

	DIN EN 61788-11 (VDE 0390-11)	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	Entwurf Einsprüche bis 2010-08-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 61788-11 (VDE 0390-11):2003-12 Supraleitfähigkeit – Teil 11: Messung des Restwiderstandsverhältnisses – Restwiderstandsverhältnis von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern (IEC 90/240/CDV:2010); Deutsche Fassung FprEN 61788-11:2010 Superconductivity – Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors (IEC 90/240/CDV:2010); German version FprEN 61788-11:2010 Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2010-05-31 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten – vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Gesamtumfang 43 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE	

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 61788-11:2010 „Supraleitfähigkeit – Teil 11: Messung des Restwiderstandsverhältnisses – Restwiderstandsverhältnis von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 90/240/CDV:2010 „Superconductivity – Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors“ unverändert in den Entwurf FprEN 61788-11:2010 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 90 „Superconductivity“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61788-11 (VDE 0390-11):2003-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Bild 1 und 2 wurden in den Text integriert;
- b) es wurde festgelegt, wie in Abhängigkeit der Probenzahl der *RRR*-Wert anzugeben ist (9.1);
- c) Messunsicherheitsbetrachtungen wurden anstelle der Genauigkeitsbewertungen eingeführt;
- d) im Anhang A wurden die Kapitel neu angeordnet;
- e) Anhang B „Messunsicherheitsbetrachtungen“ ist ergänzt worden und entspricht der im IEC/TC 90 Meeting in Berlin 2008 verabschiedeten Version, die allen TC 90 Normen als Anhang zukünftig beigefügt werden soll;
- f) Anhang C „Abschätzung der Messunsicherheit beim Messverfahren zur Bestimmung von *RRR* für Nb₃Sn“ ist ergänzt worden.

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	—	—

— **Entwurf** —

E DIN EN 61788-11 (VDE 0390-11):2010-06

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Supraleitfähigkeit –
Teil 11: Messung des Restwiderstandsverhältnisses –
Restwiderstandsverhältnis von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern

Inhalt

	Seite
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe	3
4 Anforderungen	4
5 Geräte	4
5.1 Material der Messplatine	4
5.2 Länge der Messplatine	4
5.3 Kryostat für die Messung des Widerstands R_2	4
6 Probenvorbereitung	5
7 Messungen	5
7.1 Widerstand (R_1) bei Raumtemperatur	5
7.2 Widerstand (R_2) unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung	5
7.3 Restwiderstandsverhältnis (RRR)	7
8 Messunsicherheit und Stabilität der Messungen	7
8.1 Temperatur	7
8.2 Spannungsmessung	8
8.3 Strom	8
9 Prüfbericht	8
9.1 RRR -Wert	8
9.2 Probe	8
9.3 Messbedingungen	8
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zur Messung des Restwiderstandsverhältnisses (RRR)	10
A.1 Empfehlung zur Ausrichtung der Probe bei der Montage	10
A.2 Alternative Verfahren zur Anhebung der Probentemperatur über die Temperatur des Übergangs zur Supraleitung	10
A.3 Alternative Verfahren zur Messung von R_2	11
Anhang B (informativ) Messunsicherheitsbetrachtungen	12
B.1 Überblick	12

	Seite
B.2 Definitionen	12
B.3 Betrachtung des Konzeptes der Messunsicherheit	12
B.4 Beispiel für eine Bestimmung von Messunsicherheiten für TC 90-Normen	14
B.5 Literaturhinweise	16
Anhang C (informativ) Abschätzung der Messunsicherheit beim Messverfahren zur Bestimmung von RRR für Nb_3Sn	17
C.1 Bestimmung der Messunsicherheit	17
C.2 Ursache für den hohen Variationskoeffizienten im Vergleichstest	18
C.3 Literaturhinweise	19
Bild 1 – Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand	4
Bild 2 – Spannungskurven als Funktion der Temperatur und Definition der einzelnen Spannungen	6
Tabelle C.1 – Messunsicherheiten der einzelnen Messgrößen	18

Einleitung

Kupfer oder Aluminium wird als Stabilisierungsmaterial in Multifilament-Nb₃Sn-Supraleitern verwendet und wirkt als elektrischer Shuntwiderstand, wenn die Supraleitung unterbrochen wird. Es trägt außerdem zur 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 des Supraleiters beeinflusst. Das Restwiderstandsverhältnis ist definiert als das Verhältnis des Widerstandes des Supraleiters bei Raumtemperatur zu dem Widerstand unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung.

