

	DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605)	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 29.060.20 Ersatz für DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2009-07 Siehe Anwendungsbeginn Starkstromkabel – Ergänzende Prüfverfahren; Deutsche Fassung HD 605 S3:2019 Electric cables – Additional test methods; German version HD 605 S3:2019 Câbles électriques – Méthodes d'essai supplémentaires; Version allemande HD 605 S3:2019 Gesamtumfang 141 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für das von CENELEC am 2019-07-01 angenommene Harmonisierungsdokument als DIN-Norm ist 2020-09-01.

Für **DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2009-07** besteht eine Übergangsfrist bis 2022-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2018-08.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 411.1 „Starkstromkabel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Hinweis: Im Bereich der Kabel- und Leitungsnormen wird „rated voltage“ aus sachlichen Gründen mit „Nennspannung“ übersetzt.

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2009-07** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Komplette Überarbeitung des Abschnitts **2.2.13**, Klimaalterungsprüfung;
- b) Überarbeitung der Prüfungen bezüglich Unregelmäßigkeiten in den Leitschichten und der Isolierung;
- c) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- d) allgemeine redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605): 1995-10, 2009-07

DIN VDE 0276-605/A1 (VDE 0276-605/A1): 1996-12

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1 (1 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 10002-1 <i>zurückgezogen</i>	–	DIN EN 10002-1 <i>zurückgezogen</i>	–
EN 10244-2	–	DIN EN 10244-2	–
EN 50414	–	DIN EN 50414 (VDE 0473-414)	VDE 0473-414
EN 62230	IEC 62230	DIN EN 62230 (VDE 0481-2230)	VDE 0481-2230
EN 60228	IEC 60228	DIN EN 60228 (VDE 0295)	VDE 0295
EN 60230	IEC 60230	DIN EN IEC 60230 (VDE 0481-230)	VDE 0481-230
EN 60332-3-24	IEC 60332-3-24	DIN EN IEC 60332-3-24 (VDE 0482-332-3-24)	VDE 0482-332-3-24
EN 60332-1 (alle Teile)	IEC 60332-1 (alle Teile)	DIN EN 60332-1 (VDE 0482-332-1) (alle Teile)	VDE 0482-332-1
EN 60584-1	IEC 60584-1	DIN EN 60584-1	–
EN 60672-2	IEC 60672-2	DIN EN 60672-2 (VDE 0335-2)	VDE 0335-2
EN 60672-3	IEC 60672-3	DIN EN 60672-3 (VDE 0335-3)	VDE 0335-3
EN 60811-201	IEC 60811-201	DIN EN 60811-201 (VDE 0473-811-201)	VDE 0473-811-201
EN 60811-202	IEC 60811-202	DIN EN 60811-202 (VDE 0473-811-202)	VDE 0473-811-202
EN 60811-203	IEC 60811-203	DIN EN 60811-203 (VDE 0473-811-203)	VDE 0473-811-203
EN 60811-401	IEC 60811-401	DIN EN 60811-401 (VDE 0473-811-401)	VDE 0473-811-401
EN 60811-404	IEC 60811-404	DIN EN 60811-404 (VDE 0473-811-404)	VDE 0473-811-404
EN 60811-405	IEC 60811-405	DIN EN 60811-405 (VDE 0473-811-405)	VDE 0473-811-405

Tabelle NA.1 (2 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60811-406	IEC 60811-406	DIN EN 60811-406 (VDE 0473-811-406)	VDE 0473-811-406
EN 60811-501	IEC 60811-501	DIN EN 60811-501 (VDE 0473-811-501)	VDE 0473-811-501
EN 60811-505	IEC 60811-505	DIN EN 60811-505 (VDE 0473-811-505)	VDE 0473-811-505
EN 60811-506	IEC 60811-506	DIN EN 60811-506 (VDE 0473-811-506)	VDE 0473-811-506
EN 60811-508	IEC 60811-508	DIN EN 60811-508 (VDE 0473-811-508)	VDE 0473-811-508
EN 60811-509	IEC 60811-509	DIN EN 60811-509 (VDE 0473-811-509)	VDE 0473-811-509
EN 60885-3	IEC 60885-3	DIN EN 60885-3 (VDE 0481-885-3)	VDE 0481-885-3
EN 61034-1	IEC 61034-1	DIN EN 61034-1 (VDE 0482-1034-1)	VDE 0482-1034-1
EN 61034-2	IEC 61034-2	DIN EN 61034-2 (VDE 0482-1034-2)	VDE 0482-1034-2
EN ISO 4892 (alle Teile)	ISO 4892 (alle Teile)	DIN EN ISO 4892 (alle Teile)	–
HD 603	–	DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603)	VDE 0276-603
HD 604	–	DIN VDE 0276-604 (VDE 0276-604)	VDE 0276-604
HD 620	–	DIN VDE 0276-620 (VDE 0276-620)	VDE 0276-620
HD 622	–	DIN VDE 0276-622 (VDE 0276-622)	VDE 0276-622
HD 626	–	DIN VDE 0276-626 (VDE 0276-626)	VDE 0276-626
HD 627	–	DIN VDE 0276-627 (VDE 0276-627)	VDE 0276-627
–	IEC 60502-1:2004	–	–
–	IEC 60502-2:2014	–	–
–	ISO 48	DIN ISO 48	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 10002-1 (zurückgezogen), *Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

DIN EN 10244-2, *Stahldraht und Drahterzeugnisse – Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht – Teil 2: Überzüge aus Zink oder Zinklegierungen*

DIN EN 50414 (VDE 0473-414), *Prüfverfahren für die Analyse von Blei in PVC entnommen aus Isolierung und Mantel von Kabeln, isolierten Leitungen und Lichtwellenleiterkabeln – Verfahren A: Bestimmung des Gesamtbleigehalts mit der Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie – Verfahren B: Qualitative Analyse des Bleigehalts durch Bleisulfidverfärbung*

DIN EN 62230 (VDE 0481-2230), *Kabel und isolierte Leitungen – Durchlaufspannungsprüfung*

DIN EN 60228 (VDE 0295), *Leiter für Kabel und isolierte Leitungen*

DIN EN 60332-1 (VDE 0482-332-1) (alle Teile), *Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall – Teil 1: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader, einer isolierten Leitung oder einem Kabel*

DIN EN 60584-1, *Thermoelemente – Teil 1: Thermospannungen und Grenزابweichungen*

DIN EN 60672-2 (VDE 0335-2), *Keramik- und Glasisolierstoffe – Teil 2: Prüfverfahren*

DIN EN 60672-3 (VDE 0335-3), *Keramik- und Glasisolierstoffe – Teil 3: Anforderungen für einzelne Werkstoffe*

DIN EN 60811-201 (VDE 0473-811-201), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 201: Allgemeine Prüfungen – Messung der Wanddicke von Isolierhüllen*

DIN EN 60811-202 (VDE 0473-811-202), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 202: Allgemeine Prüfungen – Messung der Wanddicke von nichtmetallinen Mänteln*

DIN EN 60811-203 (VDE 0473-811-203), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 203: Allgemeine Prüfungen – Messung der Außenmaße*

DIN EN 60811-401 (VDE 0473-811-401), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 401: Sonstige Prüfungen – Thermische Alterungsverfahren – Alterung im Wärmeschrank*

DIN EN 60811-404 (VDE 0473-811-404), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 404: Sonstige Prüfungen – Ölbeständigkeitsprüfungen für Mäntel*

DIN EN 60811-405 (VDE 0473-811-405), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 405: Sonstige Prüfungen – Prüfung der thermischen Stabilität von PVC-Isolierhüllen und PVC-Mänteln*

DIN EN 60811-406 (VDE 0473-811-406), *Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 406: Sonstige Prüfungen – Prüfung der Spannungsrißbeständigkeit von Polyethylen- und Polypropylenmischungen*

DIN EN 60811-501 (VDE 0473-811-501), Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 501: Mechanische Prüfungen – Prüfungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Isolier- und Mantelwerkstoffen

DIN EN 60811-505 (VDE 0473-811-505), Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 505: Mechanische Prüfungen – Dehnungsprüfungen bei niedriger Temperatur für Isolierhüllen und Mäntel

DIN EN 60811-506 (VDE 0473-811-506), Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 506: Mechanische Prüfungen – Schlagprüfungen bei niedriger Temperatur für Isolierhüllen und Mäntel

DIN EN 60811-508 (VDE 0473-811-508), Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 508: Mechanische Prüfungen – Wärmedruckprüfungen für Isolierhüllen und Mäntel

DIN EN 60811-509 (VDE 0473-811-509), Kabel, isolierte Leitungen und Glasfaserkabel – Prüfverfahren für nichtmetallene Werkstoffe – Teil 509: Mechanische Prüfungen – Prüfung der Rissbeständigkeit von Isolierhüllen und Mänteln (Wärmeschock-Prüfung)

DIN EN 60885-3 (VDE 0481-885-3), Elektrische Prüfverfahren für Starkstromkabel – Teil 3: Prüfverfahren zur Teilentladungsmessung an Längen von extrudierten Kabeln

DIN EN 61034-1 (VDE 0482-1034-1), Messung der Rauchdichte von Kabeln und isolierten Leitungen beim Brennen unter definierten Bedingungen – Teil 1: Prüfeinrichtung

DIN EN 61034-2 (VDE 0482-1034-2), Messung der Rauchdichte von Kabeln und isolierten Leitungen beim Brennen unter definierten Bedingungen – Teil 2: Prüfverfahren und Anforderungen

DIN EN IEC 60230 (VDE 0481-230), Stoßspannungsprüfungen an Kabeln und deren Garnituren

DIN EN IEC 60332-3-24 (VDE 0482-332-3-24), Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall – Teil 3-24: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung von vertikal angeordneten Bündeln von Kabeln und isolierten Leitungen – Prüfmethode C

DIN EN ISO 4892 (alle Teile), Kunststoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten

DIN ISO 48, Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD)

DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603), Starkstromkabel – Teil 603: Energieverteilungskabel mit Nennspannung 0,6/1 kV

DIN VDE 0276-604 (VDE 0276-604), Starkstromkabel – Teil 604: Starkstromkabel mit Nennspannungen 0,6/1 kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke

DIN VDE 0276-620 (VDE 0276-620), Starkstromkabel – Teil 620: Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis einschließlich 20,8/36 (42) kV

DIN VDE 0276-622 (VDE 0276-622), Starkstromkabel – Teil 622: Starkstromkabel mit Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis 20,8/36 (42) kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke

DIN VDE 0276-626 (VDE 0276-626), Starkstromkabel – Teil 626: Isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit Nennspannung $U_0/U(U_m)$: 0,6/1 (1,2) kV

DIN VDE 0276-627 (VDE 0276-627), Starkstromkabel – Teil 627: Vieladrige und vielpaarige Kabel für die Verlegung in Luft und in Erde

**Starkstromkabel –
Ergänzende Prüfverfahren**

Electric cables –
Additional test methods

Câbles électriques –
Méthodes d'essai supplémentaires

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von CENELEC am 2019-07-01 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen für die Übernahme dieses Harmonisierungsdokuments auf nationaler Ebene festgelegt sind.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Übernahmen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Dieses Harmonisierungsdokument besteht in drei offiziellen Fassungen (Englisch, Französisch und Deutsch).

