

	DIN EN 61788-2 (VDE 0390-2)	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
ICS 29.050 Ersatz für DIN EN 61788-2 (VDE 0390-2):2000-03 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Supraleitfähigkeit – Teil 2: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern (IEC 61788-2:2006); Deutsche Fassung EN 61788-2:2007 Superconductivity – Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-2:2006); German version EN 61788-2:2007 Supraconductivité – Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn (CEI 61788-2:2006); Version allemande EN 61788-2:2007 Gesamtumfang 40 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-12-01 angenommene EN 61788-2 gilt als DIN-Norm ab 2007-09-01.

Daneben darf **DIN EN 61788-2 (VDE 0390-2):2000-03** noch bis 2009-12-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61788-2 (VDE 0390-2):2005-06.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

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

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61788-2 (VDE 0390-2):2000-03** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Eine Reihe von Begriffen und Definitionen wurden neu eingeführt sowie ein Abschnitt zum Messprinzip und zum Messaufbau. Verschiedene Spezifikationen bzw. Maße sind neu oder wurden präzisiert. Der Anhang A (zusätzliche Informationen) ist teilweise detaillierter ausgeführt, ein neuer Anhang D behandelt ausführlich die Ein-Spulenkörper-Methode.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61788-2 (VDE 0390-2):2000-03

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815:2000	IEV Teil 815:2001-06	–
EN 61788-1:2007	IEC 61788-1:2006	DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1):2007-09	VDE 0390-1

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1):2007-09, *Supraleitfähigkeit – Teil 1: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb-Ti-Verbundsupraleitern (IEC 61788-1:2006); Deutsche Fassung EN 61788-1:2007*

IEV Teil 815:2001-06, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 815: Supraleitung – Hauptabschnitt 815-01: Eigenschaften von Supraleitern (IEC 60050-815:2000-11)*

– Leerseite –

Supraleitfähigkeit –
Teil 2: Messen des kritischen Stromes –
Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern
(IEC 61788-2:2006)

Superconductivity –
Part 2: Critical current measurement –
DC critical current of Nb₃Sn composite
superconductors
(IEC 61788-2:2006)

Supraconductivité –
Partie 2: Mesure du courant critique –
Courant critique continu des supraconducteurs
composites Nb₃Sn
(CEI 61788-2:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-12-01 angenommen. Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat 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, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2007 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61788-2:2007 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 90/195/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61788-2, ausgearbeitet von dem IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-12-01 als EN 61788-2 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61788-2:1999.

Die Änderungen gegenüber EN 61788-2:1999 sind fast vollständig editoriell und beinhalten keine wesentlichen technischen Änderungen. Ein neuer normativer Anhang D wurde hinzugefügt, in dem die Bestimmungen des Ein-Spulenkörper-Verfahrens beschrieben sind.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2007-09-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-12-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-2:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung ist unter „Literaturhinweise“ zu der aufgelisteten Norm die nachstehende Anmerkung einzutragen:

IEC 61788-1 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61788-1:2007 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Prinzip	8
5 Anforderungen	8
6 Geräte	8
6.1 Material des Glühzylinders.....	9
6.2 Konstruktion des Glühzylinders	9
6.3 Material des Messspulenkörpers	9
6.4 Konstruktion des Messspulenkörpers.....	9
6.5 Messaufbau	9
7 Probenvorbereitung	10
7.1 Montage der Probe für die Glühbehandlung.....	10
7.2 Glühbehandlung.....	10
7.3 Montage der Probe für die Messung	10
7.4 Fixieren der Probe	11
8 Messungen	11
9 Genauigkeit des Prüfverfahrens	12
9.1 Kritischer Strom	12
9.2 Temperatur	12
9.3 Magnetfeld	12
9.4 Halterung der Probe	12
9.5 Schutz der Probe	12
10 Auswertung der Messergebnisse	13
10.1 Kriterien für den kritischen Strom	13
10.2 n -Wert	14
11 Prüfbericht	14
11.1 Identifizierung der geprüften Probe	14
11.2 Bericht über die I_c -Werte	14
11.3 Bericht über die Prüfbedingungen	15
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information bezüglich der Abschnitte 1 bis 10	16
Anhang B (informativ) Verformungseffekt bei Nb ₃ Sn-Supraleitern	28
Anhang C (informativ) Eigenfeld-Effekt.....	30
Anhang D (normativ) Ein-Spulenkörper-Methode.....	32
Literaturhinweise	35

Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren
entsprechenden europäischen Publikationen 36

