

	DIN EN IEC 61788-4 (VDE 0390-4)	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>Ersatz für DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4):2017-01 Siehe Anwendungsbeginn</p> <p>Supraleitfähigkeit – Teil 4: Messung des Restwiderstandsverhältnisses – Restwiderstandsverhältnis von Nb-Ti und Nb₃Sn Verbundsupraleitern (IEC 61788-4:2020); Deutsche Fassung EN IEC 61788-4:2020</p> <p>Superconductivity – Part 4: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb-Ti and Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-4:2020); German version EN IEC 61788-4:2020</p> <p>Supraconductivité – Partie 4: Mesurage du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des composites supraconducteurs de Nb-Ti et de Nb₃Sn (IEC 61788-4:2020); Version allemande EN IEC 61788-4:2020</p> <p>Gesamtumfang 37 Seiten</p> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2020-04-24 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2021-03-01.

Für **DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4):2017-01** besteht eine Übergangsfrist bis 2023-04-24.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 61788-4 (VDE 0390-4):2019-04.

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.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 90 „Superconductivity“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

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.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4):2017-01** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung des für eine zuverlässige Messung benötigten Abstandes der Spannungskontakte auf der Probe;
- b) neuer Bericht über die Ergebnisse der Vergleichsversuche (Round Robin Test) zum Restwiderstandsverhältnis in Nb₃Sn Verbundsupraleitern, der die Richtigkeit des in dieser Norm dargelegten Messverfahrens zeigt;
- c) Überarbeitung der unklaren Definitionen des Kupferverhältnisses und des Kupferanteils.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61788-4 (VDE 0390-4): 2002-07, 2008-04, 2012-03, 2017-01

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	a	
EN 61788 (alle Teile)	IEC 61788 (alle Teile)	DIN EN 61788 (VDE 0390) (alle Teile)	VDE 0390
–	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 – Teil 1: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb-Ti-Verbundsupraleitern*

Supraleitfähigkeit –
Teil 4: Messung des Restwiderstandsverhältnisses –
Restwiderstandsverhältnis von Nb-Ti und Nb₃Sn Verbundsupraleitern
(IEC 61788-4:2020)

Superconductivity –
Part 4: Residual resistance ratio measurement –
Residual resistance ratio of Nb-Ti and Nb₃Sn
composite superconductors
(IEC 61788-4:2020)

Supraconductivité –
Partie 4: Mesurage du rapport de résistance
résiduelle –
Rapport de résistance résiduelle des
composites supraconducteurs de Nb-Ti et de
Nb₃Sn
(IEC 61788-4:2020)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2020-04-24 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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

© 2020 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 61788-4:2020 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 90/448/FDIS, zukünftige 5. Ausgabe der IEC 61788-4, erarbeitet vom IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 61788-4:2020 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): 2021-01-24
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2023-04-24

Dieses Dokument ersetzt **EN 61788-4:2016** und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden).

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 61788-4:2020 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

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	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Verfahren	9
5 Geräte	9
5.1 Material des Messspulenkörpers oder der Messplatine	9
5.2 Durchmesser des Messspulenkörpers und Länge der Messplatine	9
5.3 Kryostat für die Messung des Widerstands R_2	10
6 Probenvorbereitung	10
7 Messung und Auswertung	10
7.1 Widerstand (R_1) bei Raumtemperatur	10
7.2 Widerstände (R_2 oder R_2^*) unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung	10
7.2.1 Korrektur des Dehnungseffektes	10
7.2.2 Messung des Tieftemperaturwiderstandes	11
7.2.3 Optionale Bestimmungsverfahren	13
7.3 Korrektur des gemessenen Widerstands R_2^* in Nb-Ti-Verbundsupraleitern hinsichtlich der Biegedehnung	13
7.4 Restwiderstandsverhältnis (RRR)	13
8 Messunsicherheit und Stabilität des Messverfahrens	13
8.1 Temperatur	13
8.2 Spannung	13
8.3 Strom	14
8.4 Abmessungen	14
9 Prüfbericht	14
9.1 RRR-Wert	14
9.2 Probe	14
9.3 Prüfbedingungen	15
9.3.1 Messung von R_1 und R_2	15
9.3.2 Messung von R_1	15
9.3.3 Messung von R_2	15
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zur Messung des Restwiderstandsverhältnisses (RRR)	16
A.1 Empfehlung zur Ausrichtung der Probe bei der Montage	16

A.2	Alternative Verfahren zur Anhebung der Probentemperatur über die Temperatur des Übergangs zur Supraleitung	16
A.3	Alternative Verfahren zur Messung von R_2 oder R_2^*	16
A.4	Abhängigkeit des Restwiderstandsverhältnisses von der Biegedehnung in Nb-Ti-Verbundsupraleitern	18
A.5	Verfahren zur Korrektur des Einflusses der Biegedehnung.....	22
Anhang B (informativ) Messunsicherheitsbetrachtungen.....		23
B.1	Überblick	23
B.2	Definitionen	23
B.3	Betrachtung des Konzeptes der Messunsicherheit.....	24
B.4	Beispiel für eine Bestimmung von Messunsicherheiten für IEC/TC 90-Normen	25
Anhang C (informativ) Abschätzung der Messunsicherheit beim Messverfahren zur Bestimmung von RRR in Nb-Ti- und Nb ₃ Sn-Verbundsupraleitern		27
C.1	Bestimmung der Messunsicherheit.....	27
C.2	Zusammenfassung der Vergleichsversuche (Round Robin Test) zum Restwiderstandsverhältnis in einem Nb-Ti-Verbundsupraleiter	30
C.3	Ursache für den hohen Variationskoeffizienten im Vergleichstest in Nb ₃ Sn Verbundsupraleitern	31
Literaturhinweise		33

