

DIN EN 61238-1-2
(VDE 0220-238-1-2)
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 29.120.20

Einsprüche bis 2017-03-27

Ersatzvermerk
siehe unten

Entwurf

**Pressverbinder und Schraubverbinder für Starkstromkabel –
Teil 1-2: Prüfverfahren für und Anforderungen an isolationsdurchdringende Verbinder für
Starkstromkabel für Nennspannungen bis zu 1 kV ($U_m = 1,2$ kV), geprüft an isolierten
Leitern
(IEC 20/1651/CD:2016)**

Compression and mechanical connectors for power cables –
Part 1-2: Test methods and requirements for insulation piercing connectors for power cables for rated
voltages up to 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) tested on insulated conductors
(IEC 20/1651/CD:2016)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-01-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses
Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-
Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de,
sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser
Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-
Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in
DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Ersatzvermerk

Mit E DIN EN 61238-1-1 (VDE 0220-238-1-1):2017-02 und E DIN EN 61238-1-3
(VDE 0220-238-1-3):2017-02
vorgesehen als Ersatz für **DIN EN 61238-1 (VDE 0220-100):2004-03**

Gesamtumfang 103 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich und Zweck	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole.....	10
5 Allgemeines	10
5.1 Leiter.....	10
5.2 Verbinder und Installationsverfahren.....	11
5.3 Geltungsbereich	11
6 Elektrische Prüfungen	12
6.1 Prüfaufbau	12
6.2 Messungen	13
6.3 Erwärmungslastwechselprüfung	15
6.4 Auswertung der Ergebnisse	18
6.5 Anforderungen.....	18
6.6 Beispiele für elektrische Prüfparameter	19
7 Mechanische Prüfungen.....	23
7.1 Allgemeines	23
7.2 Verfahren	23
7.3 Anforderungen.....	23
8 Prüfbericht	23
8.1 Allgemeines	23
8.2 Mechanische Prüfungen.....	24
Anhang A (normativ) Ausgleicher und deren Vorbereitung.....	25
A.1 Anforderungen an Ausgleicher	25
A.2 Empfehlungen für geschweißte Ausgleicher	25
Anhang B (normativ) Messungen	27
B.1 Potentialmesspunkte für typische Verbinder.....	27
B.2 Temperaturmessung	27
B.3 Äquivalenter Leiterwiderstand	27
Anhang C (informativ) Empfehlungen zur Verbesserung von Messunsicherheiten.....	28
C.1 Handhabung der Prüfschleife.....	28
C.2 Messungen, Messgeräte und Ablesungen	28
Anhang D (normativ) Berechnung des adiabatischen Kurzschlussstromes	29

Anhang E (informativ) Bestimmung des Wertes des Kurzschlussstromes	30
Anhang F (normativ) Berechnungsverfahren	31
F.1 Allgemeines	31
F.2 Durchgeführte Messungen	31
F.3 Widerstandsfaktor k eines Verbinders	31
F.4 Die Anfangsstreuung δ	32
F.5 Die mittlere Streuung β	32
F.6 Änderung des Widerstandsfaktors jedes Verbinders	34
F.6.1 Allgemeines	34
F.6.2 Regressionsgerade	34
F.6.3 Vertrauensbereich δ_1	34
F.6.4 Änderung des Widerstandsfaktors D	35
F.7 Widerstandsfaktorverhältnis λ	35
F.8 Höchste Temperaturen $\theta_{\max}$	35
Anhang G (informativ) Erläuterung der Auswertung der Ergebnisse von elektrischen Prüfungen an Verbindern	36
G.1 Vorgeschichte	36
G.2 Kurze Untersuchung der Auswertungsverfahren nach IEC 61238-1 im Vergleich zu der italienischen Norm CEI 20-28 und der britischen Norm BS 4579-3	36
G.3 Das Verfahren nach IEC 61238-1 zur Auswertung von Prüfergebnissen	37
Anhang H (informativ) Prüfungen an Mehrfachverbindern	39
H.1 Kurzbeschreibung	39
H.1.1 Elektrische Prüfungen	39
H.1.2 Mechanische Prüfungen	39
H.2 Prüfpfehlung auf der Grundlage der Prüferfahrungen im Vereinigten Königreich und in Frankreich:	39
H.2.1 Messung:	40
H.2.2 Erwärmungslastwechselprüfung:	40
H.2.3 Kurzschlussprüfung (nur für Klasse A):	40
H.2.4 Auswertung der Ergebnisse:	41
H.3 Prüfpfehlung auf der Grundlage der deutsche Norm DIN VDE 0220-3:	43
H.3.1 Prüfanordnung für die elektrische Typprüfung	43
H.3.2 Abzweiger der Prüfanordnung zur Bewertung des Widerstandes	45
H.3.3 Temperaturmessung in einem getrennten Prüfzweig während des ersten und zweiten Erwärmungslastwechsels	45
H.3.4 Verbindung von Anschlüssen für Erwärmungslastwechsel	47
H.3.5 Kurzschlussprüfungen	49
H.3.7 Wahlweise Prüfung der Durchschlagfestigkeit nach der elektrischen Prüfung	51
Anhang I (informativ) Lastaufnahmeprüfungen	53
Literaturhinweise	54

Bilder

Bild 1 – Position von Thermoelementen	14
Bild 2 – Beispiel eines Profils des zweiten Erwärmungslastwechsels	16
Bild 3 – Typische Prüfstromkreise für an isolierten Leitern installierte Verbindungshülsen	20
Bild 4 – Typischer Prüfstromkreis für an isolierten Leitern installierte Abzweigverbinder	21
Bild 5 – Typische Fälle von Widerstandsmessungen	22
Bild A.1 – Vorbereitung der Ausgleicher	26
Bild E.1 – Bestimmung des äquivalenten Effektivwertes des Stromes während der Kurzschlussprüfung	30
Bild F.1 – Beispiel einer graphischen Darstellung für die Bewertung eines einzelnen Verbinders der Klasse A	33
Bild H.1.1 – Typische Prüfschleife für einen Mehrfachverbinder mit identischem Nennquerschnitt und identischer Form von Phasenleitern und Neutralleiter	41
Bild H.1.2 – Typische Prüfschleife für einen Mehrfachverbinder mit einem verschiedenen Nennquerschnitt von Phasenleitern und Neutralleiter	42
Bild H.1 – Prüfschleifen für Verbindungshülsen	42
Bild H.2.1 – Typische Prüfschleife für einen Mehrfachverbinder mit identischem Nennquerschnitt und identischer Form von Phasenleitern und Neutralleiter	42
Bild H.2.2 – Typische Prüfschleife für einen Mehrfachverbinder mit einem verschiedenen Nennquerschnitt von Phasenleitern und Neutralleiter	43
Bild H.2 – Prüfschleifen für Abzweigverbinder	43
Bild H.3.1 – Beispiel für den Prüfaufbau bei Mehrfach-Abzweigverbindern an einem vieradrigen Kabel, der mehrere Prüfzweige umfasst	45
Bild H.3.2 – Beispiel für die schematische Darstellung eines Stromkreises für Erwärmungslastwechsel von Mehrfach-Abzweigverbindern, vom Haupt- zum Abzweigkabel, z. B. 150/150, 150/120 oder 150/95 im Fall von vieradrigen Kabeln	48
Bild H.3.3 – Beispiel für die schematische Darstellung eines Stromkreises für Erwärmungslastwechsel bei Mehrfach-Abzweigverbindern, vom Haupt- zum Abzweigkabel, z. B. 150/70 und kleiner im Fall von vieradrigen Kabeln	48
Bild H.3.4 – Beispiel für die schematische Darstellung eines Stromkreises im Fall der Prüfung eines Verbinders für ein vieradriges Kabel zur Durchführung von Kurzschlüssen am Hauptkabel durch die benachbarten Phasen L2 – L3 mit entgegengesetztem Stromfluss	49
Bild H.3.5 – Beispiel für die schematische Darstellung eines Stromkreises im Fall der Prüfung eines Abzweigverbinders für ein vieradriges Kabel bei Kurzschlussprüfungen vom Hauptkabel zum Abzweigkabel durch die benachbarten Phasen L4 – L1 mit entgegengesetztem Stromfluss	50

Tabellen

Tabelle 1 – Dauer des Beharrungszustands	15
Tabelle 2 – Messung des elektrischen Widerstands während der elektrischen Prüfung	17
Tabelle 3 – Anforderungen der elektrischen Prüfung	18
Tabelle 4 – Zugkraft bei mechanischen Prüfungen	23
Tabelle D.1 – Materialeigenschaften	29
Tabelle G.1 – Zusammenfassung des beurteilten Verhaltens eines geprüften Verbinders	38

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 20/1651/CD:2016 „Compression and mechanical connectors for power cables – Part 1-2: Test methods and requirements for insulation piercing connectors for power cables for rated voltages up to 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) tested on insulated conductors“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 20 „Electric cables“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die 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. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 411.3 „Garnituren und Verbinder für Starkstromkabel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61238-1 (VDE 0220-100):2004-03** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm wird neu strukturiert und auf 3 Teile aufgeteilt;
- b) Norm ist komplett überarbeitet;
- c) Einführung von 2 neuen mechanischen Klassen;
- d) die Vorbehandlung durch Lastaufnahme unter Spannung für isolationsdurchdringende Verbinder wurde hinzugefügt;
- e) Prüfungen für mehradrig wirkende Verbindungsvorrichtungen hinzugefügt.

**Pressverbinder und Schraubverbinder für Starkstromkabel –
Teil 1-2: Prüfverfahren für und Anforderungen an isolationsdurchdringende
Verbinder für Starkstromkabel für Nennspannungen bis zu 1 kV ($U_m = 1,2$ kV),
geprüft an isolierten Leitern**

Einleitung

Dieser Teil 1-2 von IEC 61238-1 behandelt Typprüfungen für isolationsdurchdringende Verbinder für Kupfer- oder Aluminiumleiter von Starkstromkabeln für Nennspannungen bis zu 1 kV ($U_m = 1,2$ kV). Wenn die Verbinderkonstruktion den Anforderungen dieser Norm entspricht, dann wird erwartet, dass während des Betriebs:

- a) der Widerstand der Verbindung innerhalb festgelegter Grenzen stabil bleibt;
- b) die durch den Stromfluss hervorgerufene Erwärmung zu einer Temperatur des Verbinders führt, die von gleicher Größenordnung wie oder geringer ist als die Leitertemperatur;
- c) wenn der beabsichtigte Einsatz dies erfordert, dass Kurzschlussströme keinen Einfluss auf a) und b) haben;
- d) unabhängig von der elektrischen Leistungsfähigkeit, die Einhaltung der axialen Zugfestigkeit annehmbare mechanische Gebrauchseigenschaften bei den Verbindungen zu den Kabelleitern sicherstellt, sofern zutreffend.