Bild 1 – Intrinsische U - I -Kennlinie 13

Bild 2 – U - I -Kennlinie mit einer Stromtransfer-Komponente 13

Bild A.1 – Ausrüstung der Probe mit einer Nullspannungsschleife 21

Bild B.1 – Abhängigkeit des kritischen Stroms eines typischen Nb_3Sn -Verbundsupraleiters von der
Verformung bei einachsiger Zugspannung, dargestellt für verschiedene Magnetfelder..... 29

Tabelle A.1 – Thermische Kontraktion von Nb_3Sn -Supraleitern und ausgewählten Materialien 27

Einleitung

Die kritischen Ströme von Verbundsupraleitern werden benutzt, um Grenzwerte für die Dimensionierung bei Anwendungen von supraleitenden Drähten festzulegen. Die Betriebsbedingungen von Supraleitern bei diesen Anwendungen sind maßgebend für ihr Verhalten, und Prüfungen, die mit dem in dieser Norm beschriebenen Prüfverfahren durchgeführt werden, können dazu dienen, einen Teil der Informationen zur Ermittlung der Eignung eines speziellen Supraleiters zu liefern.

Mit diesem Prüfverfahren erhaltene Ergebnisse können auch herangezogen werden, um Änderungen der supraleitenden Eigenschaften eines Verbundsupraleiters festzustellen, die durch Änderungen der Herstellungsparameter, durch Handhabung, Alterung oder andere Anwendungen oder Umwelteinflüsse verursacht werden. Dieses Verfahren ist geeignet zur Qualitätskontrolle, für Abnahmeprüfungen oder wissenschaftliche Prüfungen, wenn die in dieser Norm angegebenen Vorschriften beachtet werden.

Der kritische Strom von Verbundsupraleitern hängt von vielen Variablen ab. Diese Variablen müssen sowohl bei der Prüfung als auch bei der Anwendung dieser Materialien in Betracht gezogen werden. Die Prüfbedingungen, wie zum Beispiel das Magnetfeld, die Temperatur, die relative Ausrichtung der Probe und der Strom, werden bestimmt durch die spezielle Anwendung. Die Konfiguration der Prüfanordnung kann durch den speziellen Leiter aufgrund bestimmter Toleranzen festgelegt werden. Das Kriterium für den kritischen Strom kann durch die besondere Anwendung bestimmt werden. Es kann zweckmäßig sein, die Messungen an einer Reihe von Proben durchzuführen, wenn bei den Messungen Unregelmäßigkeiten auftreten.

Das in dieser internationalen Norm dargestellte Prüfverfahren basiert auf dem Verfahren zur Bestimmung des kritischen Stroms (Gleichstroms) von Cu/Nb-Ti-Verbundsupraleitern ([IEC 61788-1 \[2\]^{1\)}](#)) und der in VAMAS (Versailles project on advanced materials and standards) zur Normung vorbereiteten Arbeit über den kritischen Strom von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern. Im Vergleich zu Cu/Nb-Ti-Supraleitern ist der kritische Strom von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern bekanntlich in starkem Maße empfindlich gegen mechanische Verformung. Daher werden einige Modifikationen des Prüfverfahrens vorgenommen, das andernfalls den mechanischen Spannungszustand einer Probe beeinflussen kann. Siehe [Anhang B](#) zum Hintergrund dieser Modifikationen.

¹⁾ Zahlenangaben in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise im Anhang.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61788 behandelt ein Prüfverfahren für die Bestimmung des kritischen Stroms (Gleichstroms) von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern, die entweder nach dem Bronze-Prozess oder dem Zinn-Diffusions-Prozess hergestellt werden und die ein Verhältnis von Kupfer/Nicht-Kupfer haben, das größer als 0,2 ist.

Dieses Verfahren ist vorgesehen zur Anwendung bei Supraleitern, deren kritische Ströme kleiner als 1000 A sind und deren Kennlinien-Exponenten n größer als 12 sind, unter den genormten Prüfbedingungen und bei Magnetfeldern, die kleiner als oder gleich dem 0,7fachen des oberen kritischen Magnetfelds sind. Die Leiterprobe wird während der Prüfung in ein Flüssig-Helium-Bad getaucht. Die Nb₃Sn-Verbundleiter-Probe hat eine monolithische Struktur mit einer gesamten runden Querschnittsfläche, die kleiner als 2 mm² ist. Die bei diesem Prüfverfahren benutzte Probengeometrie ist eine als Spule gewickelte Leiterprobe. Abweichungen von diesem Prüfverfahren, die für Routineprüfungen erlaubt sind, und andere spezielle Vorschriften werden in dieser Norm angegeben.