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2019 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren,
sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. HD 605 S3:2019 D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
1 Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Anzuwendende Prüfungen	5
1.3 Klassifizierung der Prüfungen	5
1.4 Probenentnahme	5
1.5 Prüfbedingungen	5
2 Nichtelektrische Prüfungen	6
2.1 Prüfung der Maße.....	6
2.2 Mechanische Prüfungen an nichtmetallinen Aufbauelementen.....	23
2.3 Mechanische Prüfungen an metallenen Aufbauelementen.....	35
2.4 Nicht-elektrische Prüfungen an Proben des vollständigen Kabels	37
2.5 Physikalische und chemische Prüfungen.....	66
3 Elektrische Prüfungen	79
3.1 Elektrischer Widerstand.....	79
3.2 Spannungsprüfungen	82
3.3 Isolationswiderstandsprüfungen.....	89
3.4 Oberflächenwiderstand des Kabelaußenmantels	92
3.5 (freibleibend).....	92
3.6 Durchlaufspannungsprüfung	92
3.7 Messung des Kopplungswiderstandes.....	93
3.8 Prüfung mit Erwärmungszyklen.....	95
3.9 Messung des spezifischen elektrischen Widerstands der Leitschichten	99
3.10 Teilentladungsprüfung	101
3.11 Verlustfaktormessung.....	103
3.12 Beständigkeit des Isoliermantels gegenüber Witterungseinflüssen.....	103
3.13 Haftung der Schirme bei Kurzschlussstemperatur.....	106
3.14 Widerstandsprüfung an wassersperrenden Bändern.....	107
3.15 Prüfung der Feuchtigkeitsaufnahme – Elektrische Prüfung	107
3.16 (freibleibend).....	108
3.17 (freibleibend).....	108
3.18 (freibleibend).....	108
3.19 (freibleibend).....	108
4 Prüfungen des Brandverhaltens	108
4.1 Prüfungen der Flammenausbreitung (Brandweiterleitung)	108
4.2 Rauchdichteprüfungen	113
4.3 (freibleibend).....	115
4.4 Toxizität der Brandgase.....	115

4.5	(freibleibend)	121
4.6	(freibleibend)	121
5	Langzeitprüfungen	122
5.1	Thermische Langzeitprüfung.....	122
5.2	Beständigkeit gegen Ziehschmiermittel	123
5.3	Langzeitprüfung in Wasser	123
5.4	Langzeitspannungsprüfung.....	125
5.5	Prüfung der Querwasserbeständigkeit und der Beständigkeit des metallenen Schirms gegen Korrosion	130
5.6	Wasserbeständigkeit der Isolierung	130
Anhang A (normativ) Normative Verweisungen		132
Anhang B (normativ) Runden von Zahlen		134
Literaturhinweise		135

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (HD 605 S3:2019) wurde von CLC/TC 20 „Kabel und isolierte Leitungen“ ausgearbeitet.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2020-07-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2022-07-01

Dieses Dokument ersetzt **HD 605 S2:2008** und alle seine Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden).

Um die Durchgängigkeit der vorhandenen Abschnittsnummern zu bewahren und so unnötige Änderungen in mehr als 100 Hauptabschnitten zu vermeiden, werden die normativen Verweisungen im [Anhang A](#) angegeben.

Die Nummerierung der Tabellen und Bilder in dieser Norm ist unüblich. Sie behält das in HD 605 S1 verwendete Schema bei. Dieses geschieht, um die Normenbezüge in den nationalen Hauptabschnitten von **HD 603**, **HD 620** und anderen Kompendien-HDs zu erleichtern. Sie gestattet auch, in Zukunft weitere Prüfverfahren zu rationalisieren und harmonisieren, ohne weitere Umnummerierungen vornehmen zu müssen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Dieses HD fasst Prüfverfahren zusammen und legt Prüfverfahren fest, die zum Prüfen von polymerisolierten und ummantelten elektrischen Kabeln mit Nennspannungen bis einschließlich 20,8/36 kV anzuwenden sind, die für öffentliche Verteilersysteme sowie für die Verwendung in Kraftwerken und Umspannwerken vorgesehen sind.

Die Prüfverfahren in diesem HD ergänzen die bereits harmonisierten, z. B. Normenreihe EN 60332-1 und Normenreihe EN 60811, und werden zum Prüfen der Kabeltypen verwendet, die im **HD 603**, **HD 604**, **HD 620**, **HD 622**, **HD 626** und **HD 627** festgelegt sind. In jedem Falle vermitteln diese HDs zusätzliche Informationen, die für die praktische Anwendung zu jedem spezifischen Typ benötigt werden. Daher ist das vorliegende HD selbst nicht ausreichend, um die Prüfungen an elektrischen Kabeln durchzuführen und auszuwerten.

Die vollständigen Prüfbedingungen (z. B. Temperaturen, Zeit) und/oder Prüfanforderungen werden im vorliegenden HD nicht festgelegt. Derartige Daten, die zur Durchführung der Prüfungen erforderlich sind, werden in den Hauptabschnitten angegeben.

ANMERKUNG Der Begriff „Hauptabschnitt“ bezieht sich ausnahmslos auf den Abschnitt im **HD 603** oder **HD 604** oder andere HDs, auf die sich das **HD 605** bezieht, in welchen ein spezieller Kabeltyp festgelegt ist.

1.2 Anzuwendende Prüfungen

Die auf jeden Typ des Kabels anwendbaren Prüfungen sind in den Hauptabschnitten angegeben, die ebenfalls die Reihenfolge, die Prüfhäufigkeit sowie die Möglichkeit der Wiederholung nichtbestandener Prüfungen festlegen.

1.3 Klassifizierung der Prüfungen

Die Klassifizierung der Prüfungen wird in den Teilen 1 von **HD 603**, **HD 604**, **HD 620**, **HD 622**, **HD 626** und **HD 627** angegeben.

1.4 Probenentnahme

Die Größe und die Anzahl der Proben werden entweder in diesem HD oder in den entsprechenden HDs angegeben.

Wenn eine Kennzeichnung in der Oberfläche der Isolierung oder des Mantels eingeprägt ist, müssen die für die Prüfungen verwendeten Proben so ausgewählt werden, dass derartige Kennzeichnungen einbezogen sind.

Bei mehradrigen Kabeln dürfen, mit Ausnahme der in **2.1.1** festgelegten Prüfung, höchstens drei Adern (von verschiedener Farbe, falls vorhanden) geprüft werden, sofern keine anderweitige Festlegung getroffen wurde.

1.5 Prüfbedingungen

1.5.1 Umgebungstemperatur

Die Prüfungen müssen bei einer Umgebungstemperatur von $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$ durchgeführt werden, falls keine anderweitige Festlegung in den Angaben der einzelnen Prüfungen getroffen wurde.

1.5.2 Grenzabweichungen der Temperaturwerte

Wenn im Hauptabschnitt keine anderweitige Festlegung getroffen wurde, sind die in den Prüfverfahren genannten Grenzabweichungen für Temperaturwerte wie folgt:

Tabelle 1.5.2 – Grenzabweichungen für Temperaturwerte

Festgelegte Temperatur, t °C	Grenzabweichung K
$-40 \leq t \leq 0$	± 2
$0 < t \leq 50$	entsprechend betreffendem Abschnitt
$50 < t \leq 150$	± 2
$t > 150$	± 3

1.5.3 Frequenz und Wellenform der Netzfrequenz-Prüfspannungen

Falls keine anderweitigen Festlegungen getroffen werden, muss die Prüfspannung von 49 Hz bis 61 Hz eine angenäherte Sinus-Wellenform aufweisen, wobei der Spitzenwert/Effektivwert gleich $\sqrt{2}$ mit einer Grenzabweichung von $\pm 7\%$ beträgt. Die Werte werden als Effektivwerte angegeben.

1.5.4 Vorbehandlung

Falls keine anderweitigen Festlegungen getroffen werden, dürfen sämtliche Prüfungen nicht früher als 16 h nach der Extrusion oder der Vernetzung der Isolier- oder Mantelmischung, falls diese stattfand, durchgeführt werden.

2 Nichtelektrische Prüfungen

2.1 Prüfung der Maße

2.1.1 Messung der Isolierwanddicke

2.1.1.1 Verfahren

Die Isolierwanddicke muss nach **EN 60811-201** gemessen werden. Falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde, ist eine Kabelprobe zu entnehmen und die Messung an drei Stellen durchzuführen.

Bei Kabeln bis fünf Adern muss die Übereinstimmung an jeder Ader des Kabels überprüft werden und bei Kabeln mit mehr als fünf Adern an der im Hauptabschnitt festgelegten Anzahl.

Falls das Herausnehmen des Leiters schwierig ist, muss er in eine Zugprüfmaschine eingespannt werden, oder das Aderstück ist in eine geeignete Flüssigkeit zu legen, bis sich die Isolierung löst.

2.1.1.2 Auswertung

Falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde, ist der Mittelwert der 18 Werte (in mm), die aus den drei Isolierungsstücken einer jeden Ader erhalten wurden, auf zwei Dezimalstellen zu berechnen und, wie nachfolgend dargestellt, zu runden, und dieses Ergebnis gilt als Mittelwert der Isolierwanddicke.

Wenn bei der Berechnung die zweite Dezimalstelle nach dem Komma größer oder gleich 5 ist, muss die erste Dezimalstelle auf die nächste Ziffer erhöht werden, beispielsweise ist 1,74 auf 1,7 und 1,75 auf 1,8 zu runden.

Der niedrigste sämtlicher erhaltenen Werte gilt als Mindestdicke der Isolierung an beliebiger Stelle.

2.1.2 Messung der Wanddicke des nichtmetallinen Mantels

2.1.2.1 Verfahren

Die Dicke des Mantels muss nach **EN 60811-202** gemessen werden. Falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde, ist eine Kabelprobe zu entnehmen und die Messung an drei Stellen durchzuführen.

2.1.2.2 Auswertung

Der Mittelwert aller Werte (in mm), die aus den drei Stücken des Mantels gewonnen wurden, muss auf zwei Dezimalstellen berechnet werden und, wie nachfolgend dargestellt, gerundet werden, und dieses Ergebnis gilt als Mittelwert der Dicke des Mantels.

Wenn bei der Berechnung die zweite Dezimalstelle nach dem Komma größer oder gleich 5 ist, muss die erste Dezimalstelle auf die nächste Ziffer erhöht werden, beispielsweise ist 1,74 auf 1,7 und 1,75 auf 1,8 zu runden.

