V und vom Innenwiderstand des Spannungsmessgerätes R_V abhängt.

$$I_0 = I_M + I_V \quad (1)$$

$$I_V = \frac{U_V}{R_V} \quad (2)$$

Das Spannungsmessgerät ermittelt den folgenden Spannungsfall beim Strom I_M über dem Zuleitungs- und Kontaktwiderstand R_L sowie über dem zu messenden Widerstandswert R_x :

$$U_V = I_M \cdot (2R_L + R_x) \quad (3)$$

Daraus ergibt sich das scheinbare Ergebnis der Widerstandsmessung, R' , das aus der gemessenen Spannung U_V und dem bekannten Versorgungsstrom I_0 wie folgt berechnet wird:

$$R' = \frac{U_V}{I_0} = \frac{I_M}{I_M + I_V} \cdot (2R_L + R_x) = \frac{2R_L + R_x}{1 + \frac{2R_L + R_x}{R_V}} \quad (4)$$

Mit $I_V \rightarrow 0$, welches der Fall ist wenn $R_V \gg (2R_L + R_x)$, tendiert das scheinbare Ergebnis gegen:

$$R' = \frac{U_V}{I_0} = \frac{I_M}{I_M + 0} \cdot (2R_L + R_x) = 2R_L + R_x \quad (5)$$

Dieses scheinbare Endergebnis enthält noch den Messfehler ΔR :

$$\Delta R = R' - R_x = 2R_L \quad (6)$$

Dieser Fehler kann nur dann vernachlässigt werden, wenn $(2R_L) \ll R_x$, wobei die Vernachlässigbarkeit von der für die Messung von R_x erforderlichen Genauigkeit abhängt.

BEISPIEL 1 Eine 1 m lange Kupferleitung mit einem Querschnitt von 0,5 mm² hat einen Widerstand von 35 mΩ. Wird ein Paar dieser Leitungen für die Zweidrahtmessung eines 100 mΩ Widerstands verwendet, dann ergibt sich ein nicht annehmbarer Messfehler von 70 %. Der Strom durch das Spannungsmessgerät hat aufgrund seines begrenzten Innenwiderstands voraussichtlich keine Bedeutung für den Messfehler.

BEISPIEL 2 Bei Verwendung derselben Schaltung ergibt sich für die Messung eines 10 Ω Widerstands ein Messfehler von 0,7 %, wobei angenommen wird, dass der Strom durch das Spannungsmessgerät null beträgt. Dieser Messfehler von 0,7 % kann annehmbar sein, wenn die relative Grenzabweichung des Widerstandswertes mit ±10 % angegeben wird, jedoch nicht, wenn sie nur ±1 % beträgt.

Wird in dieser Schaltung ein Spannungsmessgerät mit einem Innenwiderstand von 1 MΩ eingesetzt, ergibt sich ein zusätzlicher Messfehler von nur -0,001 %, der im Vergleich zu dem durch die Zuleitungen verursachten Messfehler unerheblich ist. Weist das Spannungsmessgerät aber einen Innenwiderstand von nur 10 kΩ auf, dann beträgt der zusätzliche Messfehler -0,1 % und ist damit nicht mehr zu vernachlässigen.

BEISPIEL 3 Für einen Widerstand von 1 kΩ, der entsprechend den obigen Angaben gemessen wird, ist die beschriebene Schaltung selbst bei dem scheinbar geringen Messfehler von 0,007 % ungeeignet, wenn es sich um einen Präzisionswiderstand mit einer relativen Grenzabweichung von z. B. ±0,01 % handelt.

Wird in dieser Schaltung ein Spannungsmessgerät mit einem Innenwiderstand von 1 MΩ eingesetzt, ergibt sich ein zusätzlicher Messfehler von -0,1 %. Vergleicht man die absoluten Fehlerbeiträge, dann ist diese Auswirkung sogar größer als der durch die Zuleitungen verursachte Messfehler.

