

DIN EN 61238-1-1
(VDE 0220-238-1-1)
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 1-1: Prüfverfahren für und Anforderungen an Pressverbinder und Schraubverbinder
für Starkstromkabel für Nennspannungen bis zu 1 kV ($U_m = 1,2$ kV), geprüft an nicht
isolierten Leitern
(IEC 20/1650/CD:2016)**

Compression and mechanical connectors for power cables –
Part 1-1: Test methods and requirements for compression and mechanical connectors for power cables
for rated voltages up to 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) tested on non-insulated conductors
(IEC 20/1650/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 61238-1-2 (VDE 0220-238-1-2):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 76 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich und Zweck	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole.....	8
5 Allgemeines	9
5.1 Leiter.....	9
5.2 Verbinder und Installationsverfahren.....	9
5.3 Geltungsbereich	9
6 Elektrische Prüfungen	10
6.1 Prüfaufbau	10
6.2 Messungen	11
6.3 Erwärmungslastwechselprüfung	12
6.4 Auswertung der Ergebnisse	16
6.5 Anforderungen.....	16
6.6 Beispiele für elektrische Prüfparameter	17
7 Mechanische Prüfungen.....	21
7.1 Verfahren.....	21
7.2 Anforderungen.....	22
8 Prüfbericht	22
8.1 Elektrische Prüfungen	23
8.2 Mechanische Prüfungen.....	23
Anhang A (normativ) Ausgleicher und deren Vorbereitung.....	24
A.1 Anforderungen an Ausgleicher	24
A.2 Empfehlungen für geschweißte Ausgleicher	24
Anhang B (normativ) Messungen	26
B.1 Potentialmesspunkte für typische Verbinder.....	26
B.2 Temperaturmessung	26
B.3 Äquivalenter Leiterwiderstand	26
Anhang C (informativ) Empfehlungen zur Verbesserung von Messunsicherheiten.....	27
C.1 Handhabung der Prüfschleife.....	27
C.2 Messungen, Messgeräte und Ablesungen	27
Anhang D (normativ) Berechnung des adiabatischen Kurzschlussstromes	28
Anhang E (informativ) Bestimmung des Wertes des Kurzschlussstromes	29

Anhang F (normativ) Berechnungsverfahren	30
F.1 Durchgeführte Messungen	30
F.2 Widerstandsfaktor k eines Verbinders	30
F.3 Die Anfangsstreuung δ	31
F.4 Die mittlere Streuung β	31
F.5 Änderung des Widerstandsfaktors jedes Verbinders	32
F.5.1 Regressionsgerade	33
F.5.2 Vertrauensbereich $\hat{\alpha}_i$	33
F.5.3 Änderung des Widerstandsfaktors D	34
F.6 Widerstandsfaktorverhältnis λ	34
F.7 Höchste Temperaturen $\theta_{\max}$	34
Anhang G (informativ) Erläuterung der Auswertung der Ergebnisse von elektrischen Prüfungen an Verbindern	35
G.1 Vorgeschichte	35
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	35
G.3 Das Verfahren nach IEC 61238-1 zur Auswertung von Prüfergebnissen	36
Literaturhinweise	38
Bilder	
Bild 1 – Beispiel eines Profils des zweiten Erwärmungslastwechsels	14
Bild 2 – Typischer Prüfstromkreis für Verbindungshülsen und Kabelschuhe	18
Bild 3 – Typischer Prüfstromkreis für Abzweigverbinder	19
Bild 4 – Typische Fälle von Widerstandsmessungen	21
Bild A.1 – Vorbereitung der Ausgleicher	25
Bild E.1 – Bestimmung des äquivalenten Effektivwertes des Stromes während der Kurzschlussprüfung	29
Bild F.1 – Beispiel einer graphischen Darstellung für die Bewertung eines einzelnen Verbinders der Klasse A	32
Tabellen	
Tabelle 1 – Dauer des Beharrungszustands	13
Tabelle 2 – Messung des elektrischen Widerstands während der elektrischen Prüfung	15
Tabelle 3 – Anforderungen der elektrischen Prüfung	17
Tabelle 4 – Zugkraft bei mechanischen Prüfungen	22
Tabelle D.1 – Materialeigenschaften	28
Tabelle G.1 – Zusammenfassung des beurteilten Verhaltens eines geprüften Verbinders	37

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 20/1650/CD:2016 „Compression and mechanical connectors for power cables – Part 1-1: Test methods and requirements for compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages up to 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) tested on non-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:

- Norm wird neu strukturiert und auf 3 Teile aufgeteilt;
- Norm ist komplett überarbeitet;
- für die Kurzschlussprüfung wurden die Anforderungen und die Berechnungsmethode aktualisiert;
- Einführung von 2 neuen mechanischen Klassen;
- bei den elektrischen Prüfungen wurde ein maximaler Strom für die Erwärmung festgelegt, um unrealistische Stromdichten zu vermeiden.