In dieser Internationalen Norm wird das Verfahren zur Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern beschrieben. Zur Messung des Widerstands unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung wird das Verfahren, bei dem der Spannungsverlauf gemessen wird, angewandt. Andere Verfahren werden im Abschnitt A.3 beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61788 behandelt ein Messverfahren zur Bestimmung des Restwiderstandsverhältnisses (*RRR*) von Nb₃Sn-Verbundsupraleitern. Dieses Verfahren ist vorgesehen zur Anwendung bei Supraleiterproben, die eine monolithische Struktur mit rechteckigem oder rundem Querschnitt haben, ein Restwiderstandsverhältnis kleiner als 350 und eine Querschnittsfläche kleiner als 3 mm² besitzen sowie eine Reaktionswärmebehandlung erhalten haben. Idealerweise wird davon ausgegangen, dass die Proben möglichst gerade sind; das ist jedoch nicht immer der Fall, so dass Vorsicht geboten ist, wenn eine Probe in ihrem Anlieferungszustand gemessen wird. Alle Messungen werden ohne äußeres Magnetfeld durchgeführt.

Das im Hauptteil dieser Norm beschriebene Verfahren ist das „Referenz“-Verfahren und mögliche andere Messverfahren sind im Abschnitt A.3 beschrieben.

2 Normative Verweisungen

Das nachfolgend zitierte Dokument ist 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) – Part 815: Superconductivity*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in IEC 60050-815 angegebenen sowie die folgenden Begriffe.

Restwiderstandsverhältnis

RRR

(en: residual resistance ratio)

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

In dieser Norm für Multifilament-Nb₃Sn-Supraleiter ist die Raumtemperatur mit 293 K (20 °C) definiert und das Restwiderstandsverhältnis wird aus der nachstehenden Gleichung (1) bestimmt, wobei der Widerstand R_1 bei 293 K durch den Widerstand R_2 unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung dividiert wird.

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

Bild 1 zeigt schematisch eine Kurve für den Widerstand als Funktion der Temperatur, aufgenommen an einer Probe während der Messung des Tieftemperaturwiderstands. In Bild 1 ziehe man eine gerade Linie, wo der

Widerstand steil ansteigt (a), und ebenso eine gerade Linie, wo der Widerstand allmählich mit der Temperatur ansteigt (b). Der Wert des Widerstands am Schnittpunkt A dieser beiden Geraden ist definiert als Widerstand R_2 unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung.

