

	DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1)	
	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.	
ICS 29.050	Ersatz für DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1):1999-03 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit	
Supraleitfähigkeit – Teil 1: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb-Ti-Verbundsupraleitern (IEC 61788-1:2006); Deutsche Fassung EN 61788-1:2007 Superconductivity – Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors (IEC 61788-1:2006); German version EN 61788-1:2007 Supraconductivité – Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti (CEI 61788-1:2006); Version allemande EN 61788-1:2007		
Gesamtumfang 32 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-12-01 angenommene EN 61788-1 gilt als DIN-Norm ab 2007-09-01.

Daneben darf **DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1):1999-03** noch bis 2009-12-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61788-1 (VDE 0390-1):2005-03.

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 61788-1 (VDE 0390-1):1999-03** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Im Hauptteil des Textes wurden zahlreiche Präzisierungen durchgeführt, insbesondere einige Begriffe und Definitionen neu eingeführt. Im Anhang A finden sich unter anderem zusätzliche Erläuterungen und Hilfestellungen zu Effekten, die bei den Messungen zu berücksichtigen sind. Ein neuer, normativer Anhang C behandelt die Ausnahmen für Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Supraleiter gegenüber den Gemeinsamkeiten mit Cu/Nb-Ti-Supraleitern im Hauptteil und ein neuer, informativer Anhang D erläutert, wie die Zugspannung ermittelt werden kann, die zum Wickeln der Probe sinnvoll und notwendig ist. Die wesentlichen technischen Änderungen sind:

- a) Ein normativer Anhang C und ein informativer Anhang D wurden hinzugefügt;
- b) die Angaben zu Genauigkeit und Präzision wurden in Angaben zur Messunsicherheit konvertiert;
- c) die Anforderung an die Homogenität des Magnetfeldes wurde von $\pm 2 \%$ auf den größeren Wert von 0,5 % oder 0,02 T verschärft.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61788-1 (VDE 0390-1):1999-03

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 60050-121	–	–
–	IEC 60050-121/A1	–	–
–	IEC 60050-815:2000	IEV Teil 815:2001-06	–
EN 61788-5	IEC 61788-5	DIN EN 61788-5 (VDE 0390-5)	VDE 0390-5

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61788-5 (VDE 0390-5), *Supraleitfähigkeit – Teil 5: Messung des Verhältnisses von Matrixvolumen zu Supraleitervolumen – Verhältnis von Kupfervolumen zu Supraleitervolumen von Cu/NbTi-Verbundsupraleitern*

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 1: Messen des kritischen Stromes –
Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb-Ti-Verbundsupraleitern
(IEC 61788-1:2006)**

Superconductivity –
Part 1: Critical current measurement –
DC critical current of Nb-Ti composite
superconductors
(IEC 61788-1:2006)

Supraconductivité –
Partie 1: Mesure du courant critique –
Courant critique continu de supraconducteurs
en composite Nb-Ti
(CEI 61788-1:2006)

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 61788-1:2007 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 90/196/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61788-1, ausgearbeitet von dem IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-12-01 als EN 61788-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61788-1:1998.

Sie beinhaltet die folgenden wesentlichen technischen Änderungen zu EN 61788-1:1998:

- Ein normativer Anhang C und ein informativer Anhang D wurden hinzugefügt;
- die Angaben zu Genauigkeit und Präzision wurden in Angaben zur Messunsicherheit konvertiert;
- die Anforderung an die Homogenität des Magnetfeldes wurde von $\pm 2\%$ auf den größeren Wert von 0,5 % oder 0,02 T verschärft.

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 61788-1:2006 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 61788-5 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61788-5:2001 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen.....	4
3 Begriffe	5
4 Prinzip	6
5 Anforderungen	6
6 Prüfeinrichtung.....	7
6.1 Material des Spulenkörpers für die Messung	7
6.2 Aufbau des Spulenkörpers	7
7 Probenvorbereitung	8
7.1 Fixieren der Probe	8
7.2 Montage der Probe	8
8 Messungen	9
9 Unsicherheit des Prüfverfahrens	10
9.1 Kritischer Strom	10
9.2 Temperatur	10
9.3 Magnetfeld	10
9.4 Halterung von Leiterprobe und Spulenkern	10
9.5 Schutz der Probe	10
10 Auswertung der Messergebnisse	11
10.1 Kriterien für den kritischen Strom	11
10.2 n -Wert	11
11 Prüfbericht	12
11.1 Identifizierung der geprüften Probe	12
11.2 Bericht über die I_c -Werte	13
11.3 Bericht über die Prüfbedingungen	13
Anhang A (informativ) Zusätzliche Informationen zu dieser Norm.....	14
Anhang B (informativ) Eigenfeld-Effekt.....	22
Anhang C (normativ) Testverfahren für Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Verbundsupraleiter	24
Anhang D (informativ) Anleitung zur Abschätzung der Zugkraft beim Wickeln	25
Literaturhinweise	27
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	28
Bild 1 – Intrinsische U - I -Kennlinie	12
Bild 2 – U - I -Kennlinie mit einer Stromtransfer-Komponente.....	12
Bild A.1 – Ausrüstung der Probe mit einer Nullspannungsschleife.....	21
Tabelle D.1 Typische Werte bei Raumtemperatur für verschiedene Materialien	26

Einleitung

Die kritischen Ströme von Verbundsupraleitern werden benutzt, um Grenzwerte für die Dimensionierung bei technischen Anwendungen supraleitender Drähte festzulegen. Die Betriebsbedingungen von Supraleitern bei diesen Anwendungen sind maßgebend für ihr Verhalten, und Prüfungen, die mit dem in diesem Teil der IEC 61788 beschriebenen Prüfverfahren durchgeführt werden, können dazu dienen, einen Teil der Informationen zur Ermittlung der Eignung eines speziellen Supraleiters zu liefern.