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

Einleitung

Dieser Teil 1-1 von IEC 61238-1 behandelt Typprüfungen für Press- und Schraubverbinder 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. 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 Press- und Schraubverbinder 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 $1\,200 \text{ mm}^2$ für Kupfer und zwischen 16 mm^2 und $1\,200 \text{ mm}^2$ 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 festzulegen, 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 abgeschaltet 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, aber auf eine Zugkraft von 20 kN begrenzt sind. Dazu gehören z. B. Verbinder für Erdkabelmuffen.

Klasse 2

Verbinder, die einer mechanischen Zugkraft von mehr als 20 kN ausgesetzt sind und die sich auf den Nennquerschnitt und das Material des Leiters (nach [Tabelle 4](#)) bezieht. Diese Klasse gilt nur für Nennquerschnitte des Leiters von $\geq 400 \text{ mm}^2$ für Kupfer und $\geq 630 \text{ mm}^2$ für Aluminium. Dazu gehören z. B. Verbinder in Kabelanwendungen mit höheren Zugkräften.

Somit entsprechen die fünf Klassen den folgenden Prüfungen:

Klasse A	Erwärmungslastwechsel- und Kurzschlussprüfungen;
Klasse B	nur Erwärmungslastwechselprüfungen;
Klasse 0	keine mechanische Prüfung;
Klasse 1	mechanische Prüfungen mit begrenzter maximaler Zugkraft;
Klasse 2	mechanische Prüfungen ohne maximale Zugkraft.

Zweck dieser Norm ist es, die Verfahren und Anforderungen von Typprüfungen festzulegen, die für Pressverbinder und Schraubverbinder für Starkstromkabel mit Kupfer- oder Aluminiumleitern gelten. Die empfohlene Referenzmethode besteht in der Durchführung der Prüfungen an neuen 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 61238-1-1, modifiziert]

3.2

Durchgangsverbinder

Vorrichtung zum Verbinden zweier aufeinanderfolgender Leiterlängen

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.3

Abzweigverbinder

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

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.4

Leiteranschluss

Vorrichtung am Ende eines Kabelleiters, die die elektrische Verbindung mit anderen Teilen des Systems sicherstellt

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.5

Kabelschuh

Vorrichtung zum Anschluss eines Kabelleiters an ein anderes elektrisches Betriebsmittel

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.6

Anschlusslasche (eines Kabelschuhs)

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

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.7

Hülse (eines Kabelschuhs, Verbinders usw.)

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

[QUELLE: IEC 61238-1-1, modifiziert]

3.8

Bezugsleiter

Länge eines blanken oder abisolierten Leiters ohne Verbinder, der in die Prüfschleife eingefügt wird und der es ermöglicht, die Referenztemperatur und den Referenzwiderstand des Leiters zu bestimmen

3.9

Ausgleicher

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

3.10

Pressverbindungsverfahren

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

3.11

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

3.12

Medianverbinder

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

3.13

Leiter (eines Kabels)

Teil eines Kabels, das zur Stromübertragung dient

[QUELLE: IEV 461-01-01]

3.14

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 im Temperaturgleichgewicht 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.

5.2 Verbinder und Installationsverfahren

Im Prüfbericht müssen folgende Angaben aufgeführt sein:

- anzuwendendes Montageverfahren oder anzuwendende Installationsanweisung;
- Werkzeug, Werkzeugeinsätze und ggf. 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.

5.3 Geltungsbereich

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

- ein Verbinder, der für mehrdrähtige Rundleiter oder für mehrdrähtige Sektorleiter, die rundgeformt wurden, geeignet ist, wird für beide Typen zugelassen, wenn an einem verdichteten Rundleiter zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden;
- ein Verbinder, der für mehrere Querschnitte geeignet ist, muss zugelassen werden, wenn beim kleinsten und größten Querschnitt zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden;
- handelt es sich bei einem Verbinder um einen Durchgangsverbinder für zwei Leiter mit verschiedenen Nennquerschnitten, Formen oder aus unterschiedlichen Materialien und sind die angewendete Technik und die verwendeten Hülsen von Verbindern bereits für jeden Querschnitt getrennt geprüft worden, ist keine zusätzliche Prüfung mehr erforderlich. Ist dies nicht der Fall und wird der Verbinder für Bimetall-Durchgangsverbinder benötigt, müssen zusätzliche Prüfungen unter Verwendung des Leiters als Bezugsleiter vorgenommen werden, der die höchste Temperatur von den beiden Leitern aufweist;
- wenn eine Typprüfung für einen Querschnittsübergreifenden Schraubverbinder bei dem größtmöglichen Leiterquerschnitt bestanden wird, gilt dieses Ergebnis auch für ähnliche Verbinderkonstruktionen mit einem Verbinderkörper aus dem gleichen Material, jedoch mit größerem Außendurchmesser, unter der Voraussetzung, dass die Konstruktion des Klemmkansals des Leiters (Innendurchmesser, Form, ...), die Anzahl und Konstruktion der Klemmschrauben (Drehmoment, Werkstoff, Größe, Abschereigenschaften, ...) identisch sind;
- 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.