Der niedrigste sämtlicher erhaltenen Werte gilt als Mindestdicke des Mantels an beliebiger Stelle.

2.1.3 Bestimmung der Maße des Kabels

2.1.3.1 Messung der Außenmaße

Falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde, sind die drei nach **2.1.1** oder **2.1.2** entnommenen Proben zu verwenden.

Die Messung des Außendurchmessers eines Rundkabels und der Außenabmessungen von Flachkabeln mit einer größten Abmessung bis 15 mm ist nach **EN 60811-203** durchzuführen.

Für die Messung von Flachkabeln mit einer größten Abmessung über 15 mm ist eine Bügelmessschraube, ein Messprojektor oder eine ähnliche Einrichtung zu verwenden.

Der Mittelwert der erhaltenen Werte gilt als das mittlere Außenmaß.

2.1.3.2 Messung der Ovalität

Zum Prüfen der Ovalität von runden ummantelten Kabeln müssen zwei Messungen an demselben Querschnitt des Kabels ausgeführt werden, die den Höchst- und den Mindestwert einschließen.

2.1.4 Messung der Drähte, Streifen und Bänder

2.1.4.1 Leiterdrähte

Messung des Durchmessers der Leiterdrähte (Leiter der Klasse 5).

(a) Probenentnahme

Aus einer Ader jedes für die Prüfung ausgewählten Kabelabschnitts werden stichprobenartig entweder aufgerundet 10 % der Gesamtanzahl der Drähte oder 10 Drähte entnommen, wobei die kleinere Zahl der Drähte zu wählen ist.

(b) Verfahren

Mit Hilfe einer Messschraube wird an drei Stellen, die etwa 300 mm voneinander entfernt liegen müssen, der Durchmesser jedes einzelnen Drahts bestimmt. Es wird auf zwei Dezimalstellen nach dem Komma abgelesen. Der Mittelwert der drei Messungen gilt als der Drahtdurchmesser.

2.1.4.2 Drähte und Bänder des konzentrischen Leiters oder Schirms

(a) Probenentnahme

Eine Probe von etwa 500 mm Länge wird aus dem Prüfstück entnommen und mit Hilfe eines Werkzeugs gerichtet, wobei sie nicht beschädigt werden darf. Danach wird sie gereinigt.

(b) Verfahren

Bei Drähten und Bändern wird die Dicke mit einer Messschraube oder einer Messuhr mit einem Messeinsatz mit ebenen Messflächen mit einem Durchmesser von 4 mm bis 8 mm gemessen. Die Messungen müssen an drei Stellen durchgeführt werden, die gleichmäßig entlang der Probe verteilt sind.

(c) Auswertung

Der Durchmesser oder die Wanddicke ist der aus den drei Messungen erhaltene Mittelwert. Die Prüfung gilt als erfüllt, wenn der Mittelwert nicht unter dem im Hauptabschnitt vorgeschriebenen Mindestwert liegt.

2.1.4.3 Drähte, Streifen und Bänder von Bewehrungen

(a) Runddrähte

Aus einem Stück des vollständigen Kabels sind stichprobenartig 10 Drähte oder 10 % der Gesamtanzahl der Drähte, je nachdem, welche Zahl die kleinere ist, zu entnehmen.

Der Durchmesser jedes Drahts dieser Probennahme ist durch zwei Messungen rechtwinklig zueinander mit einer Messschraube mit ebenen Messflächen und einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm zu bestimmen.

Der Mittelwert gilt als Drahtdurchmesser.

(b) Flachdrähte oder Streifen

Aus einem Stück des vollständigen Kabels sind stichprobenartig 10 Flachdrähte oder Streifen oder 10 % der Gesamtzahl der Flachdrähte oder Streifen, je nachdem, welche Zahl die kleinere ist, zu entnehmen.

Die Dicke und Breite jedes Flachdrahts dieser Probennahme ist mit einer Messschraube mit ebenen Messflächen und einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm oder mit einem Messschieber mit ebenen Messflächen und einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ mm zu bestimmen.

Der Mittelwert gilt als Drahtdicke und Drahtbreite.

(c) Dicke der Metallbänder

Von jedem Bewehrungsband ist ein Stück zu entnehmen und zu richten, nicht-metallene Überzüge sind gegebenenfalls zu entfernen und die Dicke des Bandes ist an sechs verschiedenen Stellen zu bestimmen.

Die Messung ist mit einer Messschraube oder einem Messschieber durchzuführen, beide mit ebenen Messflächen von ungefähr 5 mm Durchmesser und mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm beziehungsweise $\pm 0,02$ mm. Für Bänder bis 40 mm Breite ist die Dicke in der Mitte zu messen. Für breitere Bänder ist die Messung 20 mm von den jeweiligen Bandkanten entfernt durchzuführen und der Mittelwert der Ergebnisse gilt als Dicke.

Der kleinste Wert ist unter Berücksichtigung der Grenzabweichung mit der Angabe für die Dicke im Hauptabschnitt zu vergleichen.

2.1.5 Messung der Dicke von Metallmänteln

Die Dicke von Bleimänteln muss durch eines der nachfolgenden Verfahren nach dem Ermessen des Herstellers bestimmt werden. (Verfahren zur Dickenmessung anderer Metallmäntel sind in Bearbeitung.)

a) Streifenverfahren

Die Messung muss an einer Probe des Mantels von etwa 50 mm Länge vorgenommen werden, das von der fertigen Kabellänge entnommen wurde. Die Probe muss in ausreichender Entfernung vom Kabelende entnommen werden, um damit eine eindeutige Prüfung durchzuführen.

Die Probe muss längs geschlitzt und sorgfältig geglättet werden. Nach dem Reinigen der Probe ist eine Anzahl von Messungen entlang des Umfangs des Mantels vorzunehmen, die mindestens 10 mm von der Kante der geglätteten Probe entfernt liegen müssen, um sicherzustellen, dass die dünnste Stelle gemessen wird. Die Messung muss mit einer Messschraube mit ebenen Flächen eines Durchmessers von 2 mm bis 8 mm und einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm vollzogen werden.

b) Ringverfahren

Die Messungen müssen an einem Ring des Mantels vorgenommen werden, der sorgfältig aus dem Probestück geschnitten wurde. Die Dicke muss an einer ausreichenden Anzahl von Punkten entlang des Umfangs des Rings bestimmt werden, um sicherzustellen, dass die dünnste Stelle erfasst wird.

Die Messungen sind mit einer Messschraube vorzunehmen, die entweder einen flachen und einen kugelförmigen Einsatz oder einen flachen Einsatz und einen flachen rechtwinkligen Einsatz von 0,8 mm Breite sowie 2,4 mm Länge aufweist. Der kugelförmige oder der flache rechtwinklige Einsatz muss an der Innenseite des Rings angesetzt werden. Die Genauigkeit der Messschraube muss $\pm 0,01$ mm betragen.

2.1.6 Prüfung der Anordnung von Schirm- oder Bewehrungsbändern oder -drähten

2.1.6.1 Verfahren 1

In einem Abstand von mindestens 150 mm vom Ende einer Fertigungslänge wird eine 300 mm lange Probe genommen. Der Spalt zwischen den nebeneinanderliegenden Kanten des Bandes (der Bänder) sowie die Bandbreite ist zu messen. Die Messung ist an 4 Stellen entlang der Probe mit einer Messunsicherheit von höchstens 0,5 mm vorzunehmen.

2.1.6.2 Verfahren 2

Es werden zwei Ringe des Mantels von jeweils 50 mm Länge entfernt, in einem Abstand von $5D$ und $15D$ (wobei D den Gesamtdurchmesser darstellt) vom einen Ende des Kabels, so dass die Metallbänder oder -drähte freigelegt werden.

Eine Sichtprüfung der freigelegten Bauteile ist vorzunehmen und der größte Spalt zwischen nebeneinanderliegenden Drähten oder Bändern zu messen. Die Messung muss mit einer Messunsicherheit von höchstens 0,5 mm vorgenommen und das Ergebnis mit einer Dezimalstelle angegeben werden.

2.1.7 Prozentuale Bedeckung durch ein Metallgeflecht

Die prozentuale Bedeckung B der Beflechtung ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$B = \frac{100}{q} d (m_1 n_1 + m_2 n_2 - m_1 n_1 m_2 n_2 \frac{d}{q})$$

Dabei ist

$$q = \frac{\pi DS}{\sqrt{\pi^2 D^2 + S^2}};$$

- D der mittlere Durchmesser der Beflechtung (Durchmesser unter dem Metallgeflecht plus $2d$ in mm);
 d der Nenndurchmesser der Drähte des Geflechts in mm;
 S die Schlaglänge der Drähte des Geflechts in mm;
 m_1 die Anzahl der Fachungen in einer Richtung;
 m_2 die Anzahl der Fachungen in der anderen Richtung;
 n_1, n_2 die Anzahl der Drähte je Fachung entsprechend der Richtung.

2.1.8 Messung des Abstands zwischen nicht-metallinen Bändern der Bandzwischen-schicht

Siehe 2.1.6.1.

2.1.9 (freibleibend)

2.1.10 Unregelmäßigkeiten in den Leitschichten und der Isolierung

2.1.10.1 Verfahren 1 – Unregelmäßigkeiten in der inneren Leitschicht und in der Isolierung

(a) Verfahren

Siehe 2.1.10.2.

(b) Anforderungen

(i) Unregelmäßigkeiten auf der inneren Leitschicht (Bild 2.1.10.1 a))

Die innere Leitschicht muss so weit wie möglich frei von Unregelmäßigkeiten sein; diese dürfen keine ausgeprägten Spitzen haben.

Vereinzelte Unregelmäßigkeiten dürfen zugelassen werden, wenn folgende Forderungen erfüllt sind:

- Die Unregelmäßigkeiten der inneren Leitschicht dürfen um nicht mehr als 0,080 mm in die Isolierung hineinragen;
- für Unregelmäßigkeiten mit einer Höhe (H) gleich oder größer 0,040 mm muss das Verhältnis ihrer Basis zu ihrer Höhe (B)/(H) gleich oder größer 3 sein;
- Unregelmäßigkeiten, bei denen (H) kleiner als 0,040 mm ist, werden nicht gewertet.

(ii) Unregelmäßigkeiten, die in die innere Leitschicht ragen (Bild 2.1.10.1 b))

Unregelmäßigkeiten der Isolierung dürfen um nicht mehr als 0,20 mm in die innere Leitschicht hineinreichen.

(iii) Unregelmäßigkeiten innerhalb der Isolierung (Bild 2.1.10.1 c))

Vereinzelte auftretende Unregelmäßigkeiten sind zulässig, wenn folgende Forderungen erfüllt sind:

- Unregelmäßigkeiten, deren größte Ausdehnung (L) kleiner als 0,05 mm ist, werden nicht gewertet;
- Unregelmäßigkeiten, deren größte Ausdehnung (L) größer als 0,20 mm ist, sind nicht zulässig;
- wenn Unregelmäßigkeiten beobachtet werden, deren größte Ausdehnung (L) größer als 0,05 mm, aber kleiner oder gleich 0,20 mm ist, ist eine zweite Probe unmittelbar neben der ersten zu untersuchen, die keine Unregelmäßigkeiten zeigen darf.