4.3 Eigenerwärmung

Der durch den zu messenden Widerstand mit dem Widerstandswert R_x fließende Prüfstrom I_M verursacht eine Verlustleistung P_R

$$P_R = I_M^2 \cdot R_x \quad (7)$$

Diese Verlustleistung P_R bewirkt eine Temperaturerhöhung am zu messenden Widerstand, die von der Fähigkeit des Messaufbaus oder der Prüfeinrichtung, Wärme an die Umgebung abzuführen, abhängt, welche als thermischer Widerstand R_{th} angegeben wird. Die konstante Temperaturerhöhung $\Delta \vartheta_{R\infty}$ am zu messenden Widerstand ist

$$\Delta \vartheta_{R\infty} = R_{th} \cdot P_R \quad (8)$$

die sich zur Umgebungstemperatur nahe am Prüfling, ϑ_{amb} , addiert und so zur Beharrungstemperatur $\vartheta_{R\infty}$ am zu messenden Widerstand führt, die wie folgt gegeben ist:

$$\vartheta_{R\infty} = \vartheta_{amb} + \Delta \vartheta_{R\infty} = \vartheta_{amb} + R_{th} \cdot P_R \quad (9)$$

ANMERKUNG Im Rahmen dieser Spezifikation gilt die Wärmeleitung aus dem zu messenden Widerstand als ein lineares System. Diese Annahme beruht auf der allgemeinen Beobachtung, dass Strahlung und Konvektion am Körper der meisten Widerstände niedriger Belastbarkeit in nur geringem Maße zur gesamten Wärmeableitung beitragen. Bei großen Widerständen, bei denen Strahlung und Konvektion an der Körperoberfläche eine größere Rolle spielen als die Wärmeleitung über die Anschlüsse oder Anschlussdrähte, kann eine komplexere Betrachtung angezeigt sein.

Die zeitliche Temperaturerhöhung $\vartheta_R(t)$ am zu messenden Widerstand vor Erreichen der Beharrungstemperatur wird durch die thermische Zeitkonstante τ_{th} des zu messenden Widerstands im Prüfaufbau oder in der Prüfeinrichtung bestimmt:

$$\vartheta_x(t) = \vartheta_{amb} + \Delta \vartheta_{R\infty} \cdot (1 - e^{-t/\tau_{th}}) \quad (10)$$

Die Kenntnis der thermischen Zeitkonstante τ_{th} ist für Messungen zur Ermittlung der Beharrungstemperatur sowie zur Bestimmung der zeitlichen Steuerung bei Schaltprüfungen erforderlich.

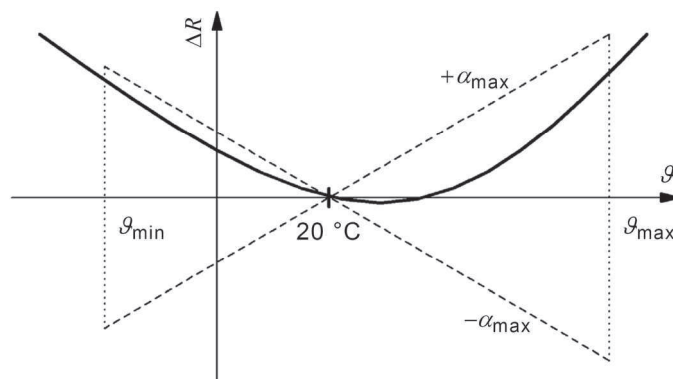
Die aufgrund der Eigenerwärmung erhöhte Temperatur am zu messenden Widerstand wirkt sich nicht nur auf den Prüfling aus, sondern führt auch zur Ausbreitung der Wärme in der Prüfeinrichtung oder im Prüfaufbau und beeinflusst ebenfalls die entsprechenden Teile der Messschaltung. Daher ist die erhöhte Temperatur die Grundursache für die Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes, wie in 4.4 dargelegt, und für die Thermo-EMK, wie in 4.5 beschrieben.