Es sollte hervorgehoben werden, dass die in dieser Norm festgelegten elektrischen und mechanischen Prüfungen – obwohl sie die Eignung von Verbindern unter den meisten Betriebsbedingungen nachweisen sollen – nicht unbedingt für Anwendungen gelten, in denen ein Verbinder eine hohe Temperatur erreichen kann, weil er an eine für hohe Nennströme bemessene Anlage angeschlossen ist, oder in denen ein Verbinder Korrosionsbedingungen oder äußeren mechanischen Beanspruchungen, wie z. B. übermäßigen Schwingungen, Stößen und Ortsveränderungen nach der Installation, ausgesetzt ist, noch unter Bedingungen, bei denen der Verbinder niedrigen Temperaturen bei der Montage ausgesetzt ist oder wenn der Verbinder unter Spannung installiert wird. In diesen Fällen sind die Prüfungen dieser Norm möglicherweise durch spezielle, zwischen Lieferant und Käufer vereinbarte Prüfungen zu ergänzen.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Dieser Teil von IEC 61238-1 gilt für isolationsdurchdringende Verbinder für Starkstromkabel für Nennspannungen bis zu 1 kV ($U_m = 1,2$ kV), z. B. für erdverlegte oder in Gebäuden verlegte Kabel, mit

- a) Leitern, die IEC 60228 entsprechen und Nennquerschnitte zwischen $2,5 \text{ mm}^2$ und 300 mm^2 für Kupfer und zwischen 16 mm^2 und 500 mm^2 für Aluminium haben;
- b) einer maximalen Dauertemperatur des Leiters von höchstens 90°C .

Diese Norm gilt weder für Verbinder für Freileitungen noch für Verbinder mit einem Gleitkontakt. Obwohl es nicht möglich ist, die Betriebsbedingungen für alle Anwendungsfälle genau zu definieren, wurden die folgenden Anforderungen ermittelt.

Elektrische Anforderungen:

Klasse A

Hier handelt es sich um Verbinder, die für Verteilungs- oder Industrienetze vorgesehen sind, wo sie Kurzschlussbeanspruchungen von verhältnismäßig hoher Intensität und langer Dauer ausgesetzt sein können. Demzufolge sind Verbinder der Klasse A für die meisten Anwendungsfälle geeignet.

Klasse B

Hier handelt es sich um Verbinder für Netze, in denen Überlasten oder Kurzschlüsse durch eingebaute Schutzvorrichtungen, wie z. B. flinke Sicherungen, schnell beseitigt werden.

Mechanische Anforderungen:

Klasse 0

Verbinder, die praktisch keiner mechanischen Zugkraft ausgesetzt sind. Dazu gehören z. B. Verbinder in Schaltanlagen, wobei das Kabel oder die Leiter fest angebracht oder verankert sind.

Klasse 1

Verbinder, die einer mechanischen Zugkraft ausgesetzt sind, die sich auf den Nennquerschnitt und das Material des Leiters (nach Tabelle 4) bezieht. Dazu gehören z. B. Verbinder für Erdkabelmuffen.

Somit entsprechen die vier Klassen den folgenden Prüfungen:

Klasse A Erwärmungslastwechsel- und Kurzschlussprüfungen;

Klasse B nur Erwärmungslastwechselprüfungen;

Klasse 0 keine mechanischen Prüfungen;

Klasse 1 mechanische Prüfungen.

Zweck dieser Norm ist es, die Verfahren und Anforderungen von Typprüfungen festzulegen, die für isolationsdurchdringende Verbinder für Starkstromkabel mit Kupfer- oder Aluminiumleitern gelten. Die empfohlene Referenzmethode besteht in der Durchführung der Prüfungen an neuen, isolierten Leitern.

Diese IEC-Norm erklärt bestehende Zulassungen für Erzeugnisse, die auf der Grundlage von nationalen Normen und Spezifikationen und/oder dem Nachweis von zufriedenstellendem Betriebsverhalten erteilt wurden, nicht für ungültig. Allerdings können nach derartigen nationalen Normen oder Spezifikationen zugelassene Erzeugnisse die Zulassung nach dieser IEC-Norm nicht direkt beanspruchen.

Wurden diese Prüfungen einmal erfolgreich durchgeführt, brauchen sie nicht wiederholt zu werden, außer wenn Änderungen des Materials, des Fertigungsverfahrens und der Konstruktion vorgenommen werden, die die Leistungsfähigkeit des Verbinders nachteilig beeinflussen könnten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 60050-461, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 461: Electric cables*

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60493-1, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

IEC 60949:1988, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-461 und die folgenden Begriffe.

3.1

Verbinder (von Kabeln)

Vorrichtung zum Anschließen eines Leiters an einen Geräteanschluss oder zum Verbinden von zwei oder mehr Leitern miteinander

[QUELLE: IEC 461-17-03, modifiziert]

3.2

Durchgangsverbinder

Vorrichtung zum Verbinden zweier aufeinanderfolgender Leiterlängen

[QUELLE: IEC 461-17-04, modifiziert]

3.3

Abzweigverbinder

Vorrichtung zur Verbindung des Leiters eines Abzweigkabels mit einem Leiter eines Hauptkabels an einem beliebigen Punkt des Hauptleiters

[QUELLE: IEC 461-17-05, modifiziert]

3.4

Kabelschuh

Vorrichtung zum Anschluss eines Kabelleiters an ein anderes elektrisches Betriebsmittel

[QUELLE: IEC 461-17-01, modifiziert]

3.5

Anschlusslasche (eines Kabelschuhs)

Teil eines Kabelschuhs, der zur Verbindung mit dem elektrischen Betriebsmittel verwendet wird

[QUELLE: IEC 461-17-07]

3.6

Hülse (eines Kabelschuhs, Verbinders usw.)

Teil einer Vorrichtung, in den der zu verbindende Leiter eingeführt wird

[QUELLE: IEC 461-17-06]

3.7

Bezugsleiter

Länge eines isolierten Leiters oder eines Leiters mit erneut aufgebauter Isolierung ohne Verbinder, der in die Prüfschleife eingefügt wird und der es ermöglicht, die Referenztemperatur und den Referenzwiderstand zu bestimmen

3.8

Ausgleicher

Einrichtung in einer Prüfschleife um einen Potentialausgleichspunkt und eine gleichmäßigen Stromverteilung in einem mehrdrähtigen Leiter sicherzustellen

3.9

Pressverbindungsverfahren

Verfahren zur Befestigung eines Verbinders an einem Leiter durch bleibende Verformung des Verbinders und des Leiters mit Hilfe eines speziellen Werkzeuges

3.10

Schraubverbindungsverfahren

Verfahren zur Befestigung eines Verbinders an einem Leiter z. B. mit Hilfe eines Gewindebolzens oder einer Schraube, der/die auf den Leiter einwirkt, oder unter Anwendung alternativer Verfahren

3.11

Medianverbinder

Verbinder, der während des ersten Erwärmungslastwechsels die dritthöchste Temperatur von den sechs in der Prüfschleife befindlichen Verbindern erreicht

3.12

isolationsdurchdringender Verbinder (IPC)

Verbinder, bei dem der elektrische Kontakt mit dem Leiter dadurch hergestellt wird, dass metallene Kontaktelemente die Aderisolierung durchdringen

[QUELLE: IEV 461-11-08]

3.13

isolationsdurchdringendes Verfahren

Verfahren zur Befestigung eines IPC an einem isolierten Leiter durch Durchstechen, Durchbohren, Durchschneiden der Isolierung von mindestens einem Kabelleiter oder dadurch, dass die Isolierung in anderer Weise unwirksam gemacht wird, ohne vorheriges Abisolieren während der Installation

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Temperaturen werden nicht mehr durch den Leiter, sondern durch die Kabelisolierung begrenzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieses Verfahren erlaubt möglicherweise das Arbeiten unter Spannung, wenn der Verbinder ein ausreichendes Isolationsvermögen aufweist. Sicherheitsanforderungen an das Arbeiten unter Spannung sind in dieser Norm nicht enthalten.

3.14

Leiter (eines Kabels)

Teil eines Kabels, das zur Stromübertragung dient

[QUELLE: IEV 461-01-01]

3.15

Verbinderfamilie

Gruppe von Verbindern eines Herstellers, für die die gleichen Konstruktionskriterien, die gleichen Materialeigenschaften und das gleiche Installationsverfahren gelten

4 Symbole

A	Nennquerschnitt des Leiters
D	Änderung des Widerstandsfaktors eines Verbinders
I	Gleichstrom, der während der Widerstandsmessung durch eine Verbindung fließt
I_{rms}	äquivalenter Effektivwert des Kurzschlussstromes
I_N	Wechselstrom, der erforderlich ist, um den Bezugsleiter bei seiner Gleichgewichtstemperatur zu halten
I_r	Gleichstrom, der während der Widerstandsmessung durch den/die Bezugsleiter fließt
k	Widerstandsfaktor eines Verbinders: das Verhältnis des Widerstandes eines Verbinders zum Widerstand eines gleichlangen Stücks des Bezugsleiters
l_a, l_b, l_j	Längen der jeweiligen Verbinderanordnung im Zusammenhang mit den Messstellen im Prüfaufbau nach dem Einbau
l_r	Länge des Bezugsleiters zwischen den Messstellen
S	tatsächlicher Querschnitt des Leiters, abgeleitet aus Messungen und Berechnungen
t_1	Erwärmungszeit
t_2	die Zeit, die erforderlich ist, bis Verbinder und Bezugsleiter auf einen Wert von 35 °C oder darunter abgekühlt sind
U	Potentialdifferenz zwischen den Messstellen, wenn der Strom I geführt wird
U_r	Potentialdifferenz zwischen den Messstellen des Bezugsleiters, wenn der Strom I_r geführt wird
α	Temperaturkoeffizient des Widerstandes bei 20 °C
β	Mittelwertstreuung der Widerstandsfaktoren von Verbindern
δ	Anfangsstreuung der Widerstandsfaktoren von Verbindern
λ	Widerstandsfaktorverhältnis: der tatsächliche Widerstandsfaktor eines Verbinders zum jeweiligen Zeitpunkt der Messung geteilt durch dessen anfänglichen Widerstandsfaktor
θ	Temperatur eines Verbinders
θ_{max}	an einem Verbinder über den gesamten Prüfzeitraum während der Erwärmungslastwechsel aufgezeichnete höchste Temperatur
θ_R	Temperatur des Bezugsleiters, die während des ersten Erwärmungslastwechsels ermittelt wurde
θ_{ref}	Temperatur des zugehörigen Bezugsleiters zum Zeitpunkt der Messung von θ_{max}

5 Allgemeines

5.1 Leiter

Im Prüfbericht müssen folgende Angaben aufgeführt sein:

- Leiterwerkstoff;
- Nennquerschnitt, Maße und Geometrie;
- Leiterkonstruktion, d. h. ein- oder mehrdrähtig. Im Falle mehrdrähtiger Leiter sind Angaben über den Leiteraufbau zu machen, falls bekannt, oder durch Überprüfung ermittelbar z. B.:
 - verdichtet;
 - nicht verdichtet;
 - flexibel (Klassen 5 und 6 nach IEC 60228);
 - Anzahl und Schlagrichtung der Einzeldrähte;
 - Art der Oberflächenbeschichtung, falls vorhanden;

- Art der Imprägnierung, Quellmittel usw., falls vorhanden.
- ungefähre Härteangabe, d. h. gegläht, halbhart, hart, wenn die Leiter nicht IEC 60228 entsprechen;
- Kabelspezifikation, einschließlich Art und Dicke der Isolierung usw.;
- Konditionierung des Kabels, sofern vor der Prüfung vereinbart.

