

	DIN EN IEC 61788-23 (VDE 0390-23)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
<p>ICS 29.050</p> <p>Supraleitfähigkeit – Teil 23: Messung des Restwiderstandsverhältnisses – Restwiderstandsverhältnis von Nb-Supraleitern (IEC 61788-23:2018); Deutsche Fassung EN IEC 61788-23:2018</p> <p>Superconductivity – Part 23: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb superconductors (IEC 61788-23:2018); German version EN IEC 61788-23:2018</p> <p>Supraconductivité – Partie 23: Mesurage du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs de Nb (IEC 61788-23:2018); Version allemande EN IEC 61788-23:2018</p> <p>Gesamtumfang 32 Seiten</p> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2018-07-10 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2019-08-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61788-23 (VDE 0390-23):2016-12.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 90 „Superconductivity“ 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.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815:2015	a	–
EN 61788 (alle Teile)	IEC 61788 (alle Teile)	DIN EN 61788 (VDE 0390) (alle Teile)	VDE 0390
EN 61788-4:2016	IEC 61788-4:2016	DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4):2017-01	VDE 0390-4
EN 61788-10:2006	IEC 61788-10:2006	DIN EN 61788-10 (VDE 0390-10):2007-05	VDE 0390-10
–	ISO/IEC Guide 98-3:2008	–	–
–	ISO/IEC Guide 99:2007	–	–
a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61788 (VDE 0390) (alle Teile), *Supraleitfähigkeit*

DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4):2017-01, *Supraleitfähigkeit – Teil 4: Messung des Restwiderstandsverhältnisses – Restwiderstandsverhältnis von Nb-Ti und Nb₃Sn Verbundsupraleitern (IEC 61788-4:2016); Deutsche Fassung EN 61788-4:2016*

DIN EN 61788-10 (VDE 0390-10):2007-05, *Supraleitfähigkeit – Teil 10: Messung der kritischen Temperatur – Kritische Temperatur von Verbundsupraleitern, bestimmt durch ein Widerstandsmessverfahren (IEC 61788-10:2006); Deutsche Fassung EN 61788-10:2006*

Supraleitfähigkeit –
Teil 23: Messung des Restwiderstandsverhältnisses –
Restwiderstandsverhältnis von Nb-Supraleitern
(IEC 61788-23:2018)

Superconductivity –
Part 23: Residual resistance ratio measurement –
Residual resistance ratio of Nb superconductors
(IEC 61788-23:2018)

Supraconductivité –
Partie 23: Mesurage du rapport de résistance
résiduelle –
Rapport de résistance résiduelle des
supraconducteurs de Nb
(IEC 61788-23:2018)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2018-07-10 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

© 2018 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 61788-23:2018 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 90/400/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 61788-23, erarbeitet vom IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 61788-23:2018 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): 2019-04-10
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2021-07-10

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 61788-23:2018 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 61788-4:2016	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61788-4:2016 (nicht modifiziert).
IEC 61788-10:2006	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61788-10:2006 (nicht modifiziert).

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 60050-815	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity	–	–

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Prinzip des Verfahrens	8
5 Messgeräte	9
5.1 Spulenkörper oder Messplatine.....	9
5.2 Kryostat und Befestigung des Messspulenkörpers oder der Messplatine	9
6 Probenvorbereitung	10
7 Messtechnik und Auswertung	11
7.1 Messtechnik.....	11
7.2 Widerstand (R_1) bei Raumtemperatur	11
7.3 Restwiderstand (R_2) direkt über dem supraleitenden Übergang.....	11
7.4 Validierung der Restwiderstandsmessung	13
7.5 Restwiderstandsverhältnis.....	13
8 Messunsicherheit des Prüfverfahrens	13
9 Prüfbericht	13
9.1 Allgemeines	13
9.2 Informationen zur Messung	13
9.3 Informationen zur Probe	13
9.4 Messbedingungen	14
9.5 Restwiderstandsverhältnis (RRR)	14
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zur Messung des Restwiderstandsverhältnisses (RRR).....	15
A.1 Betrachtungen bezüglich Proben und Messaufbau	15
A.2 Betrachtungen zur Ausrichtung bei der Probenmontage	16
A.3 Alternative Verfahren zur Anhebung der Probentemperatur über die Temperatur des Übergangs zur Supraleitung.....	16
A.3.1 Allgemeines	16
A.3.2 Heizelementverfahren	16
A.3.3 Definierte Verfahren	16
A.4 Andere Prüfverfahren	16
A.4.1 Allgemeines	16
A.4.2 Messung des Widerstandes in Abhängigkeit der Zeit.....	17
A.4.3 Vergleich von Gefrierpunkt und Raumtemperatur.....	17
A.4.4 Extrapolation des Widerstandes zu 4,2 K	18
A.4.5 Benutzung eines magnetischen Feldes zur Unterdrückung der Supraleitung bei 4,2 K.....	18