- zufriedenstellende Prüfergebnisse eines Verbinders auf trockenem Leiter müssen zur Zulassung für dessen Verwendung auf Leitern des gleichen Typs aus einem Kabel mit getränkter Papierisolierung führen;
- 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 Klassen 1 und 2 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 eindräftige Leiter aus Aluminium mit dem (den) gleichen Nennquerschnitt(en) übertragen werden; wenn die Übereinstimmung mit dieser Norm durch erfolgreiche Prüfung eines Durchgangsverbinder erreicht wird, kann diese Bauartzulassung bei Anwendung der gleichen Konstruktionskriterien auf eine Hülse eines Leiteranschlusses 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 die Leistungsfähigkeit beeinflussen.

6 Elektrische Prüfungen

6.1 Prüfaufbau

6.1.1 Allgemeines

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

Für jede Prüfreihe müssen sechs Verbinder nach den Anweisungen des Herstellers auf einem blanken oder einem vor der Montage abisolierten Leiter so montiert werden, dass sie zusammen mit dem entsprechenden Bezugsleiter eine Prüfschleife bilden.

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.

ANMERKUNG Bei Leiterquerschnitten von mehr als 1 000 mm² ist es zulässig, die Umgebungstemperatur des Prüfortes auf einen Bereich zwischen 15 °C und 40 °C zu erhöhen. Am Ende der Abkühlphase muss die Umgebungstemperatur zwischen 15 °C und 30 °C betragen.

Bei eindräftigen Leitern müssen die Potentialmessstellen möglichst nahe am Verbinder sein, um I_a und I_b nahezu auf null zu verkleinern.

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.

6.1.2 Durchgangsverbinder und Leiteranschlüsse

Die Prüfschleife ist in Bild 2 mit Angaben der zu verwendenden Maße gezeigt.

Wenn Kabelschuhe zu prüfen sind, müssen die Anschlusslaschen entsprechend den Anweisungen des Herstellers auf Verbindungsschienen geschraubt werden. Diese Verbindungsschienen müssen an der Verbindungsstelle die gleichen Maße sowie die gleiche Dicke aufweisen wie die Anschlusslasche und auch aus dem gleichen Material bestehen.

Es kann erforderlich sein, die thermischen Eigenschaften der Verbindungsschiene außerhalb der Verbindungsstelle anzupassen, damit die in 6.3 festgelegten Temperaturen erreicht werden. Als Alternative zu Verbindungsschienen können die Prüfungen an Kabelschuhen durchgeführt werden, deren Anschlusslaschen direkt miteinander verbunden sind. Bei Unstimmigkeiten ist das Verfahren mit den Verbindungsschienen anzuwenden.

Wenn jedoch verlangt wird, dass die Kabelschuh-Prüfung eine Auswertung der Leistungsfähigkeit der verschraubten Anschlusslasche einschließt, wenn sie an eine Anlage angeschlossen ist, dann sind die Enden von Verbindungsschienen oder ein Zwischenstück zu verwenden, deren Material, Größe und Oberflächenbeschichtung zwischen den Vertragsparteien vereinbart wurden.

6.1.3 Abzweigverbinder

Wenn ein Abzweigverbinder für einen Abzweigleiter vorgesehen ist, der den gleichen Nennquerschnitt hat wie der 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 3 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.

6.2 Messungen

Messungen sind in bestimmten Abständen während der gesamten Prüfung nach den Angaben in Tabelle 2 vorzunehmen.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Verringerung 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 3 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 4 und Anhang B festzulegen, und die verschiedenen aufgeführten Längen sind ebenfalls zu messen, damit die tatsächlichen Verbindewiderstände 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 $20\ ^\circ\text{C}$ 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 $\pm 10\ \mu\text{V}$ 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, wobei der größere Wert verwendet wird, wenn das Messgerät gegen ein zertifiziertes Widerstandsnormalkalibriert ist.

6.2.2 Temperaturmessungen

Die Temperaturen der Verbinder und Bezugsleiter sind an den in Bild 4 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.

6.3 Erwärmungslastwechselprüfung

Die Erwärmungslastwechselprüfung ist mit Wechselstrom durchzuführen.

6.3.1 Erster Erwärmungslastwechsel

Zweck des ersten Erwärmungslastwechsels ist es, die für die nachfolgenden Lastwechsel zu verwendende Bezugsleitertemperatur festzulegen und außerdem den Medianverbinder zu bestimmen.

a) Durchgangsverbinder und Leiteranschlüsse

Der Strom fließt durch die Prüfschleife und bringt den Bezugsleiter in das Temperaturgleichgewicht von $120\ ^\circ\text{C}$.

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 $\pm 2\ \text{K}$ schwankt.