5.2 Verbinder und Installationsverfahren

Im Prüfbericht müssen folgende Angaben aufgeführt sein:

- anzuwendendes Montageverfahren oder anzuwendende Installationsanweisung;
- Werkzeug und erforderliche Einstellungen;
- sofern nicht Bestandteil des gelieferten Erzeugnisses: Schrauben/Gewindebolzen, Muttern, Scheiben, Schmiermittel, Anziehdrehmomente usw.;
- Vorbehandlung der Kontaktflächen, falls erforderlich;
- Identifikation des Verbinders, z. B. Zeichnung, Bestellnummer, Typ;
- die Art der Leiterisolierung und die Einbautemperatur.

5.3 Geltungsbereich

Im Allgemeinen gelten Prüfungen, die an einer Art der Kombination aus isolationsdurchdringendem Verbinder, Leiter und Isolierung vorgenommen wurden, nur für diese Anordnung. Um jedoch die Anzahl der Prüfungen zu begrenzen, ist Folgendes zulässig:

- ein Verbinder, der für mehrdrähtige Rundleiter geeignet ist, wird für diesen Typ zugelassen, wenn an einem verdichteten Rundleiter zufriedenstellende Ergebnisse erhalten werden;
- ein Verbinder, der für mehrere Querschnitte geeignet ist, muss zugelassen werden, wenn beim kleinsten und größten Querschnitt zufriedenstellende Ergebnisse erhalten werden;
- wenn ein Hersteller eindeutig nachweisen kann, dass allgemein gültige und maßgebliche Konstruktionskriterien für eine Familie von Verbindern angewendet wurden, ist die Übereinstimmung mit dieser Norm erreicht, wenn die größte, die kleinste und zwei dazwischenliegende Verbindergrößen erfolgreich geprüft wurden;

Ausnahme Nr. 1: Bei einer Familie von Verbindern, die aus fünf Größen besteht, müssen nur der größte Verbinder, der kleinste Verbinder und ein Verbinder einer repräsentativen Zwischengröße geprüft werden.

Ausnahme Nr. 2: Bei einer Familie von Verbindern, die aus vier Größen oder weniger besteht, müssen nur der größte Verbinder und der kleinste Verbinder geprüft werden.

- im Falle von Verbindern, bei denen eine oder beide Seiten für einen Bereich von Nennquerschnitten ausgelegt sind und eine gemeinsame Klemm- oder Pressvorrichtung der Verbindung der verschiedenen Querschnitte dient, sind bei den Verbindern der Klasse 1 mechanische Prüfungen an den Leitern mit dem größten und dem kleinsten Querschnitt nach [Abschnitt 7](#) durchzuführen;
- wenn die Übereinstimmung mit dieser Norm durch erfolgreiche Prüfung eines Schraubverbinders an mehrdrähtigen Rundleitern aus Aluminium erreicht wird, kann diese Bauartzulassung auf eindrähtige Leiter aus Aluminium mit dem (den) gleichen Querschnitt(en) übertragen werden;
- wenn die Übereinstimmung mit dieser Norm durch erfolgreiche Prüfung eines Durchgangsverbinders erreicht wird, kann diese Bauartzulassung bei Anwendung der gleichen Konstruktionskriterien auf eine Hülse eines Anschlusses übertragen werden und die Zulassung für den vollständigen Anschluss kann erreicht werden, wenn die Anschlussverbindung die Leistungsfähigkeit der Hülse nicht beeinflusst, nachgewiesen durch Konstruktionsparameter und Zeichnungen der Anschlusskonstruktion oder durch eine thermische Nachprüfung.

ANMERKUNG Unterschiedliche Arten von Quellmitteln können das Leistungsfähigkeit beeinflussen.

6 Elektrische Prüfungen

6.1 Prüfaufbau

6.1.1 Allgemeines

Alle Leiter mit dem gleichen Nennquerschnitt in der Prüfschleife müssen von derselben durchlaufend gefertigten Kabelader entnommen werden.

Für jede Prüfreihe müssen sechs Verbinder nach den Anweisungen des Herstellers auf einem isolierten Leiter montiert werden.

In einem Abstand von mindestens 100 mm bis zur Einführung in den Verbinder kann die Isolierung für die Vorbereitung von Ausgleichern (siehe [Anhang A](#)) entfernt werden.

In die Prüfschleife ist/sind ebenfalls ein/mehrere Bezugsleiter mit belassener Isolierung einzufügen.

Bei mehrdrähtigen Leitern können Potentialunterschiede zwischen den Einzeldrähten an Messstellen zu Fehlern bei der Messung des elektrischen Widerstandes führen. Um dieses Problem zu überwinden und um eine gleichmäßige Stromverteilung im Bezugsleiter und zwischen den Verbindern an den Ausgleichsstellen sicherzustellen, sind Ausgleicher zu verwenden (siehe [Anhang A](#)).

Die Prüfschleife ist an einem Ort zu installieren, wo die Luft ruhig ist.

Die Umgebungstemperatur des Prüfortes muss zwischen 15 °C und 30 °C betragen.

Bei der Montage der Prüflinge muss die Temperatur (23 ± 3) °C betragen. Die Prüflinge sollten für einen angemessenen Zeitraum gelagert werden, um die geforderte Einbautemperatur zu erreichen.

Bei eindräftigen Leitern müssen die Potentialmesspunkte möglichst nahe am Verbinder sein, um I_a und I_b zu verkleinern. Bis zur Kabeleinführung in den IPC muss ein Mindestabstand von 10 mm eingehalten werden, um einen Einfluss auf den IPC durch das Durchschneiden der Kabelisolierung beim Festlegen des Messpunktes zu vermeiden.

Die Prüfschleife darf von beliebiger Form sein, vorausgesetzt, sie ist so angeordnet, dass Boden, Wände und Decke, weitere Prüfschleifen sowie angrenzende Prüfzweige keine nachteilige Auswirkung auf sie haben.

Zur Erleichterung der Kurzschlussprüfungen (nur für Verbinder der Klasse A) darf die Prüfschleife demontiert werden, siehe Bild 2a. In diesem Fall muss die Technik für die trennbaren Verbindungsstellen zur Aufteilung des Prüfkreises derart sein, dass sie die Temperatur der Prüflinge während der Erwärmung nicht beeinflusst.

Ein Nachziehen der Gewindebolzen oder Schrauben an den zu prüfenden Verbindern ist nicht zulässig.

ANMERKUNG 1 Im informativen [Anhang G](#) werden elektrische Prüfungen für Mehrfachverbinder vorgeschlagen. Diese Prüfungen sind nicht international anerkannt und sind Gegenstand einer Vereinbarung zwischen Kunden und Hersteller.

ANMERKUNG 2 Im informativen [Anhang H](#) sind Empfehlungen zur Simulation von Lastströmen (bezogen auf den Querschnitt) enthalten, die bei der Installation eines IPC wirken, während die Kabel noch in Betrieb sind. Diese Prüfung wird bei der Installation des IPC in die Prüfschleife, vor Beginn einer elektrischen Prüfung, durchgeführt.

6.1.2 Durchgangsverbinder

Die Prüfschleife ist in [Bild 3](#) mit Angaben der zu verwendenden Maße gezeigt.

6.1.3 Abzweigverbinder

Wenn ein Abzweigverbinder für ein Abzweigkabel vorgesehen ist, das den gleichen Nennquerschnitt hat wie das Hauptleiter bzw. einen Nennquerschnitt unmittelbar ober- oder unterhalb des Nennquerschnitts des

Hauptleiters, so wird der Abzweigverbinder als Durchgangsverbinder zwischen Haupt- und Abzweigleiter behandelt, und das Prüfverfahren für die Durchgangsverbinder ist anwendbar. In anderen Fällen muss die Prüfschleife [Bild 4](#) entsprechen. Wenn die Konstruktion des Verbinders es erforderlich macht, dass der Hauptleiter geschnitten werden muss, dann muss der Teil des Verbinders, der als Durchgangsverbinder dient, zusätzlich wie ein Durchgangsverbinder geprüft werden.

6.1.4 Verbindung mit einer Anschlussschiene

Wenn eine Verbindung mit einer Anschlussschiene erfolgt, wird die Prüfung wie bei Durchgangsverbindern durchgeführt.

Wird eine Verbindungsschiene verwendet, muss der elektrische Querschnitt äquivalent dem elektrischen Querschnitt des Bezugsleiters sein, um die gleiche Temperatur mit einer Grenزابweichung von ± 5 K zu erreichen. Möglicherweise ist es notwendig, die Verbindungsschiene neu zu isolieren, um das gleiche Wärmeverhalten widerzuspiegeln.

ANMERKUNG Andere Prüfkonfigurationen sind möglich, wenn sie zwischen Lieferant und Käufer vereinbart sind.

6.2 Messungen

Messungen sind in bestimmten Abständen während der gesamten Prüfung nach den Angaben in [Tabelle 2](#) vorzunehmen.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Verbesserung der Messunsicherheiten sind in [Anhang C](#) angeführt.

6.2.1 Messungen des elektrischen Widerstandes

Die Widerstandsmessungen sind bei gleichbleibenden Temperaturbedingungen sowohl der Prüfschleife als auch des Prüfortes durchzuführen. Die Umgebungstemperatur muss zwischen 15 °C und 30 °C betragen.

Die empfohlene Referenzmethode besteht darin, einen Gleichstrom von bis zu 10 % des geschätzten Erwärmungslastwechselstromes durch die Verbinder und den Bezugsleiter zu leiten, ohne die Temperatur wesentlich zu erhöhen, und die Potentialdifferenz zwischen bestimmten Potentialmessstellen zu messen. Das Verhältnis zwischen Potentialdifferenz und Gleichstrom ist dann der elektrische Widerstand zwischen diesen Stellen.

ANMERKUNG Um die Genauigkeit der Widerstandsmessung zu verbessern, empfiehlt es sich, während der gesamten elektrischen Prüfungen dieselbe Höhe des Gleichstroms zu verwenden.