Die Eigenerwärmung wird verringert durch die möglichst starke Reduzierung des Messstroms I_M auf einen Wert, bei dem die für eine Messung mit gewünschter Genauigkeit erforderliche Spannung noch gegeben ist. Jedoch zählt die Einstellbarkeit des Messstroms üblicherweise nicht zu den Merkmalen von Widerstandsmessgeräten. Andere Möglichkeiten zur Verringerung der Eigenerwärmung sind die nur kurzzeitige Aktivierung des Messstroms, wie in Abschnitt 5 beschrieben, und natürlich die Erhöhung der Wärmeableitung vom Prüfling und von der Prüfeinrichtung.

4.4 Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes

Eine der in IEC 60115-1 für die Messung des Widerstandswertes festgelegten Bezugsbedingungen ist die Bezugstemperatur von 20 °C. Aus praktischen Gründen aber ist es für die meisten Prüfungen und Messungen zulässig, dass sie bei Normalklima für Prüfungen nach IEC 60068-1, das einen zulässigen Umgebungstemperaturbereich von 15 °C bis 35 °C umfasst, durchgeführt werden.

Bei einer mit hinreichender Genauigkeit vorgenommenen Messung ergibt sich für einen Widerstand, der bei 15 °C oder 35 °C gemessen wird, nicht derselbe Widerstandswert, der bei 20 °C ermittelt wird. Tatsächlich weisen nahezu alle Widerstandsbauarten eine Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes auf, die üblicherweise keiner linearen Beziehung folgt. Der Verlauf und die Größe der Abhängigkeit beruhen im Wesentlichen auf der Technologie und der Fertigung des Widerstands und in einigen Fällen auch auf dem tatsächlichen Widerstandswert.



Legende

- α Temperaturkoeffizient des Widerstandswertes
 ΔR Widerstandsänderung

**Bild 2 – Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes
(beliebiges Beispiel)**

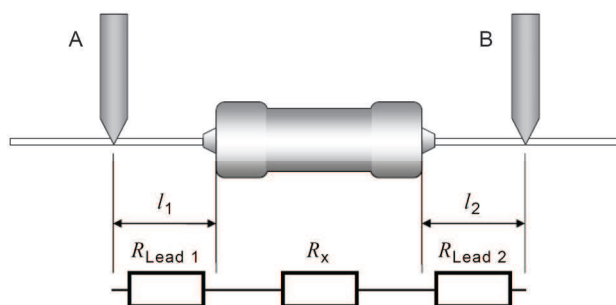
In einem Spezifikationsdiagramm für Widerstände wird die Begrenzung des zulässigen Bereichs für die Änderung des Widerstandswertes innerhalb eines festgelegten Temperaturbereichs üblicherweise durch zwei symmetrisch-lineare Kurven angegeben, die durch den Bezugspunkt bei 20 °C verlaufen, $+\alpha_{\max}$ und $-\alpha_{\max}$, wie in Bild 2 dargestellt. Dabei ist $\alpha_{\max}$ der absolute Wert des festgelegten Temperaturkoeffizienten des Widerstandswertes (TCR).

BEISPIEL 1 Dickschicht-Chipwiderstände mit einem Widerstandswert von bis zu 100 mΩ werden üblicherweise mit einem TCR von mindestens $500 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ angeboten. Der bei 35 °C gemessene Widerstandswert kann um $\pm 0,75\%$ von dem bei der Bezugstemperatur von 20 °C ermittelten Widerstandswert abweichen. Diese Abweichung kann annehmbar sein, wenn die relative Grenzabweichung des Widerstandswertes mit $\pm 10\%$ angegeben wird, nicht aber, wenn sie nur $\pm 1\%$ beträgt.