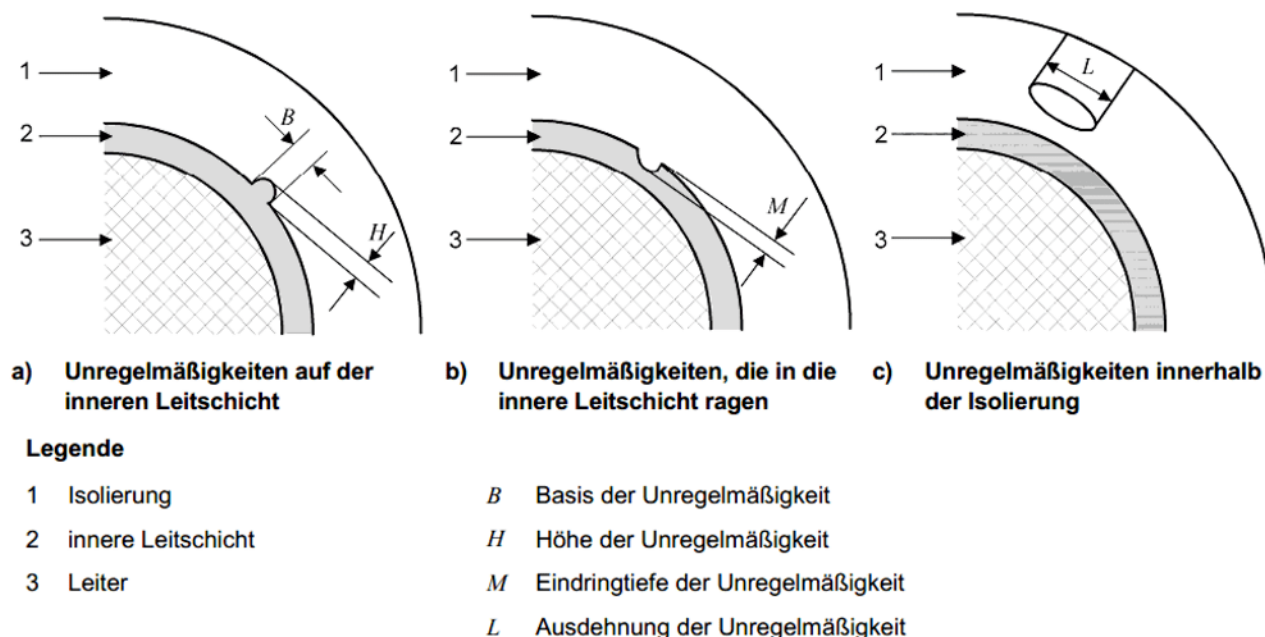


Bild 2.1.10.1 – Verfahren 1 – Unregelmäßigkeiten in der inneren Leitschicht und in der Isolierung

2.1.10.2 Verfahren 2 – Unregelmäßigkeiten in der inneren Leitschicht und in der Isolierung

(a) Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Prüfungen der Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche der extrudierten inneren Leitschichten und in der Isolierung von VPE-isolierten Mittelspannungskabeln mit einer Nennspannung von U_0/U 6/10 kV bis 20,8/36 kV fest.

(b) Messeinrichtung

- (i) Wärmeschrank mit natürlicher Belüftung
- (ii) Becherglas
- (iii) Silikonöl
- (iv) Messmikroskop oder Profilprojektor mit mindestens 10facher Vergrößerung, mit drehbarer Haltevorrichtung für die Proben, welches eine Ablesung auf 0,01 mm erlauben muss
- (v) Lampe

(c) Probenvorbereitung

Von einem Ende des Kabels muss eine 300 mm lange Probe entnommen werden. Die äußere Leitschicht wird von der Probe entfernt. Die Probe darf für ein bis zwei Stunden bei einer Temperatur von ungefähr 80 °C in den Wärmeschrank ((b) (i)) gelegt werden. Das Becherglas ((b) (ii)) muss mit Silikonöl ((b) (iii)) gefüllt werden und auf eine Temperatur von ungefähr 130 °C aufgeheizt werden.

(d) Messdurchführung

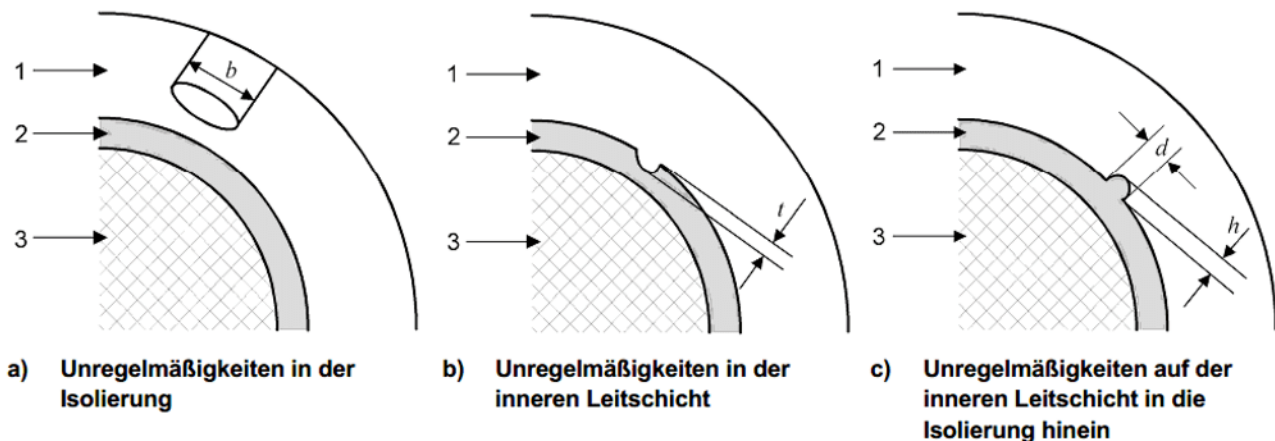
Die Probe muss so lange in das erhitzte Silikonöl getaucht werden, bis die VPE-Isolierung vollständig durchsichtig geworden ist. Die Probe muss dann visuell mit Hilfe einer Lampe ((b) (v)) untersucht werden, und wenn notwendig, müssen sichtbare Unregelmäßigkeiten auf der Probe markiert werden. Die Probe ist anschließend auf Raumtemperatur abzukühlen.

Um die gefundenen Unregelmäßigkeiten zu messen, ist die Probe an den markierten Punkten in Scheiben oder Spiralen zu schneiden. Die Messung ist mit Hilfe der Messeinrichtung nach Punkt ((b) (iv)) in der Weise durchzuführen, dass:

- die größte Ausdehnung (b) einer Unregelmäßigkeit in der Isolierung (siehe Bild 2.1.10.2 a));
 - die größte Ausdehnung (t) einer Unregelmäßigkeit in der inneren Leitschicht (siehe Bild 2.1.10.2 b));
 - die größte Ausdehnung (h) einer Unregelmäßigkeit in der Berührungsfläche zwischen innerer Leitschicht und Isolierung, die in die Isolierung zeigt, und deren Durchmesser am Fuße (d) (siehe Bild 2.1.10.2 c))
- ermittelt wird.

(e) Auswertung

Die Ergebnisse sind annehmbar, wenn die gemessenen Werte mit den im Hauptabschnitt angegebenen Werten übereinstimmen.



Legende

- | | |
|----------------------|--|
| 1 Isolierung | b Ausdehnung der Unregelmäßigkeit |
| 2 innere Leitschicht | t Eindringtiefe der Unregelmäßigkeit |
| 3 Leiter | d Basis der Unregelmäßigkeit |
| | h Höhe der Unregelmäßigkeit |

Bild 2.1.10.2 – Verfahren 2 – Unregelmäßigkeiten in der inneren Leitschicht und in der Isolierung

2.1.10.3 Verfahren 3 – Fehler in der vernetzten Polyethylenisolierung und in den Leitschichten

(a) Vernetzte Polyethylenisolierung

Der Isolierwerkstoff muss regelmäßig durch Probenentnahme auf Verunreinigungen hin untersucht werden. Der Entnahmeplan muss vorschreiben, dass mindestens 2 % des Isolierwerkstoffvolumens entnommen werden. Die Werkstoffanalyse wird nur zur Herstellungsinformation dokumentiert und muss mindestens die Art und die Anzahl der je Gewicht in der Isolierung gefundenen Verunreinigungen enthalten. Werkstoff, der nicht durch den Hersteller untersucht wurde, muss vom Kabellieferanten im 2-%-Rahmen untersucht werden.

Die Isolierung des vollständigen Kabels muss frei sein von:

- Hohlräumen größer als 0,075 mm. Die Anzahl der Hohlräume, die größer als 0,05 mm sind, darf bei keiner Spannung 2 je cm^3 des Isolierwerkstoffs überschreiten;
- einer Verunreinigung (undurchsichtiger Werkstoff oder Werkstoff, der kein homogen vernetztes Polyethylen ist) größer als 0,125 mm in ihrer größten Abmessung. Die Anzahl der Verunreinigungen, die zwischen 0,05 mm und 0,125 mm liegen, darf bei keiner Spannung 1 je cm^3 des Isolierwerkstoffs überschreiten;
- Stellen von eingetrübtem Werkstoff, die größer als 1,25 mm in ihrer größten Abmessung sind.

(b) Hohlräume und Pickel in innerer und äußerer Leitschicht

1. Die extrudierte innere Leitschicht muss an der Grenzfläche zur Isolierung frei von irgendwelchen Hohlräumen größer als 0,075 mm sein.
2. Die extrudierte äußere Leitschicht muss an der Grenzfläche der Isolierung frei von irgendwelchen Hohlräumen größer als 0,125 mm sein.
3. Die Berührungsoberfläche zwischen extrudierten Leitschichten und der Isolierung muss zylindrisch und frei von Pickeln und Unregelmäßigkeiten, welche an der inneren Leitschicht um mehr als 0,125 mm in die Isolierung und 0,25 mm in die innere Leitschicht hineinragen, sein. Pickel an der Oberfläche zwischen Isolierung und äußerer Leitschicht müssen auf 0,25 mm in die Isolierung und 0,25 mm in die äußere Leitschicht begrenzt sein.

Die innere Leitschicht muss extrudiert sein und aus schwarzem halbleitendem Werkstoff bestehen, der mit der Isolierung und dem Leiter verträglich sein und eine zulässige Betriebstemperatur haben muss, die gleich oder höher als die der Isolierung ist. Die Außenoberfläche der inneren Leitschicht muss zylindrisch sein und muss mit der darüber liegenden Isolierung fest verbunden sein. Die extrudierte Schicht muss leicht vom Leiter entfernbare sein. Die mittlere minimale Dicke muss 0,40 mm betragen.