Nb₃Sn-Supraleiter mit kritischen Strömen über 1000 A oder mit einer gesamten Querschnittsfläche größer als 2 mm² können mit dem vorliegenden Verfahren gemessen werden mit einer voraussichtlich verminderten Genauigkeit und einem stärker ausgeprägten Eigenfeld-Effekt (siehe [Anhang C](#)). Zur Prüfung von Leitern mit größeren Abmessungen können speziellere Probengeometrien besser geeignet sein; sie sind in der vorliegenden Norm der Einfachheit halber und zur Einhaltung der Genauigkeit weggelassen worden.

Das in dieser Norm beschriebene Prüfverfahren kann im Prinzip auch für Nb₃Sn-Verbundleiterdrähte angewendet werden, die nach irgendeinem anderen Verfahren hergestellt werden. Von diesem Prüfverfahren ist zu erwarten, dass es nach einigen zweckmäßigen Modifikationen auch auf andere drahtförmige Verbundsupraleiter anwendbar ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60050-815:2000, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 815: Superconductivity*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-815, von denen einige zur leichteren Lesbarkeit hier wiederholt werden, und die folgenden Begriffe.

3.1 kritischer Strom

I_c
maximaler Gleichstrom, der als widerstandslos fließend angesehen werden kann

ANMERKUNG I_c ist eine Funktion der magnetischen Feldstärke und der Temperatur.

[IEV 815-03-01]

3.2 Kriterium für den kritischen Strom

I_c -Kriterium
Kriterium, um den kritischen Strom I_c anhand der elektrischen Feldstärke E oder des spezifischen Widerstandes ρ zu bestimmen

ANMERKUNG $E = 10 \mu\text{V/m}$ oder $E = 100 \mu\text{V/m}$ wird oft als Kriterium für die elektrische Feldstärke verwendet, $\rho = 10^{-13} \Omega\text{m}$ oder $\rho = 10^{-14} \Omega\text{m}$ als Kriterium für den spezifischen Widerstand.

[IEV 815-03-02]

3.3***n*-Wert (eines Supraleiters)**

Exponent, der in einem bestimmten Bereich der elektrischen Feldstärke oder des spezifischen Widerstands erreicht wird, in dem die Spannungs-Strom-Kurve $U(I)$ durch die Gleichung $U \propto I^n$ angenähert werden kann

[IEV 815-03-10]

3.4**Quench**

unkontrollierbarer und irreversibler Übergang eines Supraleiters oder einer supraleitenden Vorrichtung vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand

ANMERKUNG Dieser Begriff wird üblicherweise bei supraleitenden Magneten verwendet.

[IEV 815-03-11]

3.5**Lorentzkraft (auf Flussquanten)**

Kraft, die durch einen Strom auf Flussquanten wirkt

ANMERKUNG 1 Die Kraft pro Einheitsvolumen ist gegeben durch $J \times B$, wobei J eine Stromdichte ist und B eine magnetische Flussdichte.

[IEV 815-03-16]

ANMERKUNG 2 „Coulomblorentzkraft“ wird definiert in IEC 121-11-20 [1].

3.6**Spannungseffekt****Dehnungseffekt**

Änderung von supraleitenden Eigenschaften bei Anwendung mechanischer, thermischer oder elektromagnetischer Belastung auf den Supraleiter

[IEV 815-03-14]

3.7**Biegedehnung**

ε_b

Dehnung, angegeben in Prozent, die von einer reinen Biegung, definiert als $\varepsilon_b = 100 r/R$, herrührt. r ist die Hälfte der Probendicke und R der Biegeradius

[IEV 815-08-03]

3.8**Stromtransfer (eines Verbundsupraleiters)**

Phänomen, dass ein Gleichstrom räumlich von Filament zu Filament in einem Verbundsupraleiter wandert, in einer Spannungserzeugung längs des Leiters resultierend

ANMERKUNG Bei einer I_c -Messung tritt dieses Phänomen typischerweise nahe den Stromkontakten auf, bei denen der aufgeprägte Strom längs des Leiters von der Peripherie zum Inneren fließt, bis eine gleichförmige Verteilung unter den Filamenten erreicht ist.