Mit der Dünnschicht- oder Metallfolientechnologie gefertigte Präzisionswiderstände können mit einem TCR von nur $5 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ angeboten werden. Der bei 15 °C oder 25 °C gemessene Widerstandswert weicht möglicherweise nur um $\pm 0,0025\%$ von dem bei der Bezugstemperatur ermittelten wahren Widerstandswert ab. Diese sehr geringe Abweichung wiederum kann bei einer festgelegten relativen Grenzabweichung für diese Widerstände von nur $\pm 0,01\%$ oder sogar besser als nicht annehmbar gelten.

Ein realer Widerstand umfasst nicht nur das aus einem speziellen Werkstoff gefertigte Widerstandselement, sondern ist an beiden Seiten auch mit Leitern zur Herstellung einer elektrischen Verbindung versehen. In einigen Fällen sind Form und effektive Länge dieser elektrischen Leiter festgelegt und sollten daher in eine Gesamtspezifikation des Widerstands aufgenommen werden. In anderen Fällen, z. B. bei Widerständen mit axialen Anschlüssen, wie in Bild 3 beispielhaft dargestellt, sind die elektrischen Leiter in Form von Anschlussdrähten mit großzügig bemessener Länge gebildet, die in der Schaltung üblicherweise nur zum Teil

verwendet werden und eine geeignete Festlegung verbindlicher Punkte für die Widerstandsmessung erfordern.



Legende

A, B Messsonden

l_1, l_2 Abstand des Messpunkts vom Widerstandskörper, wie nach IEC 60294 gemessen

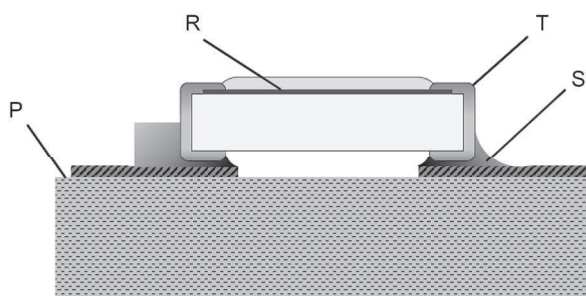
Bild 3 – Widerstandswerte bei einem Widerstand mit Anschlussdrähten

Die Anschlussdrähte bestehen im Allgemeinen aus einem hochleitfähigen Metall, dessen TCR üblicherweise weitaus größer als der TCR des Widerstandselementes ist. Eine typische Wahl ist Kupfer mit einer elektrischen Leitfähigkeit von $\gamma_{Cu} = 58 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ und einem TCR von $\alpha_{Cu} = 3\,800 \cdot 10^{-6}/\text{K}$.

BEISPIEL 2 Ein Widerstand von 100 mΩ kann mit Anschlussdrähten aus Kupfer, deren Durchmesser 0,5 mm beträgt, versehen sein. Werden die Messsonden auf jeder Seite in einem Abstand von 5 mm vom Widerstandskörper angebracht, dann ergibt sich für das Anschlussdrahtpaar bei 20 °C ein Beitrag von 0,88 mΩ und bei 35 °C ein Beitrag von 0,93 mΩ zum Gesamtwiderstand, was einem potenziellen Messfehler von nahezu 1 % entspricht.

Werden die Messsonden auf jeder Seite in einem Abstand von 21 mm vom Widerstandskörper angebracht, dann ergibt sich für die Anschlussdrähte bei 20 °C ein Beitrag von 3,7 mΩ und bei 35 °C ein Beitrag von 3,9 mΩ zum Gesamtwiderstand, was einem potenziellen Messfehler von nahezu 4 % entspricht.

Bei SMD-Chipwiderständen mögen die einzelnen Beiträge nicht so bedeutsam wie in dem zuvor angegebenen Beispiel eines Widerstands mit Anschlussdrähten sein. In Bild 4 aber ist ein Chipwiderstand mit dem auf der Oberseite befindlichen Widerstandselement und den um die Kanten herum bis zur Kontaktstelle mit der elektrischen Schaltung auf der Leiterplatte angebrachten Anschlüssen dargestellt. Jedes dieser Elemente weist üblicherweise seine eigene elektrische Leitfähigkeit und seinen eigenen TCR auf, die alle zum gesamten zu messenden Widerstandswert des Prüflings beitragen.