A.4.6 Wechselstromverfahren	18
Anhang B (informativ) Messunsicherheitsbetrachtungen.....	19
B.1 Überblick	19
B.2 Definitionen	19
B.3 Betrachtung des Konzeptes der Messunsicherheit.....	20
B.4 Beispiel für eine Bestimmung von Messunsicherheiten für TC 90-Normen	21
Anhang C (informativ) Abschätzung der Messunsicherheit des Widerstandsverhältnisses von Nb-Supraleitern	23
C.1 Bestimmung der Messunsicherheit.....	23
C.1.1 Messunsicherheit der Raumtemperaturmessung	23
C.1.2 Messunsicherheit der Tieftemperaturmessung.....	24
C.1.3 Bestimmung der Messunsicherheit unter typischen Prüfbedingungen.....	26
C.2 Zusammenfassung des Rundversuchs.....	27
Literaturhinweise	28

Bilder

Bild 1 – Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand nahe am supraleitenden Übergang.....	8
Bild A.1 – Bestimmung des Wertes R_2 aus einer Widerstand-Zeit-Kurve.....	17
Bild C.1 – Graphische Darstellung der Messunsicherheit der Regression bezogen auf die Messung von R_2	25

Tabellen

Tabelle B.1 – Ausgangssignale von zwei nominell identischen Dehnungsmessgeräten	20
Tabelle B.2 – Mittelwerte von zwei Ausgangssignalen	20
Tabelle B.3 – Experimentelle Standardabweichungen von zwei Ausgangssignalen.....	21
Tabelle B.4 – Standardmessunsicherheiten von zwei Ausgangssignalen.....	21
Tabelle B.5 – Variationskoeffizienten für zwei Ausgangssignale	21
Tabelle C.1 – Messunsicherheit der gemessenen Parameter	26
Tabelle C.2 – Werte des Restwiderstandsverhältnisses aus dem Rundversuch.....	27

Einleitung

Hochreines Niob ist das hauptsächlich verwendete Material bei der Herstellung von supraleitenden Hochfrequenz-Kavitäten. Niob ähnlicher Güte kann für die Herstellung von supraleitenden Drähten verwendet werden. Für Zwecke der Beschaffung von Rohmaterialien und zur Qualitätssicherung für die gelieferten Produkte wird oft das Restwiderstandsverhältnis (RRR) (en: residual resistance ratio) herangezogen, um die Reinheit eines Metalls zu spezifizieren oder zu bewerten. Für andere Metalle als Niob ist das Restwiderstandsverhältnis definiert als das Verhältnis des elektrischen Widerstands, gemessen bei Raumtemperatur (293 K), zum elektrischen Widerstand derselben Probe, gemessen bei tiefer Temperatur ($\sim 4,2$ K). Der Tieftemperaturwiderstand wird oft Restwiderstand genannt. Höhere Reinheiten sind assoziiert mit höheren Werten für das Restwiderstandsverhältnis.

Niob zeigt aufgrund seines Überganges zum supraleitenden Zustand bei $\sim 9,2$ K spezielle Probleme, denn dadurch bedingt ist der elektrische Gleichstromwiderstand unterhalb dieser Temperatur effektiv null. Mit der obigen Definition ergäbe sich somit ein unendlicher Wert für das Restwiderstandsverhältnis. In dieser Internationalen Norm wird ein Prüfverfahren beschrieben, bei dem das Restwiderstandsverhältnis aus der graphischen Darstellung des Widerstandes in Abhängigkeit des Transportstroms bestimmt wird. Dabei wird die Probe in Abwesenheit eines angelegten magnetischen Felds sukzessive bis durch den supraleitenden Übergang hindurch erwärmt. Dies resultiert in einer Bestimmung des Restwiderstandes bei einer Temperatur von ~ 10 K, also gerade eben oberhalb des Übergangs zur Supraleitung. Aus diesem Wert wird anschließend das Restwiderstandsverhältnis bestimmt.

