

	Supraleitfähigkeit Teil 2: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb ₃ Sn-Verbundsupraleitern (IEC 61788-2:1999) Deutsche Fassung EN 61788-2:1999	DIN EN 61788-2
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0390 Teil 2
Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm IEC 61788-2 ICS 17.220.20; 29.050 Superconductivity – Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-2:1999); German version EN 61788-2:1999 Supraconductivité – Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn (CEI 61788-2:1999); Version allemande EN 61788-2:1999 Die Europäische Norm EN 61788-2:1999 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 61788-2 wurde am 1999-08-01 angenommen. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 90/42/CDV (VDE 0390 Teil 102):1997-11. Fortsetzung Seite 2 und 24 Seiten EN Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

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.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815	–	–
EN 61788-1:1998	IEC 61788-1:1998	DIN EN 61788-1 (VDE 0390 Teil 1):1999-03	VDE 0390 Teil 1

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61788-1 Supraleitfähigkeit – Teil 1: Messungen des kritischen Stromes; Kritischer Strom
(VDE 0390 Teil 1) (Gleichstrom) von Cu/NbTi-Verbundsupraleitern (IEC 61788-1:1998);
 Deutsche Fassung EN 61788-1:1998

ICS 17.220; 29.050

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Supraleitfähigkeit

Teil 2: Messen des kritischen Stromes –
Kritischer Strom (Gleichstrom) von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern
(IEC 61788-2:1999)

Superconductivity –
Part 2: Critical current measurement –
DC critical current of Nb₃Sn composite
superconductors
(IEC 61788-2:1999)

Supraconductivité –
Partie 2: Mesure du courant critique –
Courant critique continu des supraconducteurs
composites Nb₃Sn
(CEI 61788-2:1999)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1. August 1999 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstückes 90/55/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61788-2, ausgearbeitet von dem IEC TC 90 „Superconductivity“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1999-08-01 als EN 61788-2 angenommen.

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): 2000-05-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2002-08-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ, und die Anhänge A, B und C sind informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-2:1999 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Terminologie	5
4 Anforderungen	5
5 Geräte	6
6 Probenvorbereitung	7
7 Messungen	7
8 Genauigkeit des Prüfverfahrens	8
9 Auswertung der Meßergebnisse	9
10 Prüfbericht	9
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information bezüglich der Abschnitte 1 bis 9	11
Anhang B (informativ) Dehnungseinfluß bei Nb ₃ Sn-Supraleitern	20
Anhang C (informativ) Eigenfeld-Effekt	22
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	24
Bild 1: Intrinsische V-I-Kennlinie	10
Bild 2: V-I-Kennlinie mit einer Stromtransfer-Komponente	10
Bild A.1: Ausrüstung der Probe mit einer Nullspannungsschleife	19
Bild B.1: Abhängigkeit des kritischen Stroms eines typischen Nb ₃ Sn-Verbundsupraleiters von der Dehnung bei einachsiger Zugspannung, dargestellt für verschiedene Magnetfelder	21

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 auf Grund 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/NbTi-Verbundsupraleitern (IEC 61788-1) und der in VAMAS (Versaille Project on Advanced Materials and Standards) zur Normung vorbereiteten Arbeit über den kritischen Strom von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern. Im Vergleich zu Cu/NbTi-Supraleitern ist der kritische Strom von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern bekanntlich in starkem Maße empfindlich gegen mechanische Dehnung. Daher werden einige Modifikationen des Prüfverfahrens vorgenommen, das andernfalls den mechanischen Spannungszustand einer Probe beeinflussen kann. Siehe Anhang B zum Hintergrund dieser Modifikationen.

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 für Nb₃Sn-Verbundleiterdrähte angewandt werden, die nach irgendeinem anderen Verfahren, beispielsweise nach dem modifizierten „Jelly Roll“-Prozeß, 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 Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 61788 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 61788 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050-815:¹⁾ *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 815: Superconductivity*

IEC 61788-1:1998 *Superconductivity – Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors*

3 Terminologie

Für die Anwendung dieses Teils der IEC 61788 gelten die in IEC 60050-815 angegebenen Definitionen und die folgende:

Der kritische Strom (I_c) ist definiert als der Strom, bei dem ein spezielles Kriterium für die elektrische Feldstärke (E_c , Feld-Kriterium) oder für den spezifischen elektrischen Widerstand (ρ_c , Widerstandskriterium) bei einem bestimmten Wert eines statischen überlagerten Magnetfelds und bei einer spezifizierten Temperatur in einem Flüssig-Helium-Bad bei konstantem Druck erreicht wird. Entweder für E_c oder für ρ_c gibt es ein entsprechendes Spannungskriterium, V_c , für eine spezifizierte Probenlänge.