Bei Abzweigleitern, die nach [Bild 4](#) montiert sind, muss der gesamte Messstrom durch den Teil des Verbinders fließen, dessen Potentialdifferenz gemessen wird. Schalter oder Trennstellen dürfen für diesen Zweck vorgesehen werden.

Thermospannungen beeinflussen möglicherweise die Genauigkeit von Messungen niedriger Widerstände (in der Größenordnung von 10 $\mu\Omega$). Wenn ein derartiger Verdacht vorliegt, besteht die empfohlene Referenzmethode darin, zwei Widerstandsmessungen mit vertauschter Polarität des Messgleichstromes vorzunehmen. Der Mittelwert der beiden Messwerte ist dann der tatsächliche Widerstand des Prüflings.

Die Potentialmessstellen sind nach den Angaben in [Bild 5](#) und [Anhang B](#) festzulegen, und die verschiedenen aufgeführten Längen sind ebenfalls zu messen, damit die tatsächlichen Verbinderwiderstände ermittelt werden können. Die Temperaturen des Verbinders und des Bezugsleiters sind aufzuzeichnen, wenn die Widerstandsmessungen vorgenommen werden. Für einen direkten Vergleich sind die Widerstandswerte auf 20 °C umzurechnen. Angaben über die empfohlene Referenzmethode sind außerdem in [Anhang B](#) enthalten. An diesen Stellen sind während der Erwärmungslastwechselprüfung Temperaturmessungen vorzunehmen.

Indirekte Widerstandsbestimmung:

- Spannungsmessungen müssen eine Messunsicherheit des Gerätes innerhalb von $\pm 0,5$ % oder ± 10 μ V aufweisen, wobei der größere Wert verwendet wird;

- Strommessungen müssen eine Messunsicherheit des Gerätes innerhalb von $\pm 0,5 \%$ oder $\pm 0,1 \text{ A}$ aufweisen, wobei der größere Wert verwendet wird.

Direkte Widerstandsmessungen:

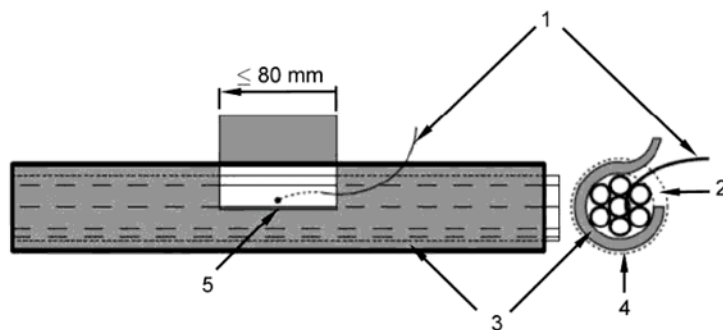
Widerstandsmessungen müssen eine Messunsicherheit des Gerätes innerhalb von $\pm 1 \%$ oder $\pm 0,5 \mu\Omega$ aufweisen, je nachdem, welcher Wert größer ist, wenn das Messgerät gegen ein zertifiziertes Widerstandsnormalkalibriert ist.

6.2.2 Temperaturmessungen

Temperaturmessungen sind in bestimmten Abständen während der gesamten Prüfung nach den Angaben in 6.3 vorzunehmen.

Die Temperaturen der Verbinder und Bezugsleiter sind an den in Bild 5 gezeigten Stellen zu messen. Die empfohlene Referenzmethode zur Temperaturmessung besteht in der Verwendung von Thermoelementen. Die Temperaturmessungen müssen eine Messunsicherheit des Gerätes innerhalb von $\pm 2 \text{ K}$ aufweisen.

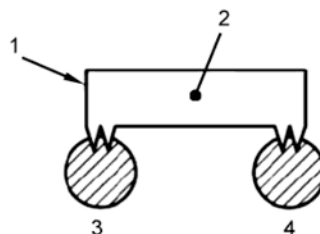
Die empfohlene Position und das bevorzugte Einbauverfahren für Thermoelemente sind in Bild 1 für typische Beispiele beschrieben.



Legende

- 1 Thermoelement
- 2 offene Stelle zur Anordnung des Thermoelements
- 3 Leiterisolierung
- 4 Klebeband: Thermoelement und Isolierung sind mit 2 halbüberlappenden Lagen Klebeband abgedeckt
- 5 kleines Fenster in der Isolierung des Bezugsleiters

Bild 1a – Position des Thermoelements an einem mehrdrähtigen, isolierten Bezugskabel



Legende

- 1 metallischer Strompfad
- 2 Position des Thermoelements
- 3 Hauptleiter
- 4 Abzweigleiter

Bild 1b – Position des Thermoelements in einem IPC

Bild 1 – Position von Thermoelementen

6.3 Erwärmungslastwechselprüfung

Die Erwärmungslastwechselprüfung ist mit Wechselstrom durchzuführen.

Während der Lastwechsel ist die Prüfschleife nach Bild 3 oder 4 zu verwenden.

6.3.1 Erster Erwärmungslastwechsel

Zweck des ersten Erwärmungslastwechsels ist es, den Medianverbinder und dessen Temperatur zu bestimmen.

Der durch den Prüfkreis geleitete Strom ist so einzustellen, dass die Temperatur des isolierten Bezugsleiters im Temperaturgleichgewicht, θ_R , auf einen Wert zwischen 10 K bis 15 K über der Höchsttemperatur des Leiters im üblichen Betrieb angeglichen wird.

Das Temperaturgleichgewicht ist dann erreicht, wenn die Temperatur des Bezugsleiters und der Verbinder seit dem Einschalten, mindestens aber in den in Tabelle 1 festgelegten Zeiträumen um nicht mehr als ± 2 K schwankt.

Bei Abzweigverbindern kann es sich in regelmäßigen Abständen während der Prüfung als notwendig erweisen, die Stromstärke in einem einzelnen isolierten Abzweigleiter anzugleichen, um sicherzustellen, dass die Bezugstemperatur eines jeden isolierten Abzweigleiters der Bezugstemperatur des isolierten Hauptleiters mit einer Grenzabweichung von ± 2 K entspricht. Wenn Leiter mit unterschiedlichen Betriebstemperaturen (Arten der Isolierung) in den isolierten Haupt- und Abzweigleitern verwendet werden, muss der isolierte Leiter mit der niedrigsten Temperatur während der gesamten Prüfung als Bezugsleiter verwendet werden. Der Strom (Die Ströme) I_N ist (sind) bei Temperaturgleichgewicht im Haupt- und möglicherweise Abzweigleiter im Prüfbericht anzugeben.

Tabelle 1 – Mindestdauer des Gleichgewichtszustands

Nennquerschnitt des Leiters, A	mm ²	Al Cu	$A \leq 300$ $A \leq 240$	$300 < A \leq 500$ $240 < A \leq 300$
Mindestdauer des Gleichgewichtszustands	min		15	20

6.3.2 Zweiter Erwärmungslastwechsel

Der Zweck dieses zweiten Erwärmungslastwechsels ist es, die Erwärmungslastwechseldauer und das Temperaturprofil zu ermitteln, die dann bei der Prüfschleife für alle nachfolgenden Erwärmungslastwechsel Anwendung finden.

Strom wird durch die Prüfschleife geleitet, bis die Temperatur des Bezugsleiters des isolierten Hauptleiters den in 6.3.1 festgelegten Wert θ_R erreicht und die Temperatur des Medianverbinders während 10 min innerhalb eines Temperaturbereiches von 2 K konstant ist und um nicht mehr als 3 K von der während des ersten Erwärmungslastwechsels gemessenen Temperatur abweicht.

Bei Abzweigverbindern, bei denen die Anwendung des in Bild 4 dargestellten Stromkreises notwendig ist, wird der Strom durch die Prüfschleife geleitet, bis die Temperatur des Bezugsleiters des Abzweigleiters θ_{Rb} einen Wert zwischen 10 K bis 15 K über der zulässigen Höchsttemperatur seiner Leiterisolierung im üblichen Betrieb und die Temperatur des Bezugsleiters des Hauptleiters θ_R einen Wert zwischen 5 K bis 15 K über der zulässigen Höchsttemperatur seiner Leiterisolierung im üblichen Betrieb erreicht. Die Temperatur des Medianverbinders ist während 10 min innerhalb eines Temperaturbereiches von 2 K konstant und weicht um nicht mehr als 3 K von der während des ersten Erwärmungslastwechsels gemessenen Temperatur ab.

Zu Beginn des Erwärmungslastwechsels darf als bevorzugtes Verfahren eine höhere Stromstärke von bis zu 150 % von I_N verwendet werden, um die Erwärmungszeit zu verkürzen. Danach muss die Stromstärke auf

einen Mittelwert nahe I_N verringert oder eingestellt werden, um sicherzustellen, dass während des Zeitraumes der Regelung des Medianverbinders konstante Bedingungen herrschen. Möglicherweise ist die Anwendung von mehr als einem Lastwechsel erforderlich, um den zweiten Erwärmungslastwechsel zu bestimmen.

Die Temperatur des Bezugsleiters muss der Regelungsparameter zur Aufrechterhaltung des Temperaturprofils während der Erwärmungslastwechselprüfung sein. Auf diese Weise beeinflusst die Schwankung der Umgebungstemperatur nicht das Temperaturprofil des Bezugsleiters innerhalb der in dieser Norm angeführten Grenzwerte.

Das ermittelte Erwärmungsprofil des Bezugsleiters, das die Kennlinien der Temperaturen in Abhängigkeit von der Zeit enthält, wie in Bild 1 dargestellt, muss aufgezeichnet und bei allen nachfolgenden Erwärmungslastwechseln reproduziert werden.

Der Erwärmungsphase t_1 folgt eine Abkühlphase t_2 , um die Temperatur aller Verbinder und des Bezugsleiters auf einen Wert von $\leq 35^\circ\text{C}$ zu bringen.

Es ist eventuell erforderlich, t_2 in nachfolgenden Erwärmungslastwechseln einzustellen, um das Erreichen der Temperaturbedingungen sicherzustellen, insbesondere während der Messung von Widerständen, um die Bedingungen von 6.2.1 zu beachten.

Wenn eine beschleunigte Abkühlung angewendet wird, so muss diese auf die gesamte Prüfschleife wirken und die verwendete Luft muss innerhalb der Umgebungstemperaturgrenzen liegen.

Die Gesamtzeitspanne von $t_1 + t_2$ stellt einen Erwärmungslastwechsel dar (siehe Bild 2).