Bilder

Bild 1	– Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand.....	9
Bild 2	– Kurven für die Spannung als Funktion der Temperatur und Definitionen der Spannungen	11
Bild A.1	– Definition der Spannungen	17
Bild A.2	– Abhängigkeit des Restwiderstandsverhältnisses (RRR) von der Biegedehnung für die Reinkupfermatrix von Nb-Ti-Verbundsupraleitern (Vergleich zwischen gemessenen Werten und berechneten Werten)	19
Bild A.3	– Abhängigkeit des Restwiderstandsverhältnisses (RRR) von der Biegedehnung für runde Kupferdrähte.....	20
Bild A.4	– Abhängigkeit des normierten Restwiderstandsverhältnisses (RRR) von der Biegedehnung für runde Kupferdrähte.....	20
Bild A.5	– Abhängigkeit des Restwiderstandsverhältnisses (RRR) von der Biegedehnung für rechteckige Kupferdrähte	21
Bild A.6	– Abhängigkeit des normierten Restwiderstandsverhältnisses (RRR) von der Biegedehnung für rechteckige Kupferdrähte	21
Bild C.1	– Verteilung der gemessenen Restwiderstandsverhältnisse (RRR) von Cu/Nb-Ti Verbundsupraleitern	31

Tabellen

Tabelle A.1	– Minimaler Durchmesser des Messspulenkörpers für runde Drähte.....	22
Tabelle A.2	– Minimaler Durchmesser des Messspulenkörpers für rechteckige Drähte	22
Tabelle B.1	– Ausgangssignale von zwei nominell identischen Dehnungsmessgeräten	24
Tabelle B.2	– Mittelwerte von zwei Ausgangssignalen	24

	Seite
Tabelle B.3 – Experimentelle Standardabweichungen von zwei Ausgangssignalen	25
Tabelle B.4 – Standardmessunsicherheiten von zwei Ausgangssignalen	25
Tabelle B.5 – Variationskoeffizienten COV für zwei Ausgangssignale	25
Tabelle C.1 – Messunsicherheit der einzelnen Messgrößen	30
Tabelle C.2 – Erhaltene Werte für das Restwiderstandsverhältnis der sechs Nb ₃ Sn-Proben.....	31
Tabelle C.3 – Mittelwert /AVE), Standardabweichung (STD) und Variationskoeffizient (COV) der sechs Proben.....	32

Einleitung

Kupfer, Cu/Cu-Ni oder Aluminium wird als Matrixmaterial zur Stabilisierung in Nb-Ti- und Nb₃Sn-Verbund-supraleitern verwendet und wirkt als elektrischer Shuntwiderstand, wenn die Supraleitung unterbrochen wird. Es trägt außerdem zu der Wiederherstellung der Supraleitung bei, indem es die im Supraleiter erzeugte Wärme nach außen an das Kühlmittel ableitet. Der spezifische Widerstand des in einem Verbundsupraleiter eingesetzten Kupfers im Tieftemperaturbereich ist eine wichtige Größe, welche die Stabilität sowie die Wechselstromverluste des Supraleiters beeinflusst. Das Restwiderstandsverhältnis ist definiert als das Verhältnis des Widerstands des Supraleiters bei Raumtemperatur zu dem Widerstand unmittelbar oberhalb des Übergangs vom normalleitenden Zustand zum supraleitenden Zustand.

In diesem Dokument wird das Messverfahren zur Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses von Nb-Ti- und Nb₃Sn-Verbundsupraleitern festgelegt. Für die Messung des Widerstands unmittelbar oberhalb des Übergangs von der Normalleitung zur Supraleitung wird das Verfahren mit gemessenen Spannungskurven angewendet. Weitere Verfahren werden in Abschnitt [A.3](#) beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Internationalen Normenreihe IEC 61788 „Supraleitfähigkeit“ spezifiziert ein Messverfahren zur Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses (RRR, en: residual resistance ratio) von Nb-Ti Verbundsupraleitern mit Cu-, Cu-Ni-, Cu/Cu-Ni- und Al-Matrix, sowie Nb₃Sn-Verbundsupraleitern, in belastungsfreiem Zustand bei fehlendem externen magnetischen Feld. Dieses Verfahren ist vorgesehen zur Anwendung bei Supraleitern, die eine monolithische Struktur mit rechteckigem oder rundem Querschnitt, ein Restwiderstandsverhältnis kleiner als 350 und eine Querschnittfläche kleiner als 3 mm² aufweisen. Im Fall von Nb₃Sn wurde an den Proben eine Reaktionswärmebehandlung durchgeführt.

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 <http://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

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung besitzt nur für die französische Sprache Gültigkeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: In diesem Teil des Dokuments wird für Nb-Ti- und Nb₃Sn-Verbundsupraleiter die Raumtemperatur mit 293 K (20 °C) definiert und das Restwiderstandsverhältnis des Verbundleiters wird nach der unten stehenden Gleichung (1) bestimmt, wobei der Widerstand (R_1) bei 293 K dividiert wird durch den Widerstand (R_2) unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung.

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

Dabei ist r_{RRR} ein Wert für das Restwiderstandsverhältnis. Der Tieftemperaturwiderstand R_2 ist ein Wert des Widerstands gemessen in belastungsfreiem Zustand bei fehlendem externen magnetischen Feld.

Bild 1 zeigt schematisch eine Kurve für den Widerstand als Funktion der Temperatur, aufgenommen an einer Probe während der Messung des Widerstands bei tiefen Temperaturen.