4 Anforderungen

Der kritische Strom eines Supraleiters ist zu messen durch Einspeisen eines Gleichstroms (I) in die Supraleiterprobe und dann durch Messung der Spannung (V), die längs eines Abschnitts der Probe auftritt. Der Strom muß vom Wert Null an gesteigert und die Spannung-Strom-(V - I)-Kennlinie aufgenommen und registriert werden.

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.

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.

1) Zu veröffentlichen

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 zwangsläufig keine unmittelbare Gefährdung von Personen hervor, aber zufälliges Kurzschließen der Stromzuführungen mit einem anderen Leiter, beispielsweise Werkzeuge 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 angewandt 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.

5 Geräte

5.1 Material des Glühzylinders

Der Glühzylinder muß aus einem hitzebeständigen Material, mit oder ohne Oberflächenbehandlung, hergestellt werden. Geeignete Materialien für den Glühzylinder werden im [Anhang A](#) empfohlen. Von diesen kann jedes verwendet werden.

5.2 Konstruktion des Glühzylinders

Die Abmessungen und die Form des Glühzylinders sollten eng an die Geometrie des Meßspulenkörpers angepaßt werden, auf den die betreffende Probe gebracht wird.

Der Durchmesser des Glühzylinders muß so groß sein, daß die Biegedehnung, die in die Probe beim Wickeln eingebracht wird, kleiner ist als 5 %.

Der Glühzylinder muß eine spiralförmige Nut haben, in welche die Probe gewickelt werden muß. Der Steigungswinkel der Nut muß kleiner als 7° sein. Die Tiefe der Nut muß mindestens gleich dem halben Drahtdurchmesser sein.

5.3 Material des Meßspulenkörpers

Der Meßspulenkörper muß entweder aus einem Isoliermaterial oder aus einem leitfähigen, nichtferromagnetischen Material hergestellt werden, das entweder mit einer elektrisch isolierenden Schicht bedeckt oder nicht bedeckt ist.

Der kritische Strom kann, was nicht zu vermeiden ist, von dem Material des Meßspulenkörpers abhängen, bedingt durch die Dehnung, die durch die differentielle thermische Kontraktion zwischen der Probe und dem Meßspulenkörper hervorgerufen wird.

Die gesamte Dehnung, die in der Probe bei der Meßtemperatur erzeugt wird, muß minimiert werden, so daß sie innerhalb von $\pm 0,03$ % liegt. Wenn eine übermäßige Dehnung auf Grund der differentiellen thermischen Kontraktion der Probe und des Spulenkörpers auftritt, muß vermerkt werden, daß der kritische Strom bei einem übermäßigen Dehnungszustand, mit Kennzeichnung des Spulenkörpermaterials, bestimmt wird.

Geeignete Materialien für den Meßspulenkörper werden im [Anhang A](#) empfohlen. Von diesen kann jedes verwendet werden.

Wenn ein leitfähiges Material ohne eine Isolierschicht benutzt wird, muß der Leckstrom durch den Spulenkörper kleiner sein als 0,2 % des Gesamtstroms, wenn der Strom in der Probe bei I_c liegt (siehe [8.5](#)).

5.4 Konstruktion des Meßspulenkörpers

Der Spulenkörper muß eine spiralförmige Nut haben, in die die Probe gewickelt werden muß.

Der Durchmesser des Meßspulenkörpers, der Steigungswinkel der spiralförmigen Nut und deren Tiefe und Gestalt müssen eng an die entsprechenden Daten des Glühzylinders angepaßt sein.

Der Winkel zwischen der Probenachse (im Abschnitt zwischen den Spannungsabgriffen) und der Richtung des Magnetfelds muß $(90 \pm 7)^\circ$ betragen. Dieser Winkel muß auf $\pm 2^\circ$ bestimmt werden.

Der Stromkontakt muß fest an dem Meßspulenkörper angebracht werden, um eine (mechanische) Spannungskonzentration im Übergangsbereich zwischen dem Spulenkörper und dem Stromkontakt zu vermeiden.