Zwischen dem Leiter und der extrudierten Leitschicht darf ein halbleitendes leitfähiges Band aufgebracht sein. Die äußere Leitschicht muss extrudiert sein und aus schwarzem, halbleitendem thermoplastischem oder vernetztem Werkstoff bestehen und direkt über der Isolierung aufgebracht sein.

(c) Verfahren zur Bestimmung der Hohlräume, Verunreinigungen, Eintrübungen und Leitschichtpickel

- (i) Die Proben müssen wie folgt vorbereitet werden: 50 mm der Probe müssen wendelförmig oder in einer anderen geeigneten Weise geschnitten werden, um dünne Proben von der inneren Leitschicht, der Isolierung und der äußeren Leitschicht herzustellen. Die Scheiben (oder die Windungen der Spirale) müssen ungefähr 0,6 mm dick sein (ungefähr 80 Scheiben werden hergestellt). Die Schneidklinge muss scharf sein, um eine Probe mit gleichmäßiger Dicke und sehr glatter Schnittoberfläche zu erzeugen. Die Probe muss sauber gehalten und sorgsam behandelt werden, um Kratzer auf den Schnittoberflächen zu vermeiden.
- (ii) Die unbeschädigte Probe muss mit Durchlicht auf Freiheit von Hohlräumen, Verunreinigungen und Eintrübungen in der Isolierung und zwischen der Isolierung und der inneren und der äußeren Leitschicht untersucht werden. Für mineralgefüllte vernetzte polyethylen-isolierte Kabel und innere Leitschichten muss das Reflexionsverfahren verwendet werden.
 1. Eine Verunreinigung ist ein fester oder flüssiger Werkstoff, der undurchsichtig ist, oder ein inhomogener thermoplastischer Werkstoff der vernetzten Polyethylenisolierung, einschließlich farblich eingetrübter Werkstoffe, deren größte Ausdehnung größer als 1,25 mm ist.
 2. Die gesamte Fläche von 20 aufeinanderfolgenden Scheiben (oder gleichwertige Windungen der Spiralprobe) muss mit mindestens 15-facher Vergrößerung, einschließlich einiger Bereiche, die bei der obigen Untersuchung mit Durchlicht unklar erschienen sind, untersucht werden.
 3. Es muss eine Tabelle mit der Anzahl und der Größe bei einer mit mindestens 15-fachen Vergrößerung von Folgendem gemacht werden:
 - (a) alle Hohlräume, 0,05 mm in ihrer größten Abmessung und größer, und
 - (b) alle Verunreinigungen, 0,05 mm in ihrer größten Abmessung und größer im vernetzten Polyethylen, und
 - (c) farbveränderte Eintrübung mit mehr als 0,05 mm in ihrer größten Abmessung.Diese Tabelle muss aufgenommen und protokolliert werden.
 4. Der größte Hohlraum, die größte Verunreinigung und die größte Eintrübung müssen durch Einkreisen gekennzeichnet werden und nachträglich mit einem Mikrometer-Mikroskop gemessen werden.
 5. Die Anzahl der Hohlräume, Verunreinigungen und Eintrübungen je cm^3 Isolierung muss aus der Tabelle berechnet werden. (Das Volumen der 20 Scheiben oder der gleichwertigen Windungen kann mittels eines geeigneten Verfahrens bestimmt werden.) Wenn die 20 Scheiben weniger als $16,4 \text{ cm}^3$ ergeben und wenn die Summe der Hohlräume oder Verunreinigungen die in der entsprechenden Kabelnorm festgelegte erlaubte Anzahl überschreitet, dann muss eine ausreichende Anzahl von

Scheiben der Probe untersucht werden, um insgesamt $16,4 \text{ cm}^3$ der Isolierung zu erreichen ($16,4 \text{ cm}^3 = 1 \text{ cubic inch}$).

- (iii) Der größte Hohlraum, die größte Eintrübung und die größte Verunreinigung im Werkstoff, die auf der Probe markiert sind, müssen mit einem Mikroskop mit mindestens 40-facher Vergrößerung gemessen werden. Es ist nur die größte Ausdehnung zu messen. Wenn Hohlräume, Verunreinigungen oder Eintrübungen die Grenzen, die in der entsprechenden Kabelnorm angegeben sind, überschreiten, erfüllt die Probe die Prüfanforderungen nicht.
- (iv) Die Berührungsfläche zwischen der Isolierung und den extrudierten Leitschichten (beide, die innere Leitschicht und die äußere Leitschicht) muss an den 20 Scheiben oder gleichwertigen Windungen ebenfalls mit 15-facher Vergrößerung untersucht werden. Wenn die Berührungsflächen zwischen den extrudierten Leitschichten und der Isolierung Pickel oder Unregelmäßigkeiten aufweisen, die die in der entsprechenden Kabelnorm festgelegten Grenzen überschreiten, gelten die Prüfanforderungen von der Probe als nicht erfüllt.

2.1.10.4 Verfahren 4 – Zählung der Hohlräume und Verunreinigungen in der Isolierung

Von der Isolierung wird eine 5 cm lange Probe entnommen.

Die Isolierung wird in dünne Scheiben geschnitten und im Durchlicht geprüft. Ungefähr 20 Scheiben müssen besonders bei Zweifelsfällen mit einer 15-fachen Vergrößerung untersucht werden.

Für die Zählung der Hohlräume und Verunreinigungen wird immer eine 15-fache Vergrößerung verwendet.

(a) Zählung:

- Jeder Hohlraum mit einem Durchmesser $\geq 50 \mu\text{m}$.
- Jede Verunreinigung, bei der die größte Abmessung $\geq 50 \mu\text{m}$ ist.

(b) Messung:

- Die Maße des größten Hohlraums und der größten Verunreinigung mit einer Vergrößerung ≥ 40 -fach.

(c) Auswertung:

- Die Anzahl der Hohlräume und Verunreinigungen, bezogen auf 10 cm^3 des Werkstoffs.

Wenn die Anzahl der Hohlräume und Verunreinigungen, bezogen auf 10 cm^3 des Werkstoffs, das vereinbarte Maß überschreitet und das Volumen der untersuchten Isolierung kleiner als 10 cm^3 ist, müssen weitere Untersuchungen gemacht werden, bis 10 cm^3 des Werkstoffs untersucht sind.

2.1.10.5 Verfahren 5 – Verfahren zur Untersuchung der Hohlräume, Verunreinigungen und verfärbten Partikel in einer VPE-Isolierung

Dieses Prüfverfahren dient zur Bestimmung vorhandener Diskontinuitäten an der Berührungsfläche der inneren/äußeren Leitschicht und der Anwesenheit von Verunreinigungen (Eintrübungen) und von verfärbten Partikeln in der Isolierung.

(a) Probenvorbereitung

Die Proben müssen aus einem 300 mm langen Aderstück aufbereitet werden. Die 25 mm langen Proben müssen von jedem Ende des Aderstücks abgeschnitten werden und ergeben die Proben A_1 und A_2 .

Die verbleibende Menge ist in zwei gleichlange Stücke zu schneiden und ergibt die Proben B und C .

Die äußere Leitschicht ist von der Probe B zu entfernen; sie ist in weitere Stücke zu schneiden, um die Proben B_1 und B_2 zu erhalten.

(b) Prüfverfahren zur Bestimmung der Diskontinuitäten

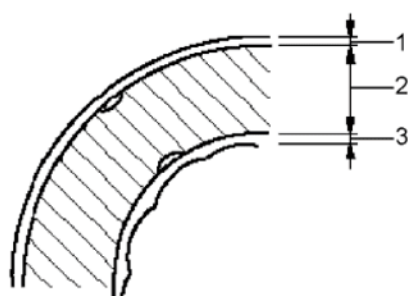
Die Proben A_1 und B_1 werden in Glyzerin oder Polyethylenglykol oder in eine gleichartige Flüssigkeit, die sich in einem Becherglas befindet und auf 130 °C bis 150 °C gehalten wird, gelegt oder es werden die Proben alternativ in einem Wärmeschrank bei der gleichen Temperatur erwärmt. Die Proben müssen ungefähr die Temperatur der Flüssigkeit oder der Luft erreichen, so dass die Isolierung durchsichtig wird.

Die Berührungsflächen und die Isolierung müssen bei gutem Licht mit normalem oder korrigiertem Sehvermögen ohne Vergrößerung untersucht werden.

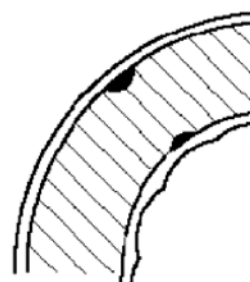
Die Berührungsflächen „innere Leitschicht/Isolierung“ und „äußere Leitschicht/Isolierung“ und die Isolierung der Probe A_1 sind durch Betrachten entlang der Leiterachse und durch Betrachten in radialer Richtung sowie die Berührungsfläche „innere Leitschicht/Isolierung“ und die Isolierung der zweiten Probe B_1 zu untersuchen.

Die innere und äußere Leitschicht müssen ohne Anzeichen von Ablösungen verbunden sein (siehe Bild 2.1.10.5 a)). Es dürfen keine auffindbaren Spuren von irgendwelchen Einschlüssen zwischen den Leitschichten und der Isolierung (siehe Bild 2.1.10.5 b)) sein. Der Isolierwerkstoff darf die Leitschicht nicht durchbrochen haben (siehe Bild 2.1.10.5 c)), noch darf irgendwelcher Isolierwerkstoff in die Leitschichten eindringen (siehe Bild 2.1.10.5 d)).

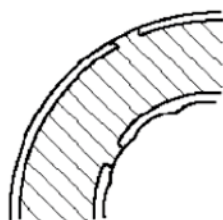
Die Prüfung ist für die übrig gebliebenen Proben A_2 und B_2 zu wiederholen.



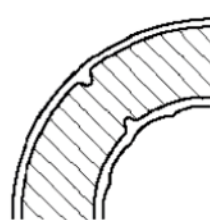
a) Ablösung zwischen Isolierung und innerer und äußerer Leitschicht



b) Einschlüsse zwischen Leitschicht und Isolierung



c) Durchbruch der Isolierung durch die Leitschicht



d) Durchbruch der Leitschicht in die Isolierung

Legende

1 äußere Leitschicht

3 innere Leitschicht

2 Isolierung

Bild 2.1.10.5 – Ablösung, Einschluss und Durchbruch

(c) Prüfverfahren zur Bestimmung von Verunreinigungen und verfärbten Partikeln

Durch Schneiden von Scheiben aus Probe C sind Proben für die Untersuchung herzustellen.

Mindestens 5 cm³ der Isolierung sind mittels auf einem Mikroskop basierenden Messsystems mit einer mindestens 20-fachen Vergrößerung zu untersuchen.