Legende

R Widerstandselement

T Anschluss

S Lötverbindung

P Leiterplatte

Bild 4 – SMD-Chipwiderstand auf einer Leiterplatte

BEISPIEL 3 Ein Chipwiderstand der Größe RR3216M kann mit um die Kanten herum gelegten Anschlüssen gefertigt sein, die mit einer 3 µm dicken Nickelschicht und einer darüber aufgetragenen 5 µm dicken Zinnschicht versehen sind. Bei einer Anschlussbreite von 1,6 mm und einer angenommenen effektiven Leiterlänge von 1 mm beträgt der Leiterwiderstand auf jeder Seite 7,8 mΩ bzw. insgesamt 15,6 mΩ. Ist der Widerstand z. B. mit 100 mΩ festgelegt, dann stellt dieser Anschlusswiderstand bereits 15,6 % dieses Wertes dar und dieser Beitrag ändert sich um 1 % je 64 µm der effektiven Leiterlänge.

Wird der Widerstand bei 35 °C gemessen, ergibt sich aufgrund eines effektiven TCR von etwa $5\,400 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ für die beiden Anschlussschichten ein kombinierter Leiterwiderstand von 16,8 mΩ.

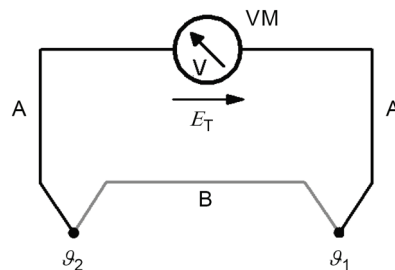
4.5 Thermo-EMK

Bei einem massiven Leiter, der einem Temperaturgradienten ausgesetzt wird, kommt es aufgrund der thermischen Diffusion zur Verschiebung von Ladungsträgern, die dazu führt, dass sich Elektronen zum kalten Ende hin bewegen. So entsteht ein elektrisches Feld vom warmen zum kalten Ende hin.

Zwei verschiedene Materialien, die zur Bildung einer elektrischen Schleife, in der die beiden Kontaktstellen unterschiedliche Temperaturen aufweisen, miteinander verbunden werden, bewirken, dass ein kontinuierlicher thermoelektrischer Schleifenstrom fließt. Wird die Schleife an einer beliebigen Stelle der Materialien geöffnet, ergibt sich eine messbare Thermo-EMK, E_T , wie in Bild 5 dargestellt.

Die Thermo-EMK, die als Seebeck-Effekt bezeichnet wird, hängt von den jeweiligen zwei Materialien und vom Temperaturunterschied zwischen den beiden Kontaktstellen ab. Die Thermospannung (Seebeck-Effekt) ist nicht linear und hängt von den jeweiligen Temperaturen ab. Für einen begrenzten Temperaturbereich aber ist es möglich, eine hinreichend große Linearität anzunehmen und so die Thermo-EMK E_T aus der Differenz der Seebeck-Koeffizienten α_S der beiden verbundenen Metalle und des Temperaturunterschieds ihrer Kontaktstellen zu berechnen.

$$E_T = (\alpha_{SB} - \alpha_{SA}) \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (11)$$



Legende

- VM Spannungsmessgerät zur Messung der Thermo-EMK, E_T
- A, B Drahtmaterialien
- ϑ_1, ϑ_2 Temperatur der Draht-Kontaktstellen

Bild 5 – Thermo-EMK

Die Seebeck-Koeffizienten können als absolute Zahlen oder bezogen auf ein zweites Material angegeben werden. Bei metallenen Leitern liegen die Koeffizienten üblicherweise in einem Bereich von einem bis einigen zehn Mikrovolt je Kelvin, während sie bei dotierten Halbleitermaterialien eher in der Größenordnung eines Millivolt je Kelvin liegen. In Tabelle 1 werden die relativen Seebeck-Koeffizienten α_S für einige potenziell relevante, mit Platin oder mit Kupfer verbundene Metalle angegeben.