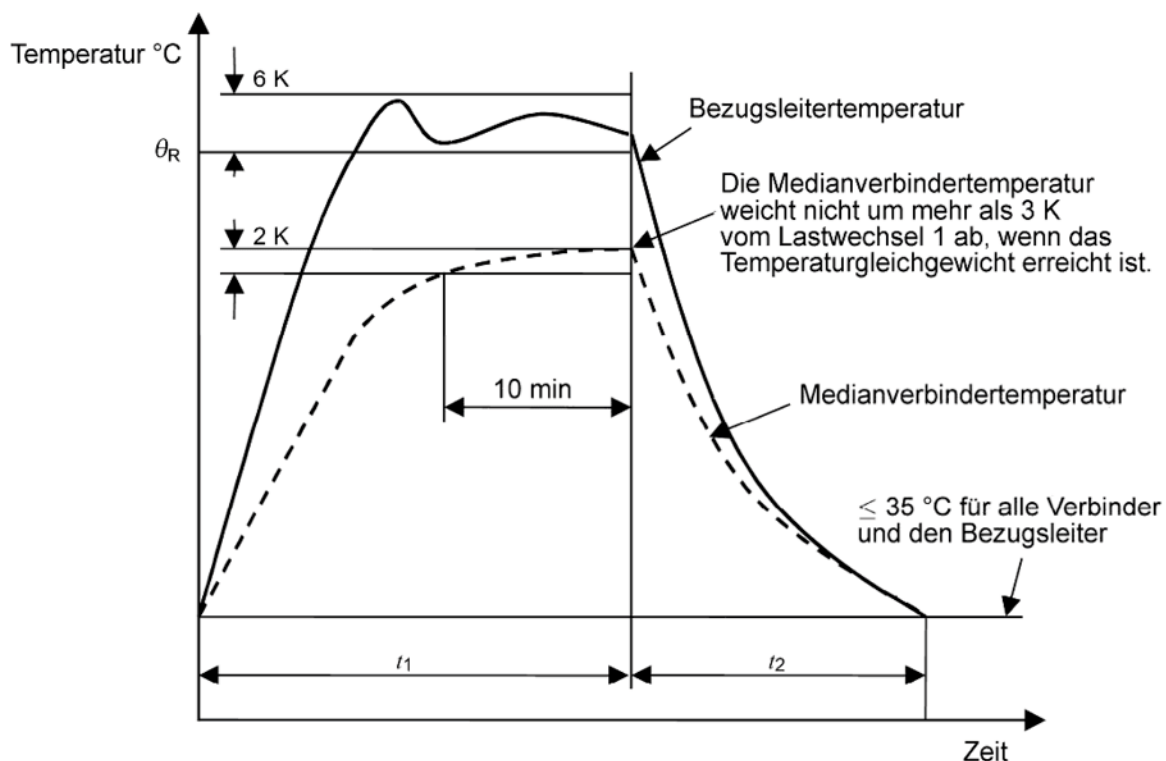


Bild 2 – Beispiel eines Profils des zweiten Erwärmungslastwechsels

6.3.3 Weitere Erwärmungslastwechsel

Eine Gesamtanzahl von 1 000 Erwärmungslastwechseln (festgelegt in 6.3.2) ist durchzuführen. Nach der Abkühlphase der nachstehend angegebenen Lastwechsel sind der Widerstand und die Temperatur eines jeden Verbinders sowie eines jeden Bezugsleiters, wie in 6.2 erläutert, aufzuzeichnen. Ebenfalls aufzuzeich-

nen ist die Höchsttemperatur eines jeden Verbinders während des Lastwechsels unmittelbar vor oder nach der Widerstandsmessung.

Messungen sind nach Tabelle 2 durchzuführen.

**Tabelle 2 – Elektrische Widerstandsmessungen während der elektrischen Prüfung
(bezogen auf die Anzahl vorher durchgeführter Erwärmungslastwechsel)**

Klasse A	Klasse B
0, vor dem ersten Erwärmungslastwechsel, siehe 6.3.1	0, vor dem ersten Erwärmungslastwechsel, siehe 6.3.1
200, vor den Kurzschlussprüfungen	
200, nach den Kurzschlussprüfungen	
250 ^a	250 ^a
dann in Abständen von 75 Lastwechseln ^a (insgesamt 14 Messungen)	dann in Abständen von 75 Lastwechseln ^a (insgesamt 12 Messungen)
^a Eine Grenzabweichung von ± 10 Lastwechseln darf beim Sammeln von Messwerten angewendet werden.	

6.3.4 Kurzschlussprüfungen (nur für Verbinders der Klasse A)

Die Kurzschlussprüfungen müssen mit Wechselstrom durchgeführt werden.

Nach dem 200. Erwärmungslastwechsel werden an jedem Verbinders sechs Kurzschlussprüfungen durchgeführt.

Nach jeder Kurzschlussprüfung muss die Prüfschleife auf eine Temperatur von ≤ 35 °C abgekühlt werden.

Die gemessene Anfangstemperatur des Bezugsleiters, die Stromstärke und die Dauer sowie das Joule-Integral von jeder Kurzschlussprüfung müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Werden Verbinders zur Verbindung von verschiedenen Arten von Leitern verwendet, muss der Leiter mit dem kleinsten elektrischen Querschnitt als Bezugsleiter verwendet werden.

Wie in 6.1 angegeben, darf die Prüfschleife für diese Prüfungen demontiert werden. Da die Kurzschlussprüfungen lediglich den Zweck haben, die Wärmewirkungen von Hochströmen nachzubilden, besteht die empfohlene Referenzmethode darin, einen konzentrischen Rückleiter zu verwenden, um die elektrodynamischen Kräfte zu vermindern. Die Prüfanordnungen sind im Prüfbericht zu beschreiben.

Der Kurzschluss-Prüfstrom ist so zu bemessen, dass er die Temperatur des isolierten Bezugsleiters von ≤ 35 °C auf die höchste zulässige Temperatur der Isolierung ${}_{+20}^0$ K erhöht.

Die Dauer des Kurzschluss-Prüfstromes muss $(1_{-0,1}^{+0,5})$ s betragen bei einer maximalen Stromstärke von 25 kA.

Wenn der erforderliche Kurzschluss-Prüfstrom diesen Wert übersteigt, muss eine längere Dauer von ≤ 5 s mit einer Stromstärke zwischen 25 kA und 45 kA angewendet werden.

Das adiabatische Joule-Integral I_{AD}^2 des Kurzschluss-Prüfstromes wird nach der Gleichung in Anhang D für den kleinsten und größten endgültigen Temperaturwert berechnet.

Das adiabatische Joule-Integral I_{AD}^2 von jeder Kurzschlussprüfung muss sich zwischen den beiden Werten der zuvor berechneten Joule-Integrale I_{AD}^2 befinden.

ANMERKUNG 1 Es sollte beachtet werden, dass Biegung oder Schwingungen während der Montage, beim Transport und bei der Handhabung mechanische Kräfte verursachen können, die den Kontaktwiderstand der Prüflinge nachteilig beeinflussen, und daher vermieden werden sollten.

ANMERKUNG 2 Bei Aluminiumleitern mit Nennquerschnitten von $> 400 \text{ mm}^2$ darf eine Vorerwärmung bis zu 90 °C angewendet werden.

ANMERKUNG 3 Um die Einstellung des Stromes für die Kurzschlussprüfungen zu ermöglichen, kann der erste Kurzschluss-Prüfstrom erhöht werden, um die Endtemperatur $^{0}_{+30} \text{ K}$ zu erreichen.

ANMERKUNG 4 Sofern verfügbar, muss ein Messgerät eingesetzt werden, das den Gleichstromanteil berücksichtigt. Alternativ kann die Bestimmung von I^2t unter Anwendung des in [Anhang E](#) beschriebenen Verfahrens erreicht werden; dabei ist zu beachten, dass dieses Verfahren den Gleichstromanteil nicht berücksichtigt.

6.4 Auswertung der Ergebnisse

Ein individueller Widerstandsfaktor k eines Verbinders ermöglicht es, ein allgemeingültiges Verfahren zur Bewertung der Verbinder für alle von dieser Norm abgedeckten Leiterquerschnitte zu nutzen. Die folgenden Parameter werden berechnet (siehe [Anhang F](#)).

- Der Widerstandsfaktor k des Verbinders muss nach [F.2](#) für jeden der sechs Verbinder bei allen in [6.3.3](#) genannten Messintervallen berechnet werden.
- Die Anfangsstreuung δ zwischen den sechs vor Beginn der Erwärmungslastwechsel gemessenen Anfangswerten von k ist nach [F.3](#) zu berechnen.
- Die Mittelwertstreuung β zwischen den sechs über die letzten 11 Messintervalle gemittelten Werten von k ist nach [F.4](#) zu berechnen.
- Die Änderung des Widerstandsfaktors D für jeden der sechs Verbinder ist nach [F.5](#) zu berechnen. D ist die Änderung des Wertes von k während der letzten 11 Messintervalle, berechnet als Anteil des Mittelwerts von k in diesem Intervall.
- Das Widerstandsfaktorverhältnis λ muss nach [F.6](#) berechnet werden.
- Die Höchsttemperatur $\theta_{\max}$ an jedem Verbinder ist nach [F.7](#) aufzuzeichnen.

6.5 Anforderungen

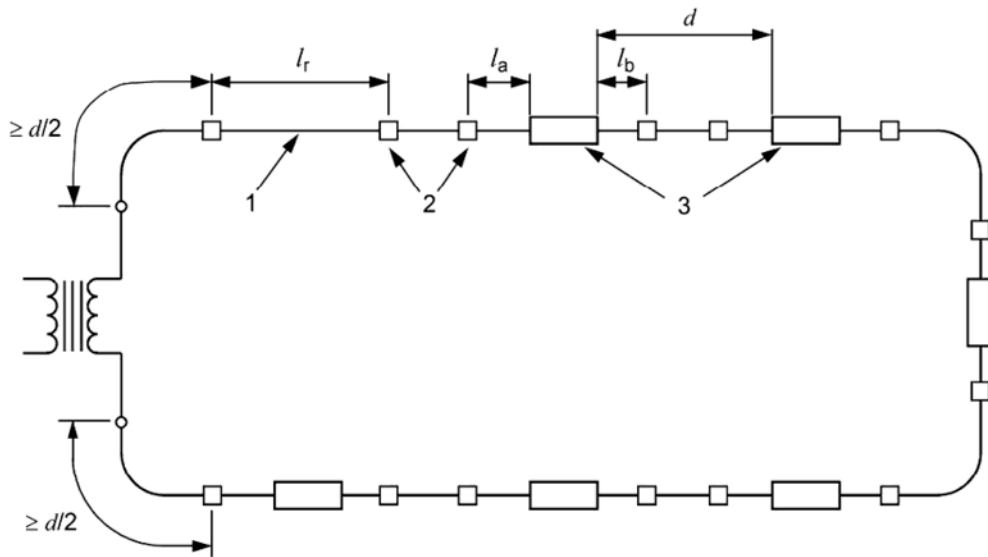
Die sechs Verbinder müssen den in Tabelle 3 genannten Anforderungen entsprechen. Wenn einer der sechs Verbinder einer oder mehreren Anforderungen nicht entspricht, darf eine erneute Prüfung durchgeführt werden. In diesem Fall müssen alle sechs neuen Verbinder den Anforderungen entsprechen.