Gefordert werden:

- (i) Verunreinigungen
 - $0,05 \text{ mm} < \text{größte Abmessung} \leq 0,15 \text{ mm}$ – maximal 1 je cm^3
 - $0,15 \text{ mm} < \text{größte Abmessung}$ – abgelehnt
- (ii) Verfärbte Partikel
 - $1,25 \text{ mm} < \text{größte Abmessung}$ – abgelehnt

2.1.10.6 Verfahren 6 – Mikroskopische Untersuchung der Isolierung und der Leitschichten

(a) Anwendungsbereich

Produkt: VPE-isolierte Leiter, $U > 3 \text{ kV}$

Untersuchung: Extrusion der Isolierung

Probennahme: am Anfang und Ende jeder Extrusion und bei jedem Spulenwechsel, eine 10 cm lange Probe

Prüfeinrichtung: Stereomeßmikroskop, mit einem geeigneten Bereich der Vergrößerung

(b) Untersuchungsverfahren

Von einer Probe ausreichender Länge ist eine entsprechende Anzahl an Scheiben (Dicke ungefähr 1 mm) von mindestens 10 cm^3 der Isolierung für die nachfolgenden Untersuchungen abzuschneiden.

- (i) Alle Scheiben sind, um die größten Defekte in der Isolierung und dem Kontaktbereich der Leitschichten und der Isolierung zu finden, mit Durchlicht zu betrachten.
- (ii) Alle Scheiben müssen dann mit einer mindestens 15-fachen Vergrößerung mit Durchlicht untersucht werden, um Defekte in der Isolierung und dem Kontaktbereich der Leitschichten und der Isolierung zu finden.

Die Defekte in der Isolierung werden in 3 Typen eingeteilt:

- Hohlräume;
- Verunreinigungen (undurchsichtige Verunreinigungen und inhomogen vernetzte Polyethylenpartikel);
- Eintrübungen, farbveränderte Polyethylenpartikel.

Die Unregelmäßigkeiten im Kontaktbereich der Leitschichten und der Isolierung werden folgenderweise eingeteilt:

- Hohlräume;
- Überstände;
- Riefen;
- Eindrücke/Riefen.

- (iii) Alle gefundenen Defekte und Regelmäßigkeiten in der Isolierung und dem Kontaktbereich der Leitschichten und der Isolierung sind durch Einkreisen zu markieren, zu nummerieren und zu tabellieren. Sie müssen ebenfalls berechnet werden.
- (iv) Der größte Defekt und die größte Unregelmäßigkeit müssen mit mindestens 40-facher Vergrößerung gemessen werden. Das größte Maß (d) muss bei jedem Defekt protokolliert werden.

Die Anforderungen für die Defekte und Unregelmäßigkeiten sind in den entsprechenden Normen angegeben.

2.1.11 Maße der Adern

2.1.11.1 Verfahren 1 – VPE-isolierte Adern für Kabel mit einer Nennspannung U_0/U 6/10 kV bis 18/30 kV

(a) Anwendungsbereich

Diese Prüfung legt die Bestimmung der Wanddicken von Leitschichten und Isolierung, der Durchmesser über der Isolierung und der äußeren Leitschicht ebenso wie die Rundheit von VPE-isolierten Adern mit Rundleitern von Starkstromkabeln mit einer Nennspannung U_0/U 6/10 kV bis 18/30 kV fest.

(b) Messeinrichtung

Ein Messmikroskop oder ein Profilprojektor mit mindestens 10-facher Vergrößerung und drehbarer Halteeinrichtung für die Proben, die eine Ablesung auf 0,01 mm erlauben müssen.

(c) Vorbereitung der Proben

Zur Prüfung muss eine Probe von den beiden Enden des zu prüfenden Kabels entnommen werden. Alle Kabelelemente über der Kabelader müssen von der Probe entfernt werden. Der Leiter darf entfernt werden. Im Zweifelsfall ist die Messung mit Leiter durchzuführen. Die vorbereiteten Proben sind vertikal zur Längsachse zu schneiden, und die Schnittfläche der Ader ist so vorzubereiten, dass die Grenzen der zu prüfenden Einzelelemente klar erkennbar sind. Die Proben müssen in die drehbare Haltevorrichtung des Messgeräts (b) gebracht werden, so dass die Oberfläche vertikal zur optischen Achse der Messeinrichtung steht.

(d) Messdurchführung

Die Messungen der Wanddicken und Durchmesser werden, von der dünnsten Stelle der Isolierhülle ausgehend, in 60°-Schritten entlang des Umfangs durchgeführt (siehe Bild 2.1.11.1 a)). Damit ergeben sich für jede Probe je sechs Wanddickenmesswerte und je drei Durchmesser messwerte der Isolierhülle und der äußeren Leitschicht. Bei Proben, die nicht auf einmal erfasst werden können, ist es zulässig, die Werte durch Addition von Teilmaßen zu bilden.

Zeigt die äußere Oberfläche der äußeren Leitschicht Unebenheiten, so wird bis zur halben Höhe dieser Unebenheiten gemessen und das Fadenkreuz nach Bild 2.1.11.1 b) ist anzulegen. Bei der Messung der inneren Leitschicht bei mehrdrähtigen Leitern ist die Wanddicke an der dünnsten Stelle zu messen. Das Fadenkreuz der Messeinrichtung ist nach Bild 2.1.11.1 c) oder Bild 2.1.11.1 d) anzulegen.

(e) Auswertung der Messergebnisse

(i) Wanddicke der inneren Leitschicht

Die Einzelwerte für die Wanddicke der inneren Leitschicht müssen sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 2 und 3 sowie 4 und 5 ergeben, nach Bild 2.1.11.1 a). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn der in der Norm für Starkstromkabel festgelegte Mindestwert von keinem der sechs ermittelten Werte unterschritten wird.

(ii) Wanddicke der Isolierhülle

Die Einzelwerte der Wanddicke der Isolierhülle müssen sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 1 und 2 sowie 5 und 6 ergeben, nach Bild 2.1.11.1 a). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn keiner der sechs ermittelten Werte den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Mindestwert unterschreitet und wenn der Mittelwert aus den sechs ermittelten Werten den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Nennwert nicht unterschreitet.

(iii) Gleichmäßigkeit der Wanddicke der Isolierhülle

Die Einzelwerte für die Wanddicke der Isolierhülle müssen sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 1 und 2 sowie 5 und 6 ergeben, nach Bild 2.1.11.1 a). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Wert der sechs ermittelten Werte den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Höchstwert nicht überschreitet.

(iv) Durchmesser der Isolierhülle

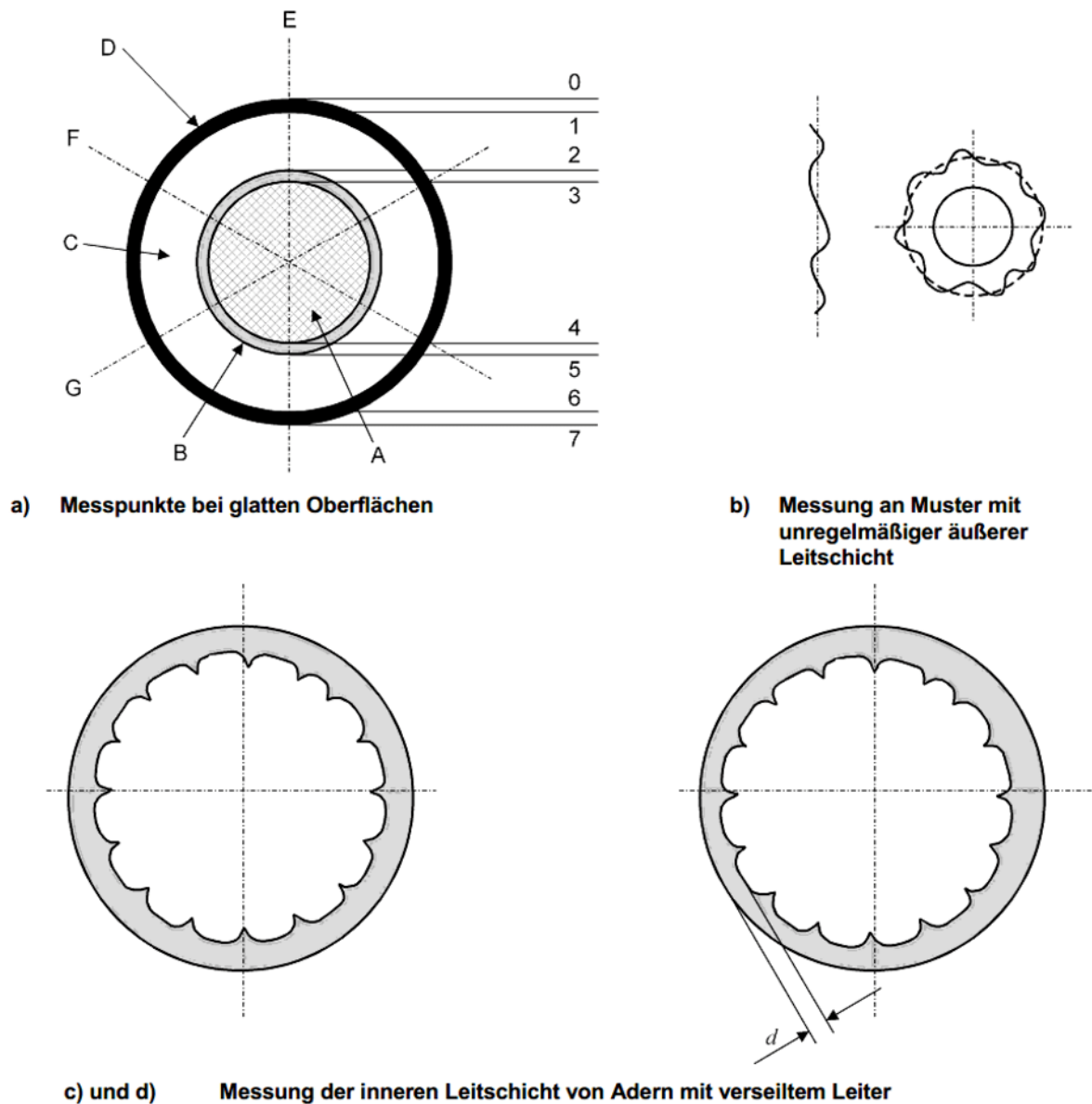
Die Einzelwerte für die Durchmesser der Isolierhülle müssen sich aus dem Maß zwischen den Messpunkten 1 und 6 ergeben, nach [Bild 2.1.11.1 a](#)). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn der Mittelwert aus den drei ermittelten Werten den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Mindestwert nicht unterschreitet oder den Höchstwert nicht überschreitet.