Tabelle 1 – Relative Seebeck-Koeffizienten für ausgewählte Metalle

Metall	α_S für Platin $\mu\text{V/K}$	α_S für Kupfer $\mu\text{V/K}$
Chrom-Nickel	+22	+14,5
Eisen	+18,3	+10,8
Kupfer-Zink-Legierung	+11	+3,5
Kupfer	+7,5	± 0
Silber	+7,3	-0,2
Gold	+7	-0,5
Blei	+4,4	-3,1
Zinn	+4,2	-3,3
Aluminium	+3,9	-3,6
Platin	± 0	-7,5
Nickel	-15	-22,5
CuNi44 (z. B. Konstantan® ¹)	-33	-40,5
Die angegebenen Zahlen gelten für eine Bezugstemperatur von 0 °C. Die Seebeck-Koeffizienten α_S werden herkömmlicherweise auch in mV/100 K angegeben.		

Selbst die Kontaktstellen von Labor-Steckverbindern können eine Thermo-EMK erzeugen, da die für die Fertigung verwendeten speziellen Materialien vom Hersteller ausgewählt werden. Bei Steckverbindern, die für eine geringe thermische Aktivität ausgelegt sind, können die Koeffizienten weniger als ein Zehntel eines Mikrovolt je Kelvin betragen, während die Kontaktstellen herkömmlicher Produkte Koeffizienten von mehr als ein Mikrovolt je Kelvin aufweisen können.

Halbleitermaterialien spielen für die Konstruktion von Widerständen üblicherweise keine Rolle, abgesehen von Kupferoxid, für das ein Seebeck-Koeffizient von 1 mV/K bezogen auf Kupfer gilt. Jeder Versuch der Kontaktierung einer Kupferoberfläche sollte daher mit besonderer Vorsicht vorgenommen werden.

Bei den meisten Widerständen sind mehrere unterschiedliche Metalle in Reihe angeordnet.

- Bei einem Drahtwiderstand ist vielleicht nur der Widerstandsdraht aus Konstantan® an die beidseitigen Anschlussdrähte aus Kupfer oder kupferkaschiertem Stahl angeschweißt, oder ist der Widerstandsdraht am Rand der Anschlusskappen aus Stahl, an denen die Anschlussdrähte mittig befestigt sind, angeschweißt.
- Ein Schichtwiderstand mit axialen Anschlussdrähten kann mit Anschlusskappen aus Stahl versehen sein, die auf die Nickelchrom-Widerstandsschicht gepresst wurden, bevor die kupfernen Anschlussdrähte in der Kappenmitte angeschweißt wurden.
- Bei einem SMD-Chipwiderstand kann ein planarer Kontakt der Nickelchrom-Widerstandsschicht mit der Innenschicht des Anschlusssystems gegeben sein, das üblicherweise mit einer Zinn- oder Nickelschicht abgeschlossen ist.

Diese Bauelemente werden in Prüfeinrichtungen mit Spitzen oder Klemmen in Kontakt gebracht, die sehr wahrscheinlich aus einem anderen Metall als die Anschlussdrähte oder die Anschlüsse des Bauelements bestehen. Oder sie werden auf eine Leiterplatte gelötet, wobei die Verbindungen zu den aufgedruckten Kupferleitern üblicherweise aus einer Zinnlegierung bestehen. Bild 6 zeigt die Reihenfolge unterschiedlicher

¹ Konstantan® ist ein Beispiel für ein handelsübliches Produkt. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch IEC.