3.9**Methode der konstanten Stromanstiegsgeschwindigkeit**

U - I -Datenerfassungsmethode, bei der ein Strom mit einer konstanten Rate von Null bis zu einem Wert oberhalb von I_c gefahren wird, wobei häufig und periodisch U - I -Daten aufgenommen werden

3.10**Hochfahr-und-Haltemethode**

U - I -Datenerfassungsmethode, bei der ein Strom über eine gewisse Anzahl von in geeigneter Weise auf der U - I -Kurve verteilten Punkten hochgefahren und bei jedem dieser Punkte konstant gehalten wird, während eine Reihe von Spannungs- und Stromauslesungen erfolgt

4 Prinzip

Der kritische Strom eines Verbundsupraleiters wird von einer Spannungs(U)-Strom(I)-Kennlinie abgeleitet, die bei einem bestimmten Wert einer einwirkenden statischen Magnetfeldstärke (eines Magnetfelds) sowie einer festgelegten Temperatur in einem Kühlflüssigkeitsbad bei einem konstanten Druck gemessen wird. Um eine U - I -Kennlinie zu erhalten, wird ein Gleichstrom an die Supraleiterprobe angelegt und die längs eines Teils der Probe erzeugte Spannung gemessen. Der Strom wird von Null aus hochgefahren und die erzeugte U - I -Charakteristik aufgezeichnet. Der kritische Strom ist als der Strom festgelegt, bei dem ein spezifisches Kriterium für die elektrische Feldstärke (elektrisches Feld) (E_c) bzw. für den spezifischen Widerstand (ρ_c) erfüllt ist. Sowohl zu E_c als auch zu ρ_c gehört ein korrespondierendes Spannungs-Kriterium (U_c) bei vorgegebenem Abstand der Spannungsabgriffe.

5 Anforderungen

Die Probe muss auf einen Glühzylinder, vorzugsweise mit einer Spiralnut, gewickelt werden und nach dem Reaktionsprozess auf einen Messspulenkörper mit gleichem Durchmesser gebracht werden, auf dem der Spiralwinkel erhalten bleibt. Ein alternatives Einspulenverfahren wird in Anhang D angegeben.

Die Probe muss länger als 430 mm sein.

Die Probe muss auf dem Messspulenkörper befestigt werden, indem die Probe gespannt und/oder mit einem Tieftemperatur-Kleber fixiert wird.

Bei diesem Prüfverfahren muss das überlagerte Magnetfeld parallel zur Achse des Messspulenkörpers gerichtet sein.

Der Richtwert für die Genauigkeit der Messungen bei diesem Verfahren ist ein Variationskoeffizient (Standardabweichung, dividiert durch das Mittel der Messwerte des kritischen Stroms), der kleiner als 3 % ist für Messungen bei 12 T und in der Nähe von 4,2 K.

Die Anwendung einer üblichen Korrektur für den Stromtransfer ist von diesem Prüfverfahren ausgeschlossen. Weiterhin, wenn bei der Messung ein ausgeprägtes Stromtransfersignal auftritt, muss die betreffende Messung als ungültig betrachtet werden.

Es liegt in der Verantwortung des Benutzers dieser Norm, einschlägige Sicherheitsvorschriften und Gesundheitsregeln zu berücksichtigen und festzusetzen und vor der Benutzung die Einhaltung vorgeschriebener Grenzen festzulegen. Spezielle Hinweise zu Vorschriften werden unten angegeben.

Es gibt Gefahrenquellen bei dieser Art von Messungen. Sehr große Gleichströme bei sehr niedrigen Spannungen rufen nicht zwangsläufig eine unmittelbare Gefährdung von Personen hervor, aber zufälliges Kurzschließen der Stromzuführungen mit einem anderen Leiter, beispielsweise Werkzeugen oder Zuleitungen, kann beachtliche Energiebeträge freisetzen und Lichtbögen oder Brände verursachen. Es ist unbedingt notwendig, die Stromzuführungen zu isolieren und gegen Kurzschließen zu schützen. Auch die gespeicherte Energie in supraleitenden Magneten, wie sie üblicherweise für das Hintergrundmagnetfeld angewendet werden, kann ähnlich große Stromstöße und/oder Spannungsimpulse verursachen oder große Wärmemengen in das Kryosystem einbringen, die zu einer rapiden Verdampfung oder sogar zu Explosionsbedingungen führen können. Die Anwendung kryogener Flüssigkeiten ist notwendig, um den Übergang in den supraleitenden Zustand zu ermöglichen. Ein direkter Kontakt der Haut mit kalten Kühlmittelleitungen, Dewar-Speichergefäßen oder Komponenten der Apparatur kann sofortiges Anfrieren verursachen, wie es im direkten Kontakt mit verschüttetem Kühlmittel vorkommen kann. Es ist unbedingt erforderlich, dass die Sicherheitsvorschriften für den Umgang mit kryogenen Flüssigkeiten beachtet werden.

6 Geräte

Um hierzu Informationen, die das Einspulenverfahren betreffen, zu erhalten, fahren Sie bitte mit [Anhang D.2](#) fort.