(v) Wanddicke der äußeren Leitschicht

Die Einzelwerte für die Wanddicke der äußeren Leitschicht müssen sich aus den Maßen der Messpunkte 0 und 1 sowie 6 und 7 ergeben, nach [Bild 2.1.11.1 a](#)). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn keiner der ermittelten sechs Werte den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Mindestwert unterschreitet oder den Höchstwert überschreitet.

(vi) Rundheit der Ader

Die Einzelwerte für die Durchmesser über der äußeren Leitschicht müssen sich aus dem Maß zwischen den Messpunkten 0 und 7 ergeben, nach [Bild 2.1.11.1 a](#)). Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Differenz zwischen dem größten und kleinsten Wert aus den drei ermittelten Werten den in der Norm für Starkstromkabel festgelegten Höchstwert nicht überschreitet.



Legende

A	Leiter	D	äußere Leitschicht
B	innere Leitschicht	E, F, G	Messpunkte
C	Isolierung		

Bild 2.1.11.1 – Einzelheiten zur Messung

2.1.11.2 Verfahren 2 – Ovalität der verbundenen äußeren Leitschicht

(a) Probennahme

Von jedem Ende der Kabellänge wird ein Stück entnommen. Äußere Teile über der äußeren Leitschicht werden entfernt.

(b) Verfahren

In der gleichen Ebene senkrecht zur Längsachse der Ader wird der Durchmesser über der äußeren Leitschicht an drei Stellen, $\pm 120^\circ$ voneinander entfernt, gemessen.

Die Messungen werden mit einem Messmikroskop, einer Messschraube oder einem anderen Gerät, das eine Genauigkeit von 0,01 mm erlaubt, durchgeführt.

Begonnen wird am kleinsten Durchmesser.

Wenn Unregelmäßigkeiten vorhanden sind, wird die Messung auf halber Tiefe der Unebenheit durchgeführt.

(c) Anforderungen

Die Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Durchmesser darf 1,0 mm nicht überschreiten.

2.1.11.3 Verfahren 3 – Dicke der Leitschichten

Der Leiter und jede äußere Umhüllung der Ader sind sehr vorsichtig zu entfernen, ohne dabei die Leitschichten zu verletzen.

Mit einem scharfen Messer oder einer scharfen Klinge wird senkrecht zur Leiterachse eine dünne Scheibe abgeschnitten.

Mit Hilfe eines Mikroskops, das eine Empfindlichkeit von 0,01 mm hat (und bei dem die dritte Dezimalstelle nach dem Komma bei Messungen von Dicken unter 0,5 mm bestimmt werden kann), oder eines Projektors mit einer 10-fachen Vergrößerung (jedoch im Zweifelsfalle ist nur das Mikroskop erlaubt) werden radial sechs Messungen durchgeführt, vorzugsweise im gleichen Abstand entlang des Umfanges.

Bei der inneren Leitschicht müssen die sechs Messungen im dünnsten Bereich der Schicht über den Eindruckstellen der Drähte vorgenommen werden.

Die Ablesungen, in mm ausgedrückt, werden auf zwei Dezimalstellen nach dem Komma vorgenommen. Wenn die Dicken der Leitschicht kleiner als 0,5 mm sind, muss die Ablesung auf drei Dezimalstellen durchgeführt werden.

Bei jeder Probe entspricht der Mittelwert der sechs Messungen der Dicke der Schicht.

2.1.12 Wanddicke des Mantels und Dicke der Bewehrung

2.1.12.1 (freibleibend)

2.1.12.2 Verfahren 2 – Messungen der Abmessungen der Bewehrung

Siehe [2.1.4.3](#).

2.1.12.3 Verfahren 3 – Messungen der Abmessungen der Bewehrung

Siehe [2.1.4.3](#).

2.1.13 Maße des Leiters

2.1.13.1 Masse des Leiters einer Einheitslänge

Ein Stück des Leiters, ungefähr 1 m lang, muss von einer Kabelader entnommen und geradegebogen werden. Die Länge der Probe ist mit einer Grenzabweichung nicht über ± 1 mm zu messen.

Das Leiterstück ist mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 0,1$ % zu wiegen und die Masse je Längeneinheit, ausgedrückt in g/m, durch Runden auf die erste Dezimalstelle zu bestimmen.

2.1.13.2 Verfahren 1 – Leiterdurchmesser

An einem einzelnen Leiterstück, das an den Enden geeignet abgebunden ist, um ein Aufkorben der Drähte zu verhindern, ist der Durchmesser des Rundleiters nach **EN 60811-203** zu messen; dabei werden 2 Messungen mit einer Genauigkeit von 0,05 mm rechtwinklig zueinander vorgenommen.

Der Mittelwert gilt als Leiterdurchmesser.

2.1.13.3 Verfahren 2 – Leiterdurchmesser

Siehe 2.1.13.2.

2.1.14 Messung der Dicke des Metallmantels

Siehe 2.1.5.

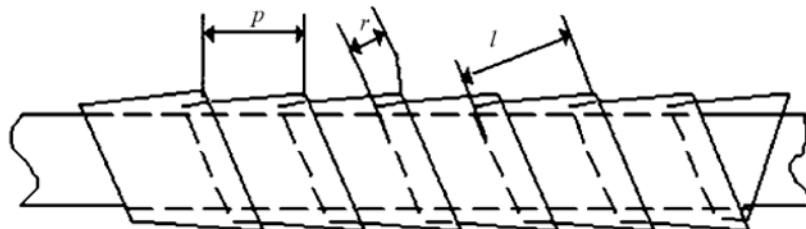
2.1.15 Messung der Überlappung des Schirms oder der Bewehrungsbänder

Eine gerade Probe des Kabels von ausreichender Länge wird entnommen und die Enden werden durch Abbinden fixiert; zwischen diesen Befestigungen werden die Umhüllungen außerhalb des Schirms oder der Bewehrungsbänder entfernt.

Mit einer feinen Spitze (Stift, Reißnadel usw.) werden die Grenzen der Bänder l über der inneren sichtbaren Schicht des Bandes angezeichnet.

Die Bänder werden abgewickelt und der Abstand zwischen den Linien und den Rändern (r , r_1 , r_2) gemessen.

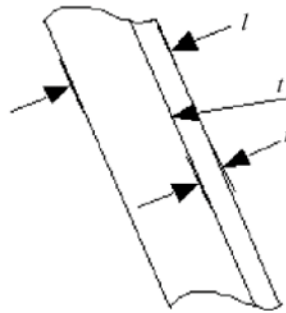
(a) Ein Band mit Überlappung



Legende

p	Schlaglänge der Bandierung	r	Überlappung
l	Bandbreite		

Bild 2.1.15 (a) – Begrenzungen zur Bestimmung der Überlappung



Legende

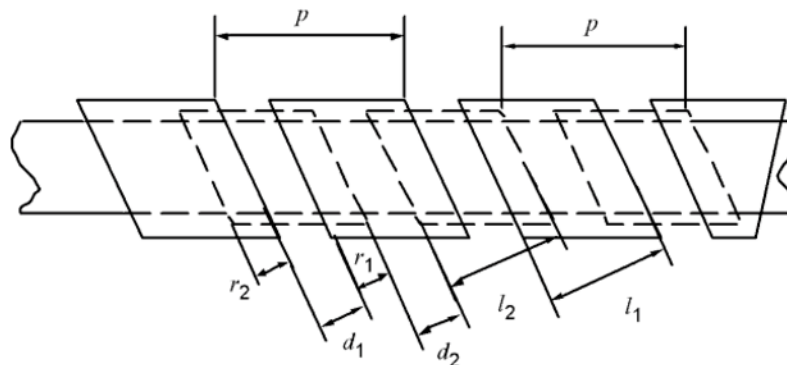
t Reißnadellinie

r Überlappung

l Bandbreite

Bild 2.1.15 (b) – Abgewickeltes Band mit Markierungen

(b) Zwei Bänder mit Lücke und Lückenüberdeckung:



Legende

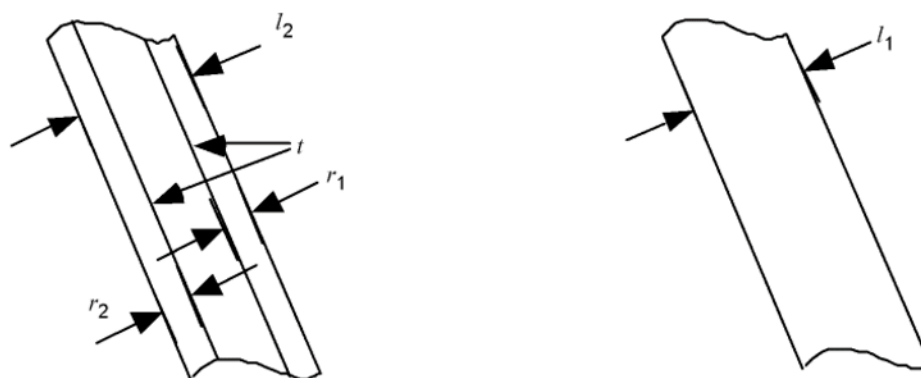
p Schlaglänge der Bandierung

r_1 und r_2 Überlappungen

l_1 und l_2 Breiten der Bänder

d_1 und d_2 Lücken

Bild 2.1.15 (c) – Beispiel für Markierungen bei zwei Bändern mit Stoßfuge



Legende

t	Reißnadellinien	r_1 und r_2	Überlappungen
l_1 und l_2	Breiten der Bänder		

Bild 2.1.15 (d) – Bänder mit innerer und äußerer Spur

Wenn die Überlappung oder die Stoßfuge als Prozentsatz ausgedrückt ist, ist sie mit folgenden Formeln zu ermitteln:

a) $R = 100 \frac{r}{l}$

b) $R = 200 \frac{r_1 + r_2}{l_1 + l_2}$

$$D_1 = 100 \frac{d_1}{l_1}$$

$$D_2 = 100 \frac{d_2}{l_2}$$

2.2 Mechanische Prüfungen an nichtmetallinen Aufbauelementen

2.2.1 Härteprüfung nach Shore D am PE-Mantel

(a) Prüfeinrichtung

- „Härteprüfgerät nach Shore D“ mit ergänzender Vorrichtung, bei der die Prüfeinrichtung festgeklemmt werden kann und die ein Andrücken mit einer Kraft von 50 N gestattet;
- Eindringkörper;
- Auflage für Kabelproben (siehe Bild 2.2.1);
- Stahlrahmen mit den Maßen von etwa 75 mm × 75 mm × 6,5 mm;
- beheizbare Presse zum Herstellen von Prüfplatten;
- Thermometer.