Wenn die Temperatur des Medianverbinders (siehe 3.11) gleich oder größer als $100\ ^\circ\text{C}$ ist, gilt für die nachfolgenden Erwärmungslastwechsel eine Bezugsleitertemperatur von $120\ ^\circ\text{C}$. Ist dies nicht der Fall, muss die Stromstärke erhöht werden, bis der Medianverbinder sein Temperaturgleichgewicht von $100\ ^\circ\text{C}$ erreicht, vorausgesetzt, die Bezugsleitertemperatur überschreitet nicht $140\ ^\circ\text{C}$. Wenn die Temperatur des Medianverbinders $100\ ^\circ\text{C}$ nicht erreicht, selbst wenn die Bezugsleitertemperatur $140\ ^\circ\text{C}$ beträgt, ist die Prüfung bei dieser Temperatur fortzusetzen. Die gemessene Bezugsleitertemperatur θ_R ist dann für die nachfolgenden Erwärmungslastwechsel zu verwenden.

mungslastwechsel zu verwenden ($120\text{ °C} \leq \theta_R \leq 140\text{ °C}$). Der Strom I_N im Temperaturgleichgewicht ist im Prüfbericht anzugeben.

ANMERKUNG Werden für Kabelschuhe Verbindungsschienen verwendet, sollte auch die Temperatur in der Mitte der die Laschen verbindenden Schiene gemessen werden. Diese Temperatur sollte mit einer Grenzabweichung von $\pm 5\text{ K}$ gleich der des Bezugsleiters θ_R sein.

b) Abzweigverbinder

Wenn der in [Bild 3](#) gezeigte Stromkreis verwendet werden soll, muss Strom durch die Prüfschleife geleitet werden, bis der Bezugsleiter des Hauptleiters und die drei Bezugsleiter von den Abzweigleitern ein Temperaturgleichgewicht von 120 °C erreichen. Hierzu müssen die Ströme in den drei Abzweigleitern entweder durch Stromeinprägung oder Impedanz-Regelung angeglichen werden. Wenn die Temperatur des Medianverbinders (siehe 3.11) dann gleich oder größer als 100 °C ist, gilt für die nachfolgenden Erwärmungslastwechsel eine Bezugsleitertemperatur von 120 °C . Ist dies nicht der Fall, muss die Stromstärke in der Prüfschleife erhöht werden, bis der Medianverbinder ein Temperaturgleichgewicht bei 100 °C erreicht, vorausgesetzt, die Temperatur der Bezugsleiter überschreitet nicht 140 °C . Zu diesem Zeitpunkt und auch in bestimmten Abständen während der gesamten Prüfung kann es erforderlich sein, die Stromstärke in einem einzelnen Abzweigleiter anzugleichen, um sicherzustellen, dass die Bezugstemperatur eines jeden Abzweigleiters der Bezugstemperatur des Hauptleiters mit einer Grenzabweichung von $\pm 2\text{ K}$ entspricht. Die gemessene Bezugsleitertemperatur θ_R an den Haupt- und Abzweigleitern ist dann für die nachfolgenden Erwärmungslastwechsel zu verwenden ($120\text{ °C} \leq \theta_R \leq 140\text{ °C}$). Der Strom (Die Ströme) I_N bei der Gleichgewichtstemperatur im Haupt- und Abzweigleiter ist (sind) im Prüfbericht anzugeben.

Tabelle 1 – Minstdauer des Gleichgewichtszustands

Nennquerschnitt des Leiters, A	mm ²	Al Cu	$A \leq 300$ $A \leq 240$	$300 < A \leq 630$ $240 < A \leq 400$	$630 < A \leq 1\,000$ $400 < A \leq 800$	$A > 1\,000$ $A > 800$
Minstdauer des Gleichgewichtszustands	min		15	20	30	60

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 Hauptkabels den in [6.3.1](#) bestimmten Wert θ_R mit einer Grenzabweichung von $^{+6}_0\text{ K}$ 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 3](#) dargestellten Stromkreises notwendig ist, wird der Strom durch die Prüfschleife geleitet, bis die Temperatur des Bezugsleiters des Abzweigleiters den in [6.3.1](#) bestimmten Wert θ_R mit einer Grenzabweichung von $^{+6}_0\text{ K}$ erreicht und die Temperatur des Bezugsleiters des Hauptleiters den in [6.3.1](#) bestimmten Wert θ_R mit einer Grenzabweichung von $^{+6}_{-4}\text{ K}$ 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 empfohlene Referenzmethode 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 1).