Auch für die Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses von supraleitenden Drähten existieren internationale Normen. Im Gegensatz zu supraleitenden Drähten, welche gewöhnlich eine Verbindung aus supraleitenden und nicht-supraleitenden Materialien sind, und bei denen das Restwiderstandsverhältnis nur repräsentativ für die supraleitende Komponente ist, besteht hier die gesamte Probe aus supraleitendem Niob. Niob steht üblicherweise in Form eines Bleches, Barrens oder Rohres, nicht aber als Draht zur Verfügung. Für solche Formen werden Probenkörper wahrscheinlich Dimensionen von einigen Millimetern transversal zur elektrischen Stromrichtung aufweisen. Dieser Unterschied ist für die Durchführung von Messungen des elektrischen Widerstands nicht unerheblich, da Niob-Proben wahrscheinlich für das gleiche Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis deutlich länger sind als ein Draht, und höhere elektrische Ströme benötigt werden, um ausreichende Spannungssignale zu erzeugen. Eine Anleitung für die Dimensionierung von Proben und elektrischen Anschlüssen ist in [Anhang A](#) beschrieben. Ein Prüfaufbau sollte auch Aspekte wie die Orientierung des Probenkörpers im Verhältnis zur Oberfläche des flüssigen Heliums, die Zugänglichkeit der Anschlüsse durch Öffnungen in gängigen Dewargefäßen für flüssiges Helium, das Design der Stromkontakte und die Minimierung des thermischen Gradienten über große Probenlängen in Betrachtung ziehen. Diese Aspekte unterscheiden die vorliegende Internationale Norm von verwandten Normen für Drähte.

Es sind verschiedene andere Prüfverfahren angewendet worden, um das Restwiderstandsverhältnis zu bestimmen. In einigen Verfahren wird für den hohen Widerstandswert eine Messung bei einer von 293 K abweichenden Temperatur verwendet. Einige Verfahren nutzen für den niedrigen Widerstandswert eine Extrapolation bei 4,2 K. Ein Vergleich zwischen dem Verfahren dieser Norm und anderen Prüfverfahren wird in [Anhang A](#) dargestellt. Es sollte angemerkt werden, dass bei diesen anderen Verfahren Abweichungen von bis zu 10 % auftreten, was größer als die angestrebte Unsicherheit nach dieser Norm ist. Aus diesem Grund sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass diese Norm angewendet wird, oder die dazu angegebenen Korrekturen, die entsprechend dem verwendeten Prüfverfahren in [Anhang A](#) aufgelistet sind.

Wann immer möglich sollte dieses Prüfverfahren an Händler und Kooperationspartner gegeben werden, die ebenfalls Messungen des Restwiderstandsverhältnisses durchführen. Um die Konsistenz zu fördern, sind die Ergebnisse von Vergleichs-Rundversuchen zwischen verschiedenen Laboren ebenfalls in [Anhang A](#) wiedergegeben.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der internationalen Normenreihe IEC 61788 „Supraleitfähigkeit“, beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses (RRR), r_{RRR} , von Niob mit Kavitäts-Güte. Dieses Verfahren ist für hochreines Niob mit $15 < r_{RRR} < 600$ vorgesehen. Das Prüfverfahren sollte gültig sein für Proben mit einem rechteckigen oder runden Querschnitt mit einer Querschnittsfläche größer als 1 mm^2 aber kleiner als 20 mm^2 , und einer Länge, die nicht kleiner ist als das 10-Fache und nicht größer ist als das 25-Fache der Breite oder des Durchmessers der Probe.

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 60050-815, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 815: Superconductivity* (verfügbar unter: www.electropedia.org)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-815 und die folgenden Begriffe.

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

Restwiderstandsverhältnis

RRR (en: residual resistance ratio)

Verhältnis des Widerstands bei Raumtemperatur zu dem Widerstand unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung

$$r_{RRR} = R_1 / R_2 \quad (1)$$

dabei ist R_1 der Widerstand bei 293 K und R_2 der Widerstand direkt oberhalb des Übergangs zur Supraleitung bei $\sim 10 \text{ K}$.