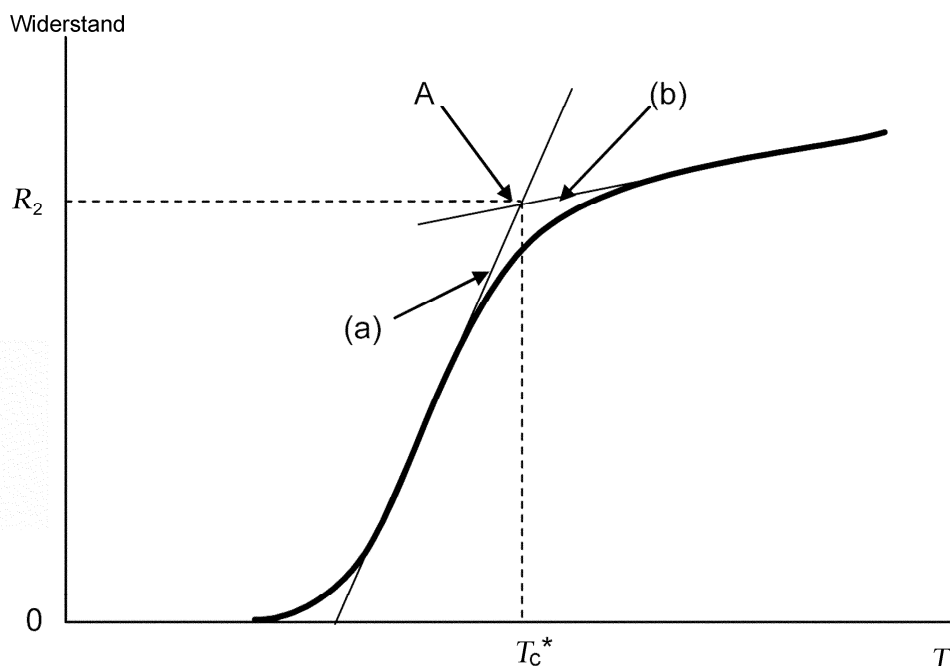


Bild 1 – Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand

4 Anforderungen

Die Widerstandsmessung muss sowohl bei Raumtemperatur als auch bei tiefen Temperaturen mit der Vierpunktmesstechnik durchgeführt werden.

Der Richtwert der relativen kombinierten Standardmessunsicherheit dieses Verfahrens, definiert als erweiterte Messunsicherheit ($k=2$), darf 10 % nicht überschreiten, basierend auf dem Variationskoeffizient (COV) von 5 % bei der Vergleichsmessung (siehe C.2).

5 Geräte

5.1 Material der Messplatine

Das Material der Messplatine muss Kupfer, Aluminium, Silber oder ein vergleichbares Material sein, dessen Wärmeleitfähigkeit gleich oder größer als 100 W/(mK) bei Flüssigheliumtemperatur (4,2 K) ist. Die Oberfläche des Materials muss mit einer Isolierschicht bedeckt sein (ein Band oder eine Schicht aus Polyethylen-terephthalat, Polyester, Polytetrafluorethylen usw.), deren Dicke 0,1 mm oder weniger beträgt.

5.2 Länge der Messplatine

Die Messplatine muss in einer Dimension mindestens 30 mm lang sein.

5.3 Kryostat für die Messung des Widerstands R_2

Im Kryostat muss ein Probenhalter angeordnet und ein Flüssigheliumvorrat für die Messung von R_2 vorhanden sein. Die Probenhalterkonstruktion muss es ermöglichen, die Probe, die auf einer Messplatine montiert

ist, in das Flüssigheliumbad abzusenken und aus ihm herauszuheben. Außerdem muss die Probenhalterkonstruktion so ausgeführt sein, dass ein Strom durch die Probe fließen und der Spannungsabfall längs der Probe gemessen werden kann.

6 Probenvorbereitung

Die zu messende Probe darf keine Kontakte oder sonstige Verbindungsstellen aufweisen und muss 30 mm lang oder länger sein. Der Abstand zwischen den Spannungsabgriffen (L) muss 25 mm oder mehr betragen. Ein Thermometer zur Tieftemperaturmessung muss nahe an der Probe angebracht werden.

Zur Fixierung der Probe auf der Isolierschicht der Messplatine muss eine gängige Technik angewandt werden. Besondere Sorgfalt muss während der messtechnischen Vorbereitung und der Montage der Probe auf der Messplatine aufgewandt werden, damit keine übermäßigen Kräfte auf die Probe ausgeübt werden, die unerwünschte Biegedehnungen oder Zugdehnungen verursachen können.

Die Probe muss mit Stromkontakten in der Nähe der beiden Probenenden und mit einem Paar Spannungsabgriffen im mittleren Bereich der Probe versehen werden. Die Probe muss für diese Messungen auf einer Messplatine montiert werden. Die Messung des Widerstands R_1 und die Messung des Widerstands R_2 müssen an ein und derselben Probe und bei unveränderter Fixierung ausgeführt werden.

7 Messungen

7.1 Widerstand (R_1) bei Raumtemperatur

Die montierte Probe muss bei Raumtemperatur T_m [K] gemessen werden, wobei T_m die folgende Bedingung erfüllt: $273 \leq T_m \leq 308$. Der Strom in der Probe I_1 [A] muss so eingestellt werden, dass die Stromdichte, bezogen auf die gesamte Querschnittsfläche des Drahtes, im Bereich von $0,1 \text{ A/mm}^2$ bis 1 A/mm^2 liegt. Die resultierende Spannung U_1 [V], I_1 und die Temperatur T_m müssen aufgezeichnet werden. Die nachstehende Gleichung (2) muss zur Berechnung des Widerstands R_m bei Raumtemperatur benutzt werden. Der Widerstand R_1 bei 293 K muss mit Hilfe der Gleichung (3) für einen Draht mit Cu-Stabilisierung berechnet werden. Für Drähte, die keine reinen Cu-Komponenten enthalten, muss der Wert von R_1 ohne irgendeine Temperaturkorrektur gleich dem Wert von R_m gesetzt werden.