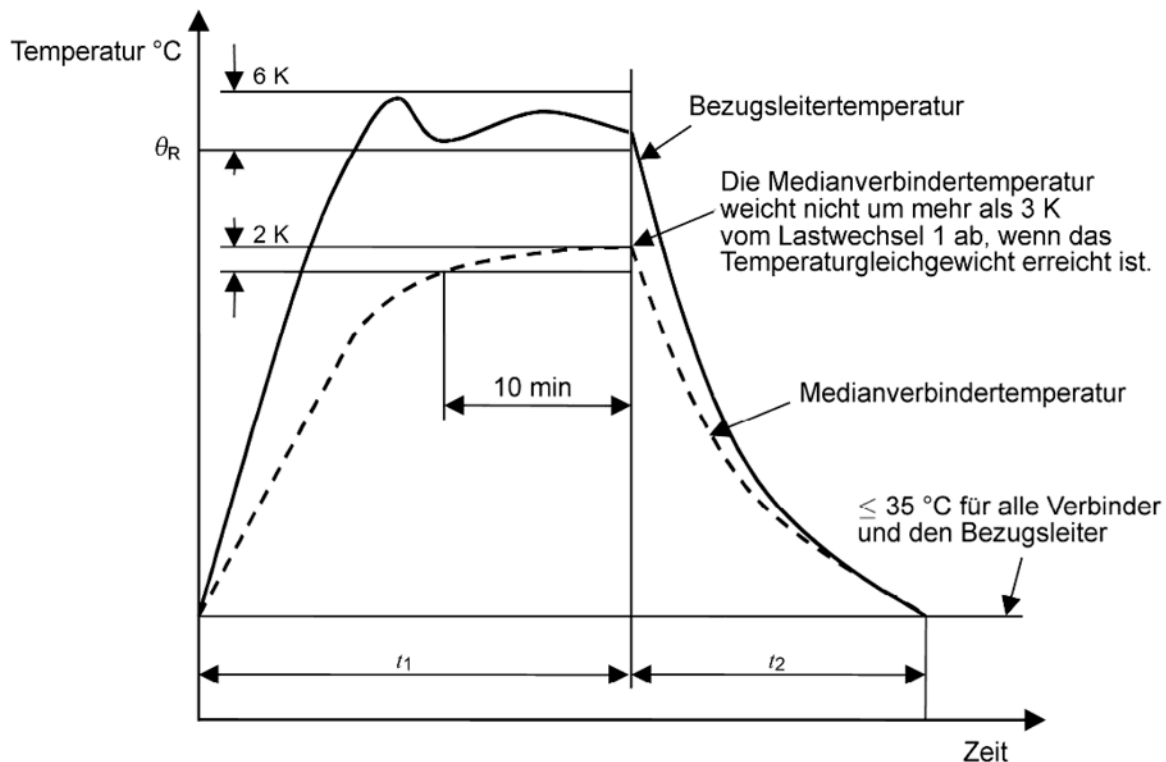


Bild 1 – Beispiel eines Profils des zweiten Erwärmungslastwechsels

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 aufzuzeichnen 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 ausgeführter 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 Verbinder der Klasse A)

Die Kurzschlussprüfungen müssen mit Wechselstrom durchgeführt werden.

Nach dem 200. Erwärmungslastwechsel werden an jedem Verbinder 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 Verbinder 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.

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 $> 400 \text{ mm}^2$ und bei Kupferleitern von $> 300 \text{ mm}^2$ darf eine Vorerwärmung bis zu 90 °C angewendet werden. Allerdings sind die Parameter (45 kA und 5 s) für Nennquerschnitte, die 630 mm² bei Kupfer oder 1 000 mm² bei Aluminium überschreiten, ungenügend, um 250 °C zu erreichen.

ANMERKUNG 3 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.

ANMERKUNG 4 Die tatsächlich erreichte Bezugsleitertemperatur kann gemessen und zur Information im Prüfbericht angegeben werden.

Im Allgemeinen müssen die Kurzschlussprüfungen wie folgt durchgeführt werden:

Bei Nennquerschnitten der Leiter von $< 1\,000 \text{ mm}^2$ bei Aluminium und $< 630 \text{ mm}^2$ bei Kupfer

Der Kurzschluss-Prüfstrom ist so zu bemessen, dass er die Temperatur der Bezugsleiter von ≤ 35 °C auf eine Temperatur von $250 \text{ °C} +_{20}^0 \text{ K}$ 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 5 Um die Einstellung des Stromes für die Kurzschlussprüfungen zu ermöglichen, kann der erste Kurzschluss-Prüfstrom erhöht werden, um die Endtemperatur $_{+30}^0$ K zu erreichen.

Bei Nennquerschnitten der Leiter von $\geq 1\,000\text{ mm}^2$ bei Aluminium und $\geq 630\text{ mm}^2$ bei Kupfer

Ein Kurzschluss-Prüfstrom von 45 kA muss für 5 s geführt werden.

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

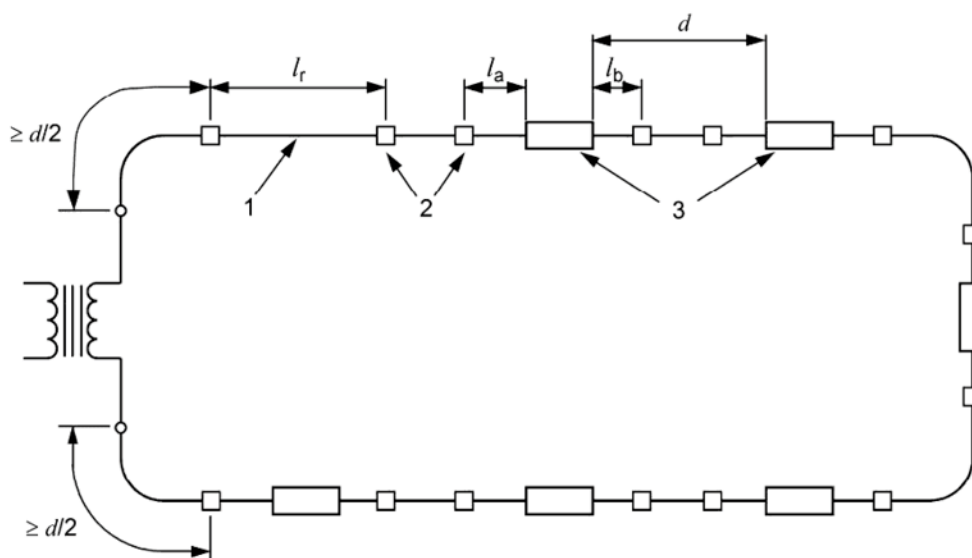
Die sechs Verbinder müssen den in [Tabelle 3](#) genannten Anforderungen entsprechen. Wenn einer der sechs Verbinder einer oder mehreren Anforderungen nicht entspricht, darf eine erneute Prüfung durchgeführt werden. In diesem Fall müssen alle sechs neuen Verbinder den Anforderungen entsprechen.