Wenn mehr als einer der sechs Verbinder einer oder mehreren Anforderungen nicht entspricht, ist eine erneute Prüfung nicht zulässig, und der Verbindertyp gilt als nicht der Norm entsprechend.

Tabelle 3 – Anforderungen der elektrischen Prüfung

Parameter	Bezeichnung	Textverweis	Höchstwert
Anfangsstreuung	δ	F.3	0,30
Mittelwertstreuung	β	F.4	0,30
Änderung des Widerstandsfaktors	D	F.5	0,15
Widerstandsfaktorverhältnis	λ	F.6	2,0
Höchsttemperatur	$\theta_{\max}$	F.7	θ_{ref}
ANMERKUNG Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Erfahrungswerte.			

6.6 Beispiele für elektrische Prüfparameter



Beispiel für die Aufteilung der vorstehend angeführten Prüfschleife in verschiedene Abschnitte, wie in 6.1.1 beschrieben



$d \geq 80 \sqrt{A}$ oder 500 mm, je nachdem, welches der größere Wert ist

A der entsprechende Leiternennquerschnitt, in mm^2

$$l_r \geq l_a + l_b + l_j \text{ (bezüglich } l_j \text{ siehe Bild 5)}$$

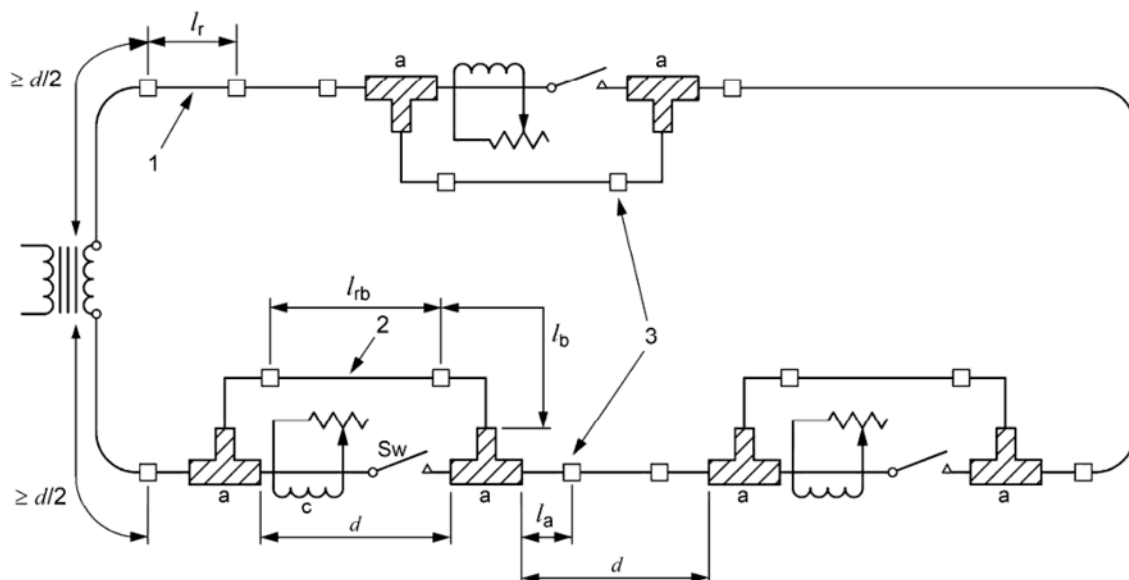
Bei mehrdrähtigen Leitern:

$l_a, l_b \approx 15 \sqrt{A}$ oder 150 mm, je nachdem, welches der größere Wert ist

Legende

- 1 Bezugsleiter
- 2 Ausgleicher (für mehrdrätige Leiter)
- 3 Durchgangsverbinder
- 4 Trennbare Verbindungsstellen

Bild 3 – Typische Prüfstromkreise für an isolierten Leitern installierte Durchgangsverbinder



Dabei ist

$d \geq 80 \sqrt{A}$ oder 500 mm, je nachdem, welches der größere Wert ist

A der Hauptleiterquerschnitt, in mm^2

$$l_r, l_{rb}, \geq d$$

Bei mehrdrähtigen Leitern:

$l_a, l_b \approx 15 \sqrt{A}$ oder 150 mm, je nachdem, welches der größere Wert ist

Legende

- | | |
|----|--|
| 1 | Bezugsleiter des isolierten Hauptleiters |
| 2 | Bezugsleiter des isolierten Abzweigleiters |
| 3 | Ausgleicher (für mehrdrähtige Leiter) |
| a | Abzweigverbinder |
| c | Stromregelung |
| Sw | Schalter (für Abzweigwiderstandsmessung) |
| | Ein Abstand von $d/2$ zwischen Schalter und Verbindern sollte angewendet werden. |

Bild 4 – Typischer Prüfstromkreis für an isolierten Leitern installierte Abzweigverbinder

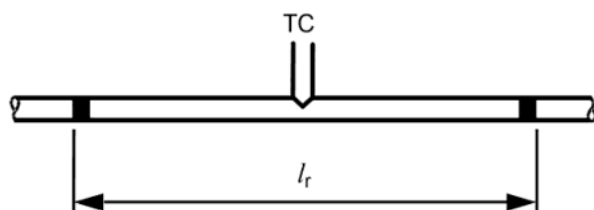


Bild 5a – Isolierter Bezugsleiter

Gleichung:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$

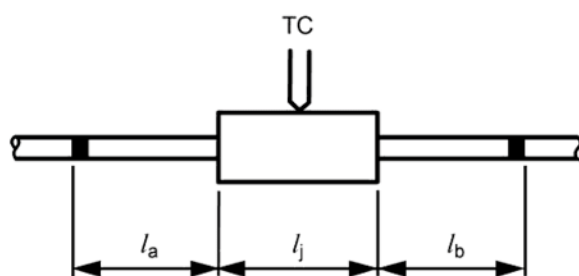


Bild 5b – An einem isolierten Leiter installierte Durchgangsverbinder

Gleichungen:

$$R_j = R - R_r \times \frac{(l_a + l_b)}{l_r}$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Bezugsleiter: Hauptleiter

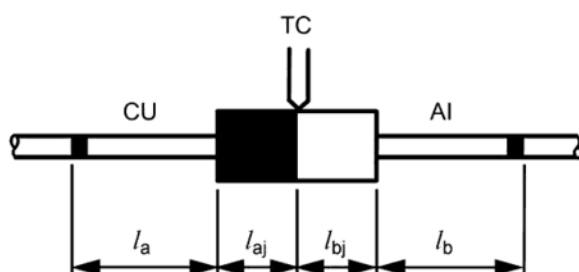


Bild 5c – An einem isolierten Leiter installierte Bimetall-Durchgangsverbinder

Gleichungen:

$$R_j = R - \left[\frac{R_r}{l_r} \times \frac{Cu}{Cu} \times l_a + \frac{R_r}{l_r} \times \frac{Al}{Al} \times l_b \right]$$

$$k = \frac{R_j}{\frac{R_r}{l_r} \times \frac{Cu}{Cu} \times l_{aj} + \frac{R_r}{l_r} \times \frac{Al}{Al} \times l_{bj}}$$

Bezugsleiter: Kupfer- und Aluminiumleiter

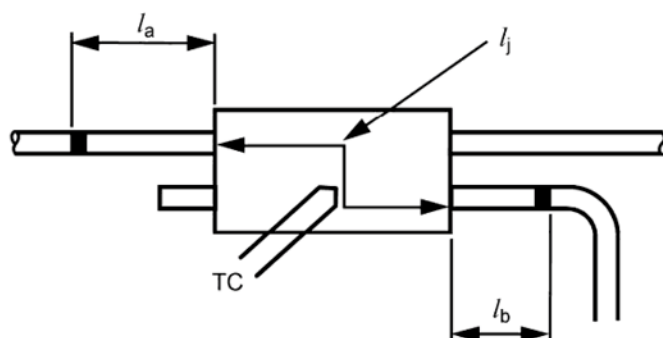


Bild 5d – An einem isolierten Leiter installierter Abzweigverbinder

Gleichungen:

$$R_j = R - \left[\frac{R_r}{l_r} \times \frac{haupt}{haupt} \times l_a + \frac{R_r}{l_r} \times \frac{abzweig}{abzweig} \times l_b \right]$$

$$k = \frac{R_j}{R_r} \times \frac{l_r}{l_j}$$

Bezugsleiter: Haupt- und Abzweigleiter

TC = Temperatur-Messstellen

Bild 5 – Typische Fälle von Widerstandsmessungen

7 Mechanische Prüfungen

7.1 Allgemeines

Zweck dieser Prüfungen ist es, eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Verbindungen zu den Leitern von Starkstromkabeln sicherzustellen.

ANMERKUNG Die mechanischen Prüfungen geben keinen Hinweis darauf, ob der Verbinder in der Lage ist, die Anforderungen der elektrischen Prüfung zu erfüllen.

7.2 Verfahren

Die Prüfung muss an drei zusätzlichen Verbindern unter Anwendung der gleichen Kombination von Leitern und des gleichen Installationsverfahrens wie bei der elektrischen Prüfung vorgenommen werden. Die empfohlene Leiterlänge zwischen den Verbindern oder zwischen Verbinder und Klemmbacken der Zugprüfmaschine beträgt ≥ 500 mm. Die Rate, mit der die Last aufgebracht wird, darf bis zu 25 % des in Tabelle 4 angegebene Wertes 10 N/mm^2 des Nennquerschnitts je Sekunde nicht überschreiten, um den Leiter in Bezug auf den Verbinder zu markieren, anschließend wird die Last erhöht, bis der Wert in Tabelle 4 erreicht ist, der dann für eine Minute gehalten wird.

Die geeignete Grenzabweichung für das Aufbringen der mechanischen Last muss innerhalb von ± 5 % liegen.

Sind die Achsen der Verbinderhülsen nicht deckungsgleich, muss der Verbinder befestigt und die Kraft in Richtung jedes Leiters einmal aufgebracht werden. Je Zugprüfung muss ein Prüfling des Verbinders verwendet werden.

Beispielsweise werden für einen in Bild 5d dargestellten Abzweigverbinder sechs Verbinder benötigt, drei Prüflinge sind für die Prüfung des Hauptleiters und drei Prüflinge für den Abzweigleiter erforderlich.

Falls der Verbinder für Leiter mit unterschiedlichen Nennquerschnitten elektrisch geprüft wird, müssen drei Verbinder mit den gleichen Leiterquerschnitten, wie sie in der elektrischen Prüfung verwendet wurden, einzeln nach Tabelle 4 geprüft werden.