$$R_m = \frac{U_1}{I_1} \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{R_m}{[1 + 0,00393 \cdot (T_m - 293)]} \quad (3)$$

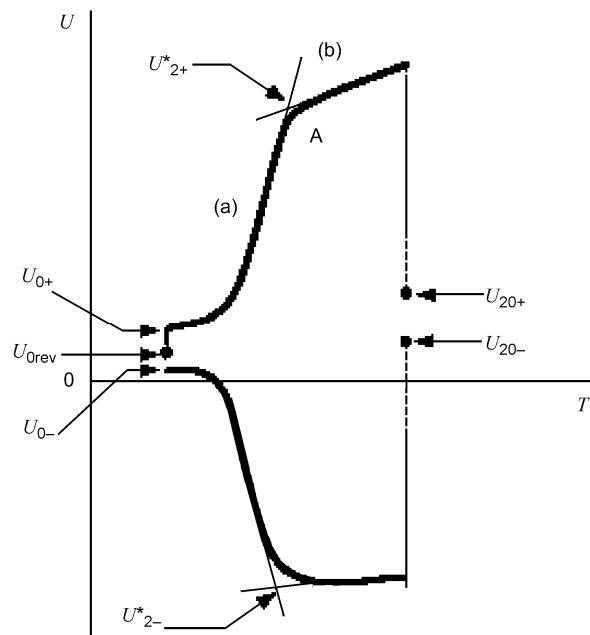
7.2 Widerstand (R_2) unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung

7.2.1 Die Probe, die noch wie bei den vorausgegangenen Messungen bei Raumtemperatur montiert ist, muss in den für die elektrischen Messungen ausgerüsteten Kryostat gesetzt werden, der in 5.3 spezifiziert ist. Andere Kryostaten, die Heizelemente enthalten, um die Probentemperatur stufenweise zu erhöhen, werden in A.2 beschrieben.

7.2.2 Die Probe muss langsam in das Flüssigheliumbad abgesenkt werden und bis zur Flüssigheliumtemperatur während einer Zeitspanne von mindestens 5 min abgekühlt werden.

7.2.3 Während der Tieftemperaturmessungen von R_2 muss der Strom I_2 in der Probe so eingestellt werden, dass die Stromdichte bezogen auf die gesamte Querschnittsfläche des Drahtes im Bereich von $0,1 \text{ A/mm}^2$ bis 10 A/mm^2 liegt und die resultierende Spannung U [V], I_2 [A] und die Probentemperatur T [K] müssen aufgezeichnet werden. Um das Signal-Rausch-Verhältnis ausreichend hoch zu halten, muss die Messung unter der Bedingung durchgeführt werden, dass der Absolutwert der resultierenden Spannung

oberhalb des Übergangs zur Supraleitung höher ist als $10 \mu\text{V}$. Eine grafische Darstellung der aufzunehmenden Daten und ihre Analyse ist in Bild 2 gezeigt.



Die Spannungen mit den Indizes + und – sind die Spannungen, die jeweils bei den ersten und zweiten Messungen für positive bzw. negative Stromrichtung gemessen wurden, und U_{20+} und U_{20-} sind die Spannungen, die dabei bei dem Strom null gemessen wurden. Der Übersichtlichkeit halber sind U_{0rev} und U_{0-} nicht zusammenfallend gezeichnet.

Bild 2 – Spannungskurven als Funktion der Temperatur und Definition der einzelnen Spannungen

7.2.4 Wenn die Probe im supraleitenden Zustand ist und der Messstrom I_2 fließt, müssen zwei Spannungen unmittelbar hintereinander gemessen werden: U_{0+} (die zuerst mit positiver Stromrichtung gemessene Spannung) und U_{0rev} (die bei kurzer Änderung der Stromrichtung aufgezeichnete Spannung). Eine gültige Messung von R_2 setzt voraus, dass keine übermäßigen Störspannungen auftreten und dass die Probe zu Beginn im supraleitenden Zustand ist. Folgende Bedingung muss für eine gültige Messung eingehalten werden:

$$\frac{|U_{0+} - U_{0rev}|}{\bar{U}_2} < 1 \% \quad (4)$$

wobei $\bar{U}_2$ die mittlere Spannung an der Probe bei tiefer Temperatur im normalleitenden Zustand ist, die in 7.2.10 definiert wird.