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	E.3	0,30
Mittelwertstreuung	β	E.4	0,30
Änderung des Widerstandsfaktors	D	E.5	0,15
Widerstandsfaktorverhältnis	λ	E.6	2,0
Höchsttemperatur	$\theta_{\max}$	E.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

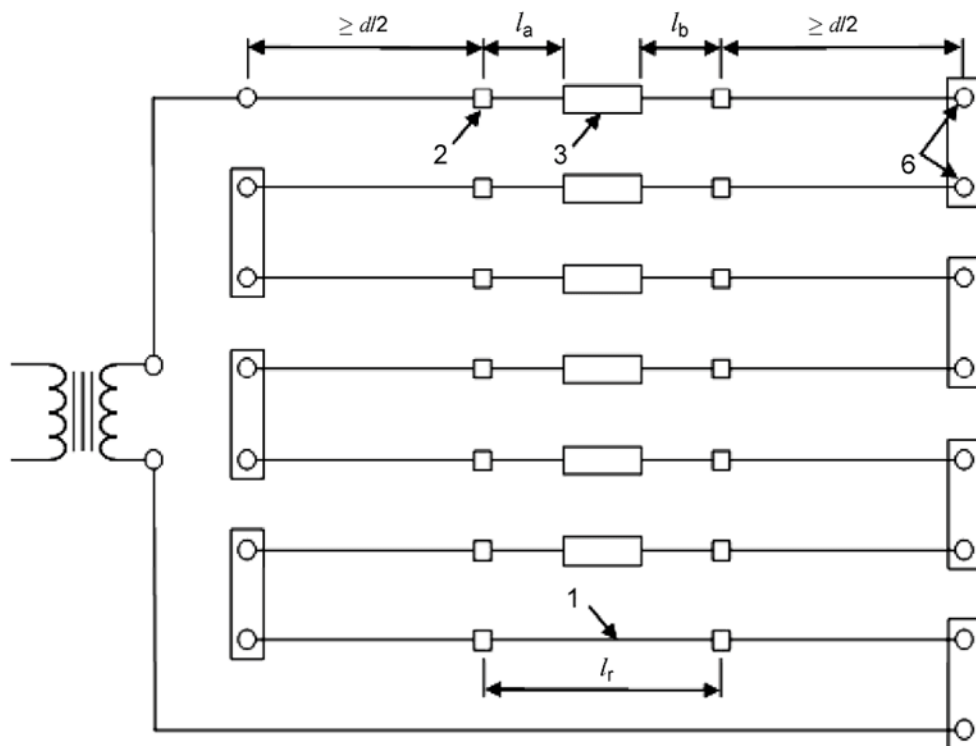


Bild 2a – Durchgangsverbinder

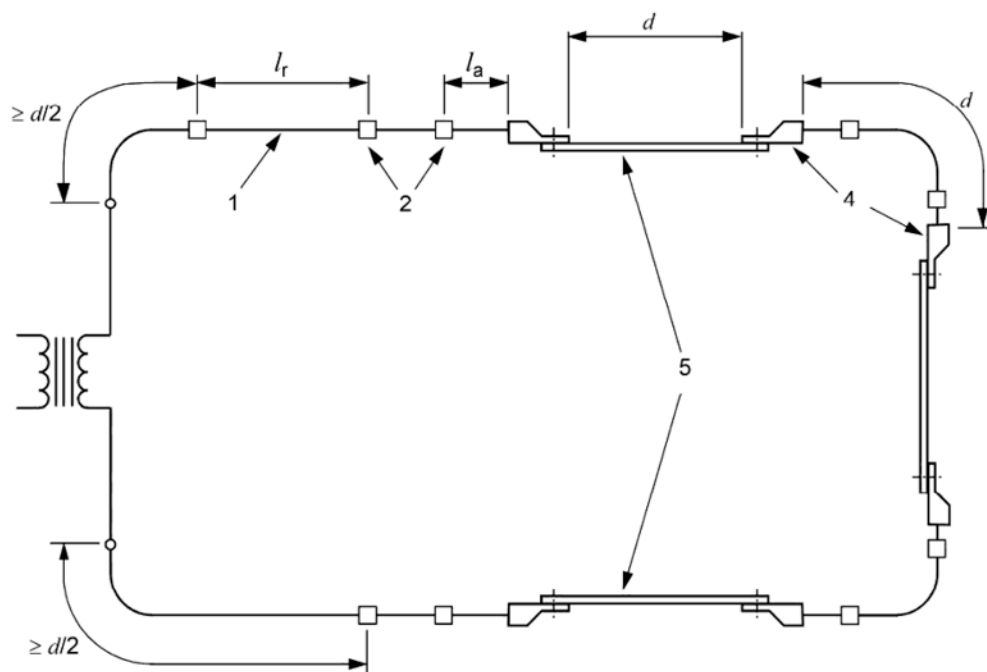


Bild 2b – Kabelschuhe

Dabei ist

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

A der entsprechende Leiternennquerschnitt, in mm^2

$l_r \geq l_a + l_b + l_j$ (bezüglich l_j siehe Bild 4)

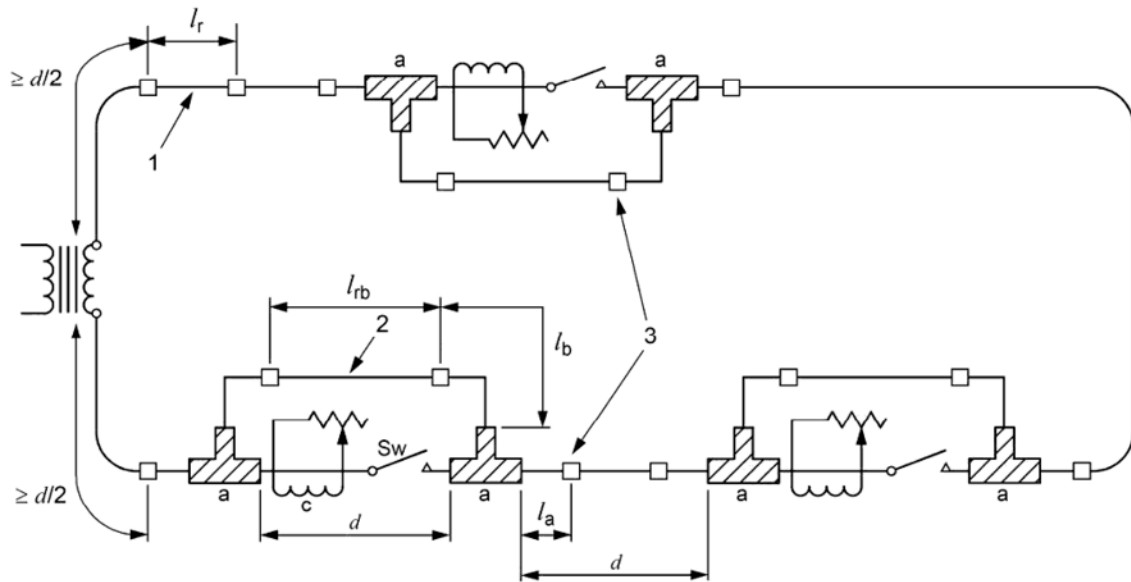
Bei mehrdrähtigen Leitern:

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

Legende

- 1 Bezugsleiter
- 2 Ausgleicher (für mehrdrähtige Leiter)