Tabelle 4 – Anzuwendende Zugkraft bei mechanischen Prüfungen

Klasse	Leitermaterial	Nennquerschnitt A (mm^2)	Zugkraft (N)
Klasse 0	Aluminium	–	Keine Prüfung
	Kupfer	–	Keine Prüfung
Klasse 1	Aluminium	≤ 500	$40 \times A$
	Kupfer	≤ 300	$60 \times A$

7.3 Anforderungen

Während der letzten Minute der Prüfung darf kein Rutschen von mehr als 3 mm auftreten.

8 Prüfbericht

8.1 Allgemeines

Folgende Informationen müssen enthalten sein:

- Verbinderklasse (siehe [Abschnitt 1](#));

- verwendeter Leiter (siehe [5.1](#));
- Verbinder und Installationsverfahren (siehe [5.2](#));
- Prüfaufbau (hinsichtlich eines Beispiels siehe [6.1.2](#)); in Fällen, bei denen geschraubte Verbindungen nicht vom Hersteller geliefert und beschrieben werden, z. B. Anschlusslaschen von Kabelschuhen, müssen zusätzliche Angaben über Material, Oberfläche und Schmierung der verwendeten Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben und aufgebrachte Drehmomente gemacht werden;
- Verfahren zur Temperaturmessung (siehe [6.2.2](#));
- Strom im Temperaturgleichgewicht (siehe [6.3.1](#));
- für Klasse A die Kurzschlussparameter (siehe [6.3.4](#));
- Konfiguration der Prüfschleife;
- Ergebnisse der elektrischen Prüfungen (siehe [Tabelle 3](#));
- graphische Darstellung des Widerstandsfaktors k des Verbinders in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel;
- graphische Darstellung der Höchsttemperaturen in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel (siehe [6.3.3](#)).

ANMERKUNG Es wird empfohlen, eine graphische Darstellung des Temperaturprofils des zweiten Lastwechsels abzubilden (siehe [6.3.2](#)).

8.2 Mechanische Prüfungen

Folgende Informationen müssen enthalten sein:

- Verbinderklasse (siehe [Abschnitt 1](#));
- verwendeter Leiter (siehe [5.1](#));
- Verbinder und Installationsverfahren (siehe [5.2](#));
- Ergebnisse der mechanischen Prüfungen.

Anhang A (normativ)

Ausgleicher und deren Vorbereitung

A.1 Anforderungen an Ausgleicher

Bei mehrdrähtigen und flexiblen Leitern kann die zwischen den Drähten vorhandene Potentialdifferenz an den Messstellen zu Fehlern bei der Messung des elektrischen Widerstandes führen.

Deshalb werden Ausgleicher benötigt, die folgenden Anforderungen genügen:

- Erreichen der elektrischen Verbindung aller Drähte zur Sicherstellung von genauen Messungen des elektrischen Widerstandes;
- Erreichen der thermomechanischen Festigkeit während der elektrischen Prüfung einschließlich der Kurzschlussprüfungen, falls anwendbar (z. B. durch Vermeiden übermäßigen Weichglühens oder Verengens von Drähten während der Vorbereitung von Ausgleichern und Bereitstellung des entsprechenden stromführenden Volumens);
- Vermeiden einer Wärmewirkung auf die Temperaturmesswerte des Verbinders oder des Bezugsleiters während der Erwärmung aufgrund des Stromflusses (z. B. durch Anwendung von großen Ausgleichern).

Geschweißte, gelötete oder gecrimpte Ausgleicher dürfen verwendet werden, um dieses Problem zu überwinden und um eine gleichmäßige Stromverteilung während der Widerstandsmessung sicherzustellen. Die Verwendung geschweißter Ausgleicher ist die empfohlene Referenzmethode für mehrdrähtige Leiter zur Sicherstellung zuverlässiger Messungen.

Andere Verfahren dürfen angewendet werden, vorausgesetzt, sie liefern vergleichbare Ergebnisse und beeinflussen nicht die Temperatur des Verbinders oder des Bezugsleiters.

A.2 Empfehlungen für geschweißte Ausgleicher

Bei isolierten Leitern wird die Isolierung am Leiter zur Vorbereitung der Ausgleicher entfernt. Nach der Vorbereitung der Ausgleicher muss die Isolierung mit angemessenen Mitteln (z. B. unter Verwendung von selbstklebendem Klebeband, der ursprünglichen Isolierung, ...) neu aufgebaut werden, um die ursprünglichen thermischen Eigenschaften wiederherzustellen und somit die Temperatur der Verbinders oder des Bezugsleiters nicht nachteilig zu beeinflussen.

Der Schweißwerkstoff sollte dem Leiterwerkstoff ähnlich sein.

Die Leiter werden rechtwinklig geschnitten, die Enden gereinigt und mit dem Schweißbrenner geschmolzen, wobei sichergestellt wird, dass alle Enden miteinander verschweißt werden. Die Schweißnaht wird aufgebaut, bis die Maße der Abfasung erreicht sind. Die Länge der Abfasung wird als a bezeichnet und der Abstand zwischen den Leitern für die endgültige Schweißung als b .

Bei Verwendung von Haltevorrichtungen, die die Leiter auf dem Abstand b halten, wird in der Mitte Schweißmetall aufgetragen und die Leiter werden so gedreht, dass ein gleichmäßig rundes Schweißprofil erzielt wird.

Es ist sicherzustellen, dass der von den Schweißstellen abgewandte Leiter kühl genug bleibt, um die mechanischen Eigenschaften des Leiters in dem Bereich, in dem der Kontakt hergestellt wird, nicht zu verändern.

Die Maße des Ausgleichers müssen den Angaben in [Bild A.1](#) entsprechen.

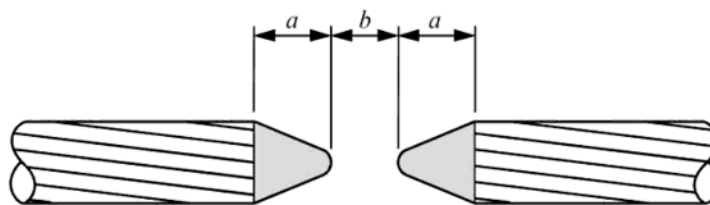


Bild A.1a – Vorbereitete Enden

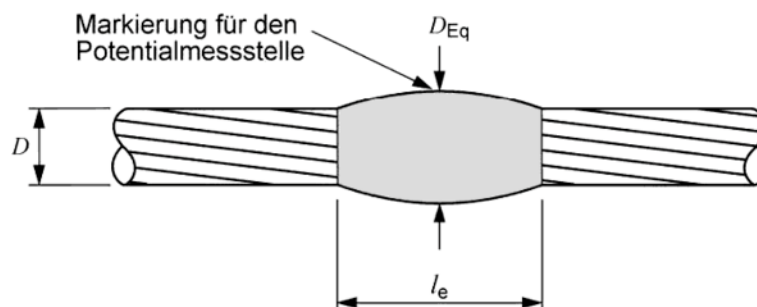


Bild A.1b – Geschweißter/gelöteter Ausgleicher

Dabei ist

Für Rundleiter

$$D \leq D_{Eq} \leq 1,4 D$$

$$l_e \leq 1,5 D + 10$$

Für Sektorleiter

$$H \leq H_{Eq} \leq 1,4 H \text{ und } W \leq W_{Eq} \leq 1,4 W$$

$$l_e \leq 1,5 H + 10$$

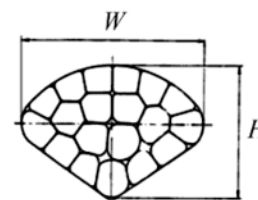


Bild A.1 – Vorbereitung der Ausgleicher

Anhang B (normativ)

Messungen

B.1 Potentialmessstellen für typische Verbinder

Potentialmessstellen für die Widerstandsmessung sind in den Bildern 5a, 5b, 5c und 5d dargestellt. Potentialmessstellen auf eindrähtigen Leitern müssen sich unmittelbar neben der Kabeleinführung in den IPC befinden, jedoch muss ein Mindestabstand von 10 mm eingehalten werden. Bei mehrdrähtigen Leitern sind die Potentialmessstellen die Mittelpunkte der Ausgleicher, die $15\sqrt{A}$ mm oder 150 mm weit entfernt vom Verbinder liegen müssen, je nachdem, welche der beiden Strecken länger ist. Die tatsächlichen Längen von l_a und l_b können in einem realen Prüfaufbau an jedem Verbinder variieren. Deshalb ist es notwendig, diese einzelnen Messwerte für die Berechnung des Widerstandes jedes einzelnen Verbinders zu bestimmen.

B.2 Temperaturmessung

Zwischen dem Thermoelement und dem Messgegenstand muss ein guter thermischer Kontakt hergestellt werden.

Bei dem Bezugsleiter (Bild 5a) muss das Thermoelement in der Mitte angeordnet und dort sicher befestigt werden, entweder in einem kleinen Loch, das in den eindrähtigen Leiter gebohrt wird, oder eingeschoben unter die Drähte der äußeren Lage eines mehrdrähtigen Leiters.

Bei Verbindern (Bilder 5b bis 5d) darf das Thermoelement entweder in ein kleines, in den Hauptkörper des Verbinders gebohrtes Loch eingeführt oder an der Außenfläche befestigt werden. Im letzteren Fall ist das Thermoelement vor der Auswirkung von Zugluft mit einer kleinen Abdeckung zu schützen, die die Wärmeableitung des Verbinders nicht maßgeblich verändert.

B.3 Äquivalenter Leiterwiderstand

Es ist erforderlich, den Widerstand einer bekannten Länge des Bezugsleiters und seine Temperatur zu messen (Bild 5a), sodass der tatsächliche Verbinderwiderstand R_j berechnet werden kann, indem der Widerstand aufgrund der Leiterlängen l_a und l_b subtrahiert wird. Die verschiedenen Längen, die aufgezeichnet werden müssen, sind in [Bild 5](#) dargestellt.

Es sollte beachtet werden, dass bei Abzweigverbindern die Widerstände sowohl vom Bezugsleiter des Hauptkabels als auch vom Bezugsleiter des Abzweigkabels bei der Berechnung des tatsächlichen Verbinderwiderstandes verwendet werden (siehe Bild 5d).

Es ist erforderlich, den Widerstand des Bezugsleiters bei jeder Messung des Verbinderwiderstandes erneut zu messen. Alle gemessenen (und temperaturkorrigierten) Widerstandswerte des Bezugsleiters müssen während der gesamten Prüfung stabil sein, um zu zeigen, dass die Ausgleicher prinzipiell stabil sind. Zur Bestimmung des Parameters k (siehe [Anhang F](#)) ist es unerlässlich, dass sich der Bezugsleiter und alle Verbinder während der Widerstandsmessung in dem in [6.2.1](#) festgelegten Bereich der Umgebungstemperatur befinden.