Ergebnisse mit Hilfe dieses Verfahrens können auch herangezogen werden, um Änderungen der supraleitenden Eigenschaften eines Verbundsupraleiters festzustellen, die durch Variation der Parameter bei der Herstellung und durch Handhabung, Alterung oder andere Anwendungen oder Umwelteinflüsse verursacht werden. Das Verfahren eignet sich für die Qualitätskontrolle, 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 Magnetfeld, Temperatur, relative Ausrichtung der Probe und Strom werden bestimmt durch die spezielle Anwendung. Die Konfiguration der Prüfanordnung kann sich durch den speziellen Leiter aufgrund bestimmter Toleranzen ergeben. Das Kriterium für den kritischen Strom kann festgelegt werden durch die besondere Anwendung. Es kann zweckmäßig sein, die Messungen an einer Reihe von Proben durchzuführen, wenn bei den Messungen Unregelmäßigkeiten auftreten.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61788 behandelt ein Prüfverfahren zur Bestimmung des kritischen Stromes im Gleichstromfall entweder von Cu/Nb-Ti-Verbundsupraleitern mit einem Kupfer-zu-Supraleiter-Verhältnis größer als 1 oder Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Leitern mit einem Kupfer-zu-Supraleiter-Verhältnis größer als 0,9 und einer Kupferlegierung (Cu-Ni)-zu-Supraleiter-Verhältnis größer als 0,2, wobei der Durchmesser der Nb-Ti-supraleitenden Filamente größer als 1 µm ist. Die Änderungen bezüglich Cu/Cu-Ni/Nb-Ti werden im Anhang C beschrieben. Cu-Ni nimmt den Hauptteil der Norm mit im Anhang C aufgeführten Ausnahmen ein, die einige der Verfahrensschritte im Haupttext ersetzen (und ihnen in einigen Fällen widersprechen).

Dieses Verfahren ist vorgesehen zur Anwendung bei Supraleitern, deren kritische Ströme kleiner als 1 000 A sind und deren Exponenten n größer als 12 sind, unter den genormten Prüfbedingungen und bei Magnetfeldern, die gleich oder kleiner als das 0,7fache des oberen kritischen Magnetfelds sind. Die Leiterprobe wird während der Prüfung in ein Flüssig-Helium-Bad bei bekannter Temperatur getaucht. Die Leiterprobe hat eine monolithische Struktur mit Rund- oder Rechteckquerschnitt, der weniger als 2 mm² beträgt. Die bei diesem Prüfverfahren benutzte Probengeometrie ist eine als induktive Spule gewickelte Leiterprobe. Abweichungen von diesem Prüfverfahren, die für Routineprüfungen erlaubt sind, und spezielle Einschränkungen werden in dieser Internationalen Norm angegeben.

Testsupraleiter mit kritischen Strömen über 1 000 A oder mit Querschnittsflächen größer als 2 mm² könnten mit dem vorliegenden Verfahren mit einem zu erwartenden Zuwachs an Messungengenauigkeit und einem signifikanteren Eigenfeld-Effekt (siehe [Anhang B](#)) gemessen werden. Andere, stärker spezialisierte Proben-Prüfgeometrien können zur Prüfung großer Leiter, die in der vorliegenden Norm der Einfachheit halber und zur Aufrechterhaltung einer geringeren Messungengenauigkeit ausgelassen sind, besser geeignet sein.

Von dem in dieser Norm beschriebenen Prüfverfahren ist zu erwarten, dass es nach einigen zweckentsprechenden Modifikationen 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, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 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, abgeändert]

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 $U \approx I^n$ 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

Drei-Komponenten-Supraleiter

Verbundsupraleiter, der aus einer supraleitenden Komponente und zwei normalleitenden Komponenten besteht

ANMERKUNG Dieser Begriff wird meistens im Zusammenhang mit Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Verbundsupraleitern verwendet.

[IEV 815-04-33]

3.6

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.

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

[IEV 815-03-16]

3.7

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.

3.8

Methode der konstanten Stromanstiegsgeschwindigkeit

eine 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

3.9

Hochfahr-und-Haltemethode

eine 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

Der kritische Strom eines Supraleiters muss durch Einspeisen eines Gleichstroms (I) in die Supraleiterprobe gemessen werden und dann durch Messen der Spannung (U), die längs eines Abschnitts der Probe auftritt. Der Strom muss vom Wert Null an gesteigert und die Spannungs-Strom (U - I) Kennlinie aufgenommen und registriert werden.

Die Probe muss auf dem Spulenkörper für die Messungen mit ausreichender Vorspannung oder mit einem Tieftemperatur-Bindemittel fest verbunden werden.

ANMERKUNG 1 Im Falle von Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Proben wird diese Aussage durch die in C.2.1 genannte Ausnahme ersetzt.

Die Zielgröße für die Messungenauigkeit dieses Verfahrens ist definiert als ein Variationskoeffizient (Standardabweichung, dividiert durch das Mittel der Messwerte des kritischen Stromes), der bei einem Messvergleich von Labor zu Labor 3 % nicht überschreiten soll.

ANMERKUNG 2 Im Falle von Cu/Cu-Ni/Nb-Ti-Proben wird diese Aussage durch die in C.2.2 genannte Ausnahme ersetzt.

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