- 3 Durchgangsverbinder
- 4 Kabelschuhe
- 5 Verbindungsschienen
- 6 Trennbare Verbindungsstellen

Bild 2 – Typischer Prüfstromkreis für Durchgangsverbinder und Kabelschuhe



Dabei ist

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

A der Hauptleiterquerschnitt, in mm^2

$l_r, l_{rb} \geq d$

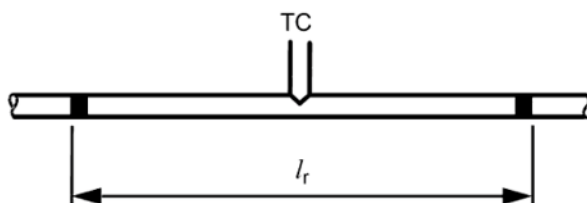
Bei mehrdrähtigen Leitern:

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

Legende

- 1 Bezugsleiter des Hauptleiters
- 2 Bezugsleiter des 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.

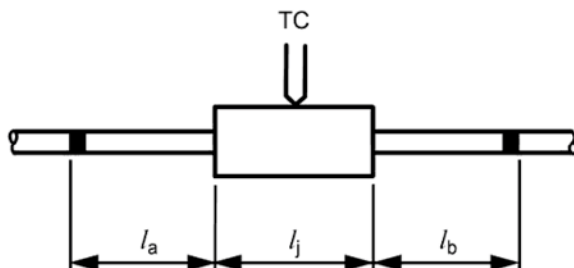
Bild 3 – Typischer Prüfstromkreis für Abzweigverbinder



Gleichung:

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

Bild 4a – Bezugsleiter



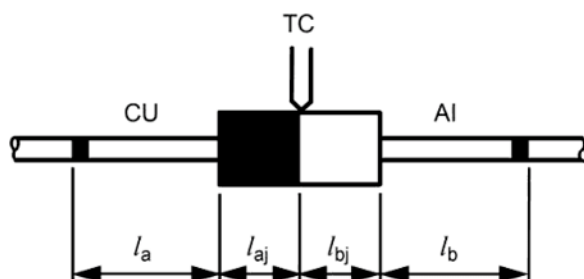
Gleichungen:

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

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

Bezugsleiter: Hauptleiter

Bild 4b – Durchgangverbinder



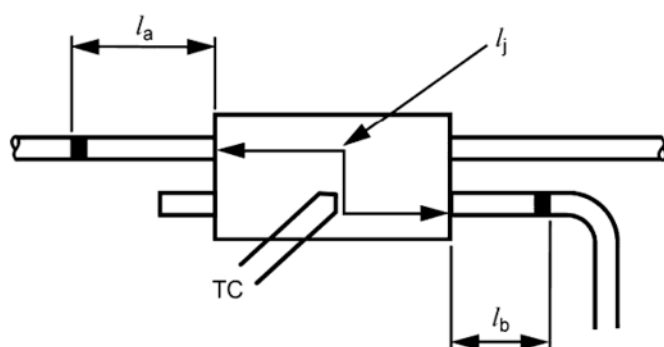
Gleichungen:

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

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

Bezugsleiter: Kupfer- und Aluminiumleiter

Bild 4c – Bimetall-Durchgangsverbinder



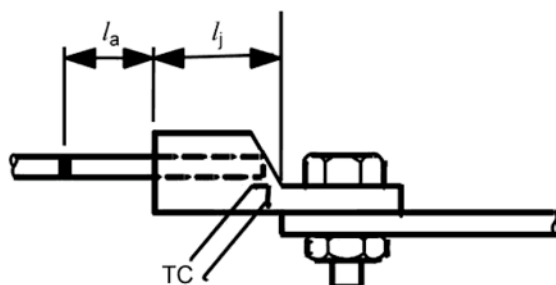
Gleichungen:

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

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

Bezugsleiter: Haupt- und Abzweigleiter

Bild 4d – Abzweigverbinder



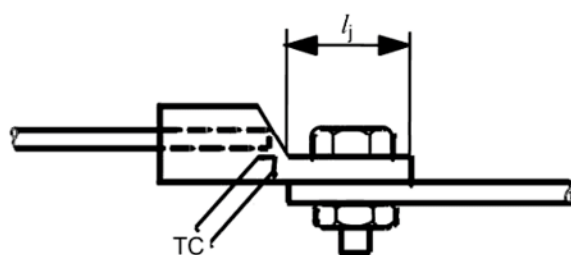
Gleichungen:

$$R_j = R - R_r \times \frac{l_a}{l_r}$$

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

Bezugsleiter: Hauptleiter

Bild 4e – Hülse eines Kabelschuhs



Gleichungen:

$$R_j = R$$

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

Bezugsleiter: Hauptleiter

Bild 4f – Anschlusslasche eines Kabelschuhs

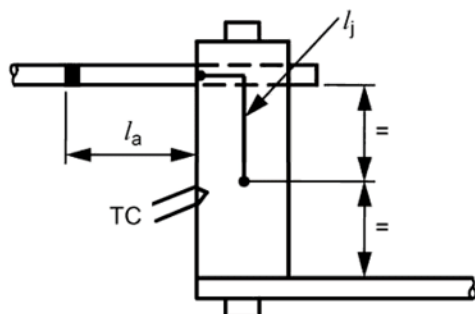


Bild 4g – Verbindung mit einem Leiter bei einem Schraubverbinder

Gleichungen:

$$R_j = R - R_r \times \frac{l_a}{l_r}$$

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

Bezugsleiter: Hauptleiter

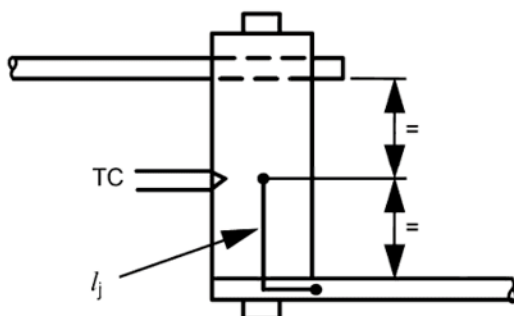


Bild 4h – Verbindung mit einer Anschlussschiene bei einem Schraubverbinder

Gleichungen:

$$R_j = R$$

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

Bezugsleiter: Hauptleiter

TC = Temperatur-Messstellen

Bild 4 – Typische Fälle von Widerstandsmessungen

7 Mechanische Prüfungen

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.

7.1 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 4d 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	$40 \times A$
		≥ 630	20 000
	Kupfer	≤ 300	$60 \times A$
		≥ 400	20 000
Klasse 2	Aluminium	≥ 630	$40 \times A$
	Kupfer	≥ 400	$60 \times A$

7.2 Anforderungen

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

8 Prüfbericht

Die Ergebnisse der Typprüfung nach der Norm dürfen in getrennten Prüfberichten vorgelegt werden.

8.1 Elektrische Prüfungen

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 Werkstoff, 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.