Anhang C (informativ)

Empfehlungen zur Verringerung von Messunsicherheiten

C.1 Handhabung der Prüfschleife

Biegung oder Schwingungen während des Transportes und der Handhabung können mechanische Kräfte verursachen, die den Kontaktwiderstand der Prüflinge nachteilig beeinflussen, und sollten vermieden werden.

Während der Prüfung sollten dieselben Potentialmessstellen genutzt und eindeutig gekennzeichnet werden, da sich die Berechnung immer auf die anfängliche Situation bezieht. Es wird empfohlen, die Messstellen besonders nach den Kurzschlussprüfungen zu überprüfen.

C.2 Messungen, Messgeräte und Ablesungen

Bei mehrdrähtigen Leitern dürfen die Abstände zwischen Ausgleichern im Prüfaufbau immer dann zur Überprüfung der Widerstandsmessung genutzt werden, wenn dazwischen keine Verbinder eingebaut sind.

Alle aufgezeichneten Werte sollten zeigen, dass die Ausgleicher während der gesamten Prüfung eine annehmbare Stabilität aufweisen.

Vor der Prüfung wird die Gültigkeit der Kalibrierung für jedes Messgerät überprüft oder eine Kalibrierung durchgeführt. Falls möglich, wird die gesamte Messkette kalibriert.

Die Temperaturmesswerte können problemlos bei 100 °C in kochendem Wasser und bei 0 °C in Eiswasser überprüft werden.

Zur Messung der Stromstärke darf ein kalibrierter Shunt in die Prüfschleife eingebracht werden.

Falls möglich, wird dasselbe Messgerät zur Spannungsmessung (ΔU Gleichspannung), Strommessung (ΔU Gleichspannung an einem Shunt) und Temperaturmessung (ΔU Gleichspannung am Thermoelement) eingesetzt.

Ein kalibrierter Widerstand mit einem Wert in derselben Größenordnung wie die Messwerte darf zur Kalibrierung der Spannungsmessung oder zur direkten Widerstandsmessung verwendet werden. Eine Überprüfung sollte vor, während und nach der Prüfung erfolgen.

Es wird empfohlen:

- dieselben Messgeräte während der gesamten Prüfung einzusetzen;
- falls irgend möglich, den Ersatz eines beliebigen Messgerätes zu vermeiden, da die Änderung der systematischen Messunsicherheit möglicherweise die Auswertung der Messergebnisse beeinflusst;
- eine automatische Speicherung der Messwerte zu nutzen, um Kopierfehler zu vermeiden;
- für die Berechnung ein validiertes Rechnerprogramm zu benutzen, um zufällige Fehler zu vermeiden.

Bei der Berechnung des k -Wertes ist es möglich, die gemessenen Widerstandswerte des Bezugsleiters und der Verbinder ohne Temperaturkorrektur zu verwenden, vorausgesetzt, dass der Widerstand des Bezugsleiters sich während der Prüfung nicht ändert und die Temperaturen aller Teile der Prüfschleife gleich und in einem stabilen Zustand sind, während die Widerstandsmessungen durchgeführt werden.

Es sollten alle Anstrengungen unternommen werden, um zweifelhafte Messwerte zu vermeiden.

Anhang D (normativ)

Berechnung des adiabatischen Kurzschlussstromes

Die allgemeine Form der Gleichung für den adiabatischen Temperaturanstieg, die für eine beliebige Anfangstemperatur gilt, ist:

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

Dabei ist

I_{AD} der Kurzschlussstrom (Effektivwert über die Dauer), berechnet auf einer adiabatischen Basis (A);

t die Dauer des Kurzschlusses (s);

K Konstante in Abhängigkeit vom Leitermaterial ($As^{1/2}/mm^2$)
bezüglich normativer Werte für K siehe nachstehend angeführte Tabelle D.1;

S der tatsächliche Leiterquerschnitt (mm^2);
siehe ANMERKUNG 1

θ_f die Endtemperatur ($^{\circ}C$);

θ_i die Anfangstemperatur ($^{\circ}C$);

β der reziproke Wert des Temperaturkoeffizienten des Leiterwiderstandes bei $0^{\circ}C$ (K)
bezüglich genormter Werte für β siehe nachstehend angeführte Tabelle D.1;

$\ln$ $\log_e$.

Tabelle D.1 – Materialeigenschaften

Material	K ($As^{1/2}/mm^2$)	β (K)
Kupfer	226	234,5
Aluminium	148	228

ANMERKUNG 1 Obwohl die Messung der Endtemperatur eines Leiters während der Kurzschlussprüfungen nicht erforderlich ist, haben Erfahrungen gezeigt, dass die tatsächliche Endtemperatur bei einigen Leitergrößen signifikant höher ist, wenn diese Berechnung unter Anwendung des Nennquerschnittes erfolgt. Deshalb wird empfohlen, den tatsächlichen Querschnitt (S) zu bestimmen, um ein Überhitzen zu verhindern. In diesem Fall ist die empfohlene Referenzmethode die Gewichtsbestimmung einer festgelegten Leiterlänge und die Berechnung des tatsächlichen Querschnitts (S) unter Anwendung der Materialdichte. Die festgelegte Länge des Leiters sollte nicht geringer sein als die Bezugslänge (l_r), die in der elektrischen Alterungsprüfung verwendet wird, oder 1 000 mm betragen, je nachdem, welcher Wert der größere ist.

ANMERKUNG 2 Dieser Anhang beruht auf IEC 60949, Abschnitt 3 und [Tabelle 1](#), denen das vollständige Berechnungsverfahren entnommen werden kann. Dieses Verfahren sollte bei Legierungen angewendet werden.

Anhang E (informativ)

Bestimmung des Wertes des Kurzschlussstromes

Falls der Effektivwert des Kurzzeitstroms nicht symmetrisch oder nicht konstant ist, kann der äquivalente Effektivwert wie folgt aus dem Oszillogramm unter Anwendung des nachstehend beschriebenen Verfahrens ermittelt werden.

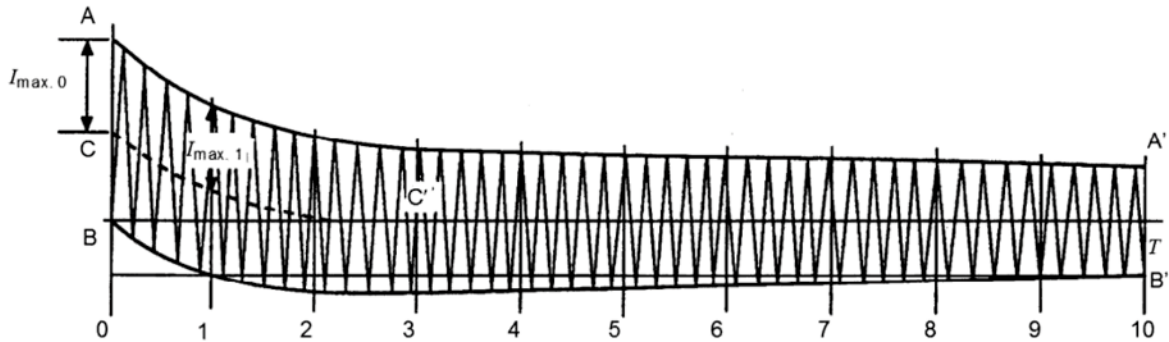


Bild E.1 – Bestimmung des äquivalenten Effektivwertes des Stromes während der Kurzschlussprüfung

- AA' und BB' Hüllkurven des Stromverlaufs;
 CC' Verschiebung der Nulllinie der Stromwelle gegenüber der normalen Nulllinie zu einem beliebigen Zeitpunkt;
 $I_0 \dots I_i$ Effektivwert des Wechselstromanteils zu einem beliebigen Zeitpunkt, von dem Nullpunkt aus berechnet: der Gleichanteil (CC') wird vernachlässigt;
 $I_{\max 0}$ Spitzenwert des Wechselstromanteils zum Zeitpunkt der Auslösung des Kurzschlusses;
 BT Dauer des Kurzschlusses.

Die Gesamtdauer BT der Prüfung wird durch die senkrechten Linien 0 – 1 ... 10 in 10 gleiche Teile geteilt und der Spitzenwert des Wechselstromanteils wird an diesen Senkrechten gemessen.

Diese Werte sind bezeichnet mit: $I_{\max 0}, I_{\max 1}, I_{\max 2}, \dots, I_{\max 10}$.

Die Effektivwerte sind dann: $I_i = I_{\max i} / \sqrt{2}$.

Der äquivalente Effektivwert des Stromes während der Dauer BT ist gegeben durch:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{30} \left[I_0^2 + 4 \left(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 \right) + 2 \left(I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2 \right) + I_{10}^2 \right]}$$

ANMERKUNG 1 Dieser Anhang entspricht **Anhang G** in IEC 62475.

Anhang F (normativ)

Berechnungsverfahren

F.1 Allgemeines

Diese statistische Auswertung folgt IEC 60493-1.

F.2 Durchgeführte Messungen

Während der in 6.3.3 genannten Lastwechsel sind folgende Messungen bei Umgebungstemperatur der Prüfschleife vorzunehmen (siehe 6.2 und Anhang B):

U ist die Potentialdifferenz zwischen den Messpunkten jedes Verbinders;

I ist der Gleichstrom zum Zeitpunkt der Messung von U ;

θ ist die Temperatur eines jeden Verbinders zum Zeitpunkt der Messung von U ;

U_r ist die Potentialdifferenz zwischen den Messpunkten am Bezugsleiter;

I_r ist der Gleichstrom zum Zeitpunkt der Messung von U_r ;

θ_r ist die Temperatur des Bezugsleiters zum Zeitpunkt der Messung von U_r .

Das vorstehend angeführte Verfahren ist die empfohlene Referenzmethode. Direkte Messungen des Widerstandes dürfen für jeden der vorstehend genannten Werte U/I wahlweise angewendet werden.

Zusätzlich sind während des Lastwechsels vor oder nach den Widerstandsmessungen an jedem Verbinder und am Bezugsleiter Temperaturmesswerte aufgezeichnet worden.

Die in Bild 5 festgelegten Abstände l_a , l_b , l_j , l_r werden gemessen und gelten für die gesamte Prüfung. Die Abstände sind mit einer Grenzabweichung von ± 2 mm für Längen ≥ 40 mm, oder ± 5 % für Längen < 40 mm zu messen.

F.3 Widerstandsfaktor k eines Verbinders

Der Widerstand, bezogen auf 20 °C, der sich zwischen den Messpunkten eines Verbinders ergibt, ist:

$$R = \frac{U}{I} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta - 20)}$$

wobei der Temperaturkoeffizient α des Widerstandes im Sinne dieser Norm für Kupfer und Aluminium als gleich angesehen wird:

$$\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

Der Widerstand des Bezugsleiters, bezogen auf 20 °C, ist:

$$R_r = \frac{U_r}{I_r} \times \frac{1}{1 + \alpha(\theta_r - 20)}$$