7.2.5 Die Probe muss allmählich erwärmt werden, so dass sie in den normalleitenden Zustand übergeht. Wenn für die Widerstandsmessungen der in 5.3 spezifizierte Kryostat benutzt wird, kann dies in einfacher Weise durch Anheben der Probe auf eine ausreichende Höhe oberhalb des Flüssigheliumspiegels erreicht werden.

7.2.6 Die Kurve für die Spannung an der Probe als Funktion der Temperatur muss in der Weise aufgezeichnet werden, dass eine Temperaturanstiegsgeschwindigkeit von 0,1 K/min bis 10 K/min eingehalten wird.

7.2.7 Die Aufnahme der Spannung als Funktion der Temperatur muss während des Übergangs und im normalleitenden Zustand fortgesetzt werden, bis etwa einer Temperatur unterhalb von 25 K. Dann muss der

Strom in der Probe auf null herabgesetzt werden und die zugehörige Spannung U_{20+} bei einer Temperatur unterhalb von 25 K aufgezeichnet werden.

7.2.8 Die Probe muss dann langsam in das Flüssigheliumbad abgesenkt und innerhalb von ± 1 K auf die gleiche Temperatur abgekühlt werden, bei der die Anfangsspannung U_{0+} gemessen wurde. In die Probe muss ein Strom I_2 mit gleichem Betrag, aber negativer Stromrichtung (entgegengesetzt zu der bei der ersten Messreihe benutzten Richtung) eingespeist und die Spannung U_{0-} bei dieser Temperatur gemessen werden. Die Verfahrensschritte 7.2.5 bis 7.2.7 müssen wiederholt werden, um die Kurve für die Spannung als Funktion der Temperatur bei entgegengesetzter Stromrichtung aufzunehmen. Außerdem muss U_{20-} innerhalb von ± 1 K bei der gleichen Temperatur registriert werden, bei der U_{20+} gemessen wurde.

7.2.9 Jede der beiden Kurven für die Spannung als Funktion der Temperatur muss in der Weise ausgewertet werden, dass eine Gerade (a) durch die Messwerte gezogen wird (siehe Bild 2), wo der Absolutwert der Spannung steil mit der Temperatur ansteigt, und dass eine zweite Gerade (b) durch die Messwerte oberhalb des Übergangs gezogen wird, wo die Spannung nur geringfügig und nahezu linear mit der Temperatur zunimmt. Am Schnittpunkt dieser zwei Geraden müssen U_{2+}^* und U_{2-}^* für die Kurven mit positiver bzw. negativer Stromflussrichtung bestimmt werden.

7.2.10 Die korrigierten Spannungen U_{2+} und U_{2-} müssen mit Hilfe der folgenden Gleichungen berechnet werden: $U_{2+} = U_{2+}^* - U_{0+}$ und $U_{2-} = U_{2-}^* - U_{0-}$. Die mittlere Spannung $\bar{U}_2$ wird definiert durch

$$\bar{U}_2 = \frac{|U_{2+} - U_{2-}|}{2} \quad (5)$$

7.2.11 Eine gültige Messung von R_2 erfordert, dass die Verschiebung durch Thermospannungen während der Messungen von U_{2+} und U_{2-} innerhalb akzeptabler Grenzen bleibt. Dazu muss die folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\frac{|\Delta_+ - \Delta_-|}{\bar{U}_2} < 3 \quad \% \quad (6)$$

wobei Δ_+ und Δ_- definiert werden durch

$$\Delta_+ = U_{20+} - U_{0+} \text{ und } \Delta_- = U_{20-} - U_{0-}$$

Wenn die Messung von R_2 die Bedingungen für die Gültigkeit 7.2.4 und diesem Unterabschnitt hier nicht erfüllt, müssen Verbesserungen an den Geräten oder bei der Durchführung der Messungen vorgenommen werden, um diese Anforderungen zu erfüllen, bevor die Ergebnisse bekannt gegeben werden.

7.2.12 Gleichung (7) muss benutzt werden, um aus den gemessenen Strom- und Spannungswerten den Widerstand R_2 unmittelbar oberhalb des Übergangs zur Supraleitung zu berechnen:

$$R_2 = \frac{\bar{U}_2}{I_2} \quad (7)$$

7.3 Restwiderstandsverhältnis (RRR)

Das Restwiderstandsverhältnis muss mit Hilfe der Gleichung (1) berechnet werden.

8 Messunsicherheit und Stabilität der Messungen

8.1 Temperatur

Die Raumtemperatur muss mit einer Standardmessunsicherheit bestimmt werden, die 0,6 K nicht überschreitet, während die Probe, die auf der Messplatine montiert ist, auf Raumtemperatur gehalten wird.

8.2 Spannungsmessung

Für die Widerstandsmessung muss das Spannungssignal mit einer relativen Standardmessunsicherheit von höchstens 0,5 % gemessen werden.

8.3 Strom

Wenn die Probe von einer programmierbaren Gleichspannungsstromquelle gespeist wird, muss der Teststrom der Probe mit einer Standardmessunsicherheit von höchstens 0,3 % bestimmt werden.

Wenn der Messstrom in der Probe aus dem Spannungsabfall an einem Normalwiderstand mit Hilfe der Vierpunktmesstechnik bestimmt wird, muss ein Standardwiderstand mit einer relativen kombinierten Standardmessunsicherheit von höchstens 0,3 % benutzt werden.

Die Schwankungen des Messstroms in der Probe (Gleichstrom), der von einem Gleichstromnetzgerät geliefert wird, müssen während jeder Widerstandsmessung kleiner als 0,5 % sein.

9 Prüfbericht

9.1 *RRR*-Wert

Der ermittelte *RRR*-Wert muss angegeben werden als

$$RRR (1 \pm U_{re}) \quad (n = \dots) \quad (10)$$

wobei $U_{re}=2u_r$ ($k=2$) die erweiterte relative Messunsicherheit mit der Messunsicherheit u_r , k ein Erweiterungsfaktor und n die Zahl der Proben ist. Es wird erwünscht, dass n größer als 4 ist, sodass eine Normalverteilung für die Bestimmung der Standardabweichung angenommen werden kann. Wenn n nicht groß genug ist, muss eine quadratische Verteilung angenommen werden. Wenn $n=1$ ist, muss das im Anhang C beschriebene analytische Verfahren mit $b/R_2=1,46 \times 10^{-2}$ benutzt werden, dass aus dem Vergleichstest abgeschätzt wurde.

9.2 Probe

Der Prüfbericht zur Angabe der Ergebnisse der Messungen muss weiterhin die folgenden Punkte aufführen, soweit bekannt:

- Hersteller;
- Klassifizierung und/oder Bezeichnung;
- Form und Fläche des Querschnitts;
- Angabe der Querschnittsfläche;
- Anzahl der Filamente;
- Durchmesser der Filamente;
- Verhältnis von Kupfer zu kupferfreiem Anteil.

9.3 Messbedingungen

9.3.1 Für die Messungen von R_1 und R_2 müssen folgende Testbedingungen angegeben werden:

- Gesamtlänge der Probe;
- Abstand zwischen den Spannungsabgriffen (L);
- Länge der Stromkontakte;
- Transportströme I_1 und I_2 ;
- Stromdichten (I_1 und I_2 dividiert durch die gesamte Fläche des Drahtquerschnitts);

- f) Spannungen (U_1 , U_{0+} , U_{0rev} , U_{2+}^* , U_{20+} , U_{0-} , U_{2-}^* , U_{20-} und $\bar{U}_2$);
- g) Widerstände (R_m , R_1 und R_2);
- h) Material, Form und Abmessungen der Messplatine;
- i) Verfahren zur Befestigung der Probe auf der Messplatine;
- j) Isoliermaterial der Messplatine.

9.3.2 Für die Messung von R_1 müssen folgende Testbedingungen angegeben werden:

- a) Verfahren zum Einstellen der Temperatur und Halten der Probe;
- b) T_m : Temperatur bei der Messung von R_m .

9.3.3 Für die Messung von R_2 müssen folgende Testbedingungen angegeben werden:

- a) Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs;
- b) Verfahren zum Abkühlen und Aufheizen.