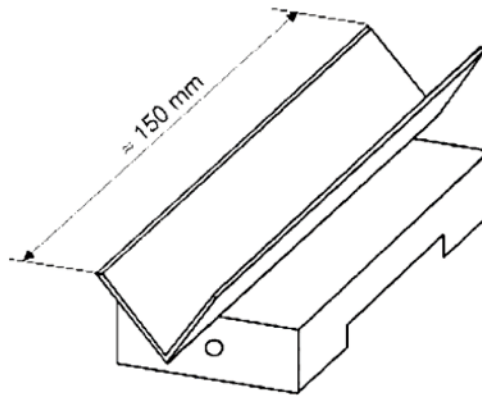


Bild 2.2.1 – Auflage für Kabelproben

b) Prüfverfahren A (Prüfung am Kabel)

Prüfen der Härte des Mantels an Kabelproben mit einem Außendurchmesser > 20 mm und einer Mantelwanddicke > 2 mm.

- (i) Probenentnahme – Eine Probe von etwa 200 mm Länge wird dem zu prüfenden Kabel entnommen. Die Probe ist so auszuwählen, dass sie keinerlei Krümmungen aufweist. Die Oberfläche des Mantels muss glatt und riefenfrei sein.
- (ii) Vorbereitung der Prüfung – Nach der Entnahme der Probe aus dem Kabel wird sie für mindestens 16 h bei einer Temperatur von $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ gelagert.
- (iii) Die Probe wird so auf die Auflage gelegt, dass sie gleichmäßig aufliegt und bei Beleuchtung von der Rückseite darf kein Licht zwischen dem Eindringkörper und der Oberfläche des Mantels hindurchscheinen.
- (iv) Prüfverfahren – Die Prüfung wird bei einer Temperatur von $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ mit der Prüfeinrichtung und dem Eindringkörper nach 2.2.1 (a) durchgeführt. Die Härte muss 3 s nach der Berührung zwischen der Auflagefläche des Härteprüfgeräts und der Probe abgelesen werden.
Die Prüfung wird auf einer Mantellinie an 4 und auf der diametral entgegengesetzten Linie an 3 etwa 20 mm voneinander entfernten Stellen durchgeführt. Die gemessenen Werte müssen auf ganze Zahlen gerundet werden.
- (v) Auswertung – Die Prüfung gilt als bestanden, wenn der Median aus den 7 Messungen nicht unterhalb des im Hauptabschnitt angegebenen Mindestwerts liegt.

Die am Kabelmantel bestimmte Shorehärte D kann nicht als Materialkoeffizient betrachtet werden. Im Zweifelsfall muss das Verfahren B angewendet werden.

(c) Prüfverfahren B (Prüfung an Prüfplatten)

Prüfen der Härte des Mantelwerkstoffs für Kabel mit einem Außendurchmesser ≤ 20 mm und einer Wanddicke des Mantels ≤ 2 mm.

- (i) Probenentnahme – Der Mantelwerkstoff wird zerkleinert und in die Presse entsprechend (a) gegeben. Es darf auch unverarbeitetes Granulat des Mantelwerkstoffs verwendet werden.

In der Presse entsprechend (a) wird der Werkstoff bei einer Temperatur von $(180^{+3}_0) ^\circ\text{C}$ im Stahlrahmen zu einer Platte geformt. Zuerst wird der Werkstoff innerhalb von 5 min ohne Druck auf die vorgegebene Temperatur erwärmt. Danach wird er mit einem Druck von 20 MPa innerhalb von 5 min geformt.

Die Dicke der Platte muss mindestens 6 mm betragen, und die Oberflächen müssen so eben und glatt wie möglich sein.

Hergestellt werden zwei Platten, die nach der Entnahme aus der Presse mindestens 5 min in Wasser abgekühlt werden. Danach werden sie weiter bei Raumtemperatur abgekühlt. Diese Proben müssen bei $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ mindestens 16 h gelagert werden.

- (ii) Durchführung – Die Prüfung wird an beiden Proben durchgeführt. Hierbei werden an einer Probe 4 Messungen und an der anderen Probe 3 Messungen durchgeführt.
- (iii) Auswertung – Die Messwerte müssen auf ganze Zahlen gerundet werden. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn der Median aus den 7 Messungen nicht unterhalb des in den Hauptabschnitten angegebenen Mindestwerts liegt.

2.2.2 Bestimmung des Weiterreißwiderstands des Mantels

2.2.2.1 Verfahren 1

(a) Prinzip

Die Prüfung beinhaltet die Messung der erforderlichen Kraft für den Beginn eines Risses in einer Probe, das einen Winkel von 90° einschließt.

Die zum Beginnen des Reißens erforderliche Kraft, bezogen auf Wanddicke in mm, gilt als Weiterreißwiderstand des Mantels.

(b) Probestück

(i) Probenentnahme

Die Proben werden aus dem Mantelwerkstoff hergestellt, die über eine Länge von mindestens 1 m an drei Stellen entnommen wurden. Im Falle vernetzter Werkstoffe wird die Probenentnahme frühestens 3 Tage nach der Herstellung durchgeführt. Jede schlauchförmige Probe wird entlang zweier Längslinien aufgetrennt, so dass zwei zylindrisch gewölbte Abschnitte von 120 mm oder mehr in der Länge und mindestens 34 mm Breite gebildet werden.

Diese Platte wird dann geschliffen oder so zurechtgeschnitten, dass ein Streifen mit ebenen und parallelen Oberflächen von mindestens 1 mm Dicke entsteht.

Beim Schleifen ist darauf zu achten, dass es zu keiner Überhitzung kommt.

(ii) Vorbereitung der Probe

Unter Verwendung eines Stanzwerkzeugs mit einer Form, wie in Bild 2.2.2.1 dargestellt, werden drei Proben aus dem so erhaltenen Streifen geschnitten.

Maße in Millimeter

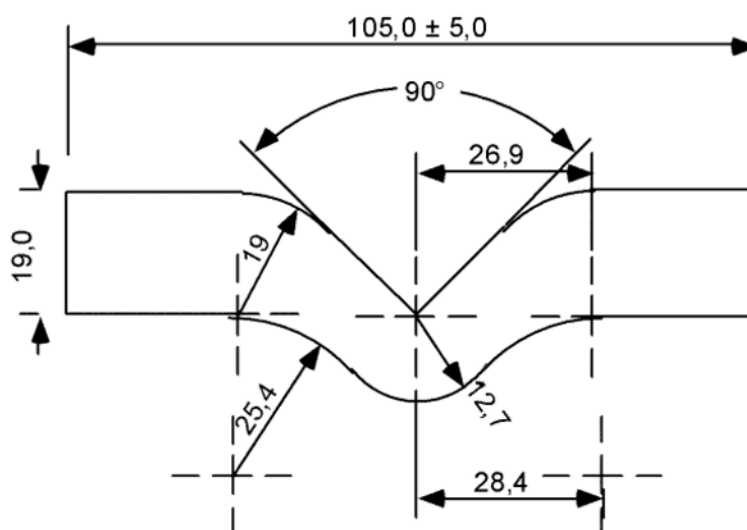


Bild 2.2.2.1 – Probe für das Verfahren 1 der Prüfung des Weiterreißwiderstands

(iii) Bestimmung der Dicke

Unter Verwendung einer Messschraube oder eines ähnlichen Messgeräts werden bei einem Druck von höchstens 0,07 MPa an drei Stellen entlang der rechtwinkligen Biegung Messungen durchgeführt, deren Mittelwert als Dicke der Probe gilt.

(iv) Konditionierung der Proben

Vor der Prüfung werden die Proben mindestens 16 h bei einer Temperatur von $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ aufbewahrt.

(c) Prüfverfahren

Die Probe wird so auf einem Dynamometer befestigt, dass die Mittellinie der Enden der Probe mit der Zugachse zusammenfällt und der Abstand zwischen den Klemmbacken 60 mm beträgt.

Hinsichtlich Größe und Form müssen die Klemmbacken so beschaffen sein, dass es weder zur Beschädigung noch zum Rutschen der Probe kommen kann.

Das Kraftmesssystem muss einen maximalen Messfehler von höchstens 1 % aufweisen. Der Messbereich des Systems muss so beschaffen sein, dass die Messung zwischen 10 % und 90 % des Skalenbereichs vorgenommen werden kann, gleichgültig, um welche Probe es sich handelt.

Bei einer auf 50 mm/min eingestellten Geschwindigkeit wird die Belastung aufgebracht. Beim Reißen der Proben wird die durch die Maschine aufgezeichnete größte Kraft abgelesen.

(d) Auswertung

Der Mittelwert der drei Ergebnisse, bezogen auf 1 mm Dicke der Proben, bildet den Weiterreißwiderstand, der in N/mm ausgedrückt wird.

2.2.2.2 Verfahren 2

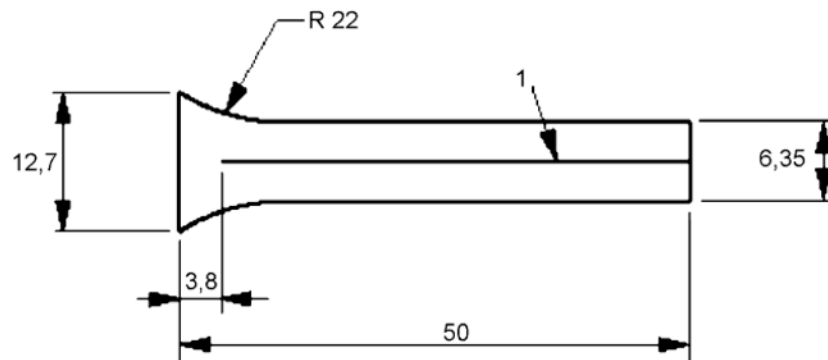
(a) Allgemeines

Dieses Prüfverfahren dient zur Bestimmung des Weiterreißwiderstands von Mantelwerkstoffen.

Der Weiterreißwiderstand muss entlang der Richtung der Kabelachse und, wo dies möglich ist, im rechten Winkel in Richtung des Kabelumfangs gemessen werden.

(b) Vorbereitung der Proben

Es werden sechs Proben vorbereitet, mit den Maßen, wie in [Bild 2.2.2.2](#) dargestellt, sowie einer Dicke von nicht mehr als 4,0 mm und nicht weniger als 1,0 mm. Mit Hilfe eines scharfen Messers oder Stanzwerkzeugs werden diese Proben, vorzugsweise entlang der Richtung der Kabelachse, aus Abschnitten des Mantels herausgeschnitten, von dem alle eventuell vorhandenen Unregelmäßigkeiten durch Schleifen oder Schneiden entfernt worden sind. Mit einer scharfen Rasierklinge wird ein zentraler Längsschnitt senkrecht zur Breite der Proben bis zu einem Punkt gezogen, der 3,8 mm vom breiteren Ende entfernt liegt.



Legende

1 Schnitt

Bild 2.2.2.2 – Probe für den Weiterreißwiderstand nach Verfahren 2

(c) Konditionierung der Proben

Vor dem Beginn der Prüfung sind die Proben mindestens 3 h bei der Temperatur aufzubewahren, bei der die Prüfung durchzuführen ist; die $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ betragen muss, wobei die Prüfung innerhalb von 5 min nach der Entnahme aus dem Konditionierungsraum zu beginnen ist.

(d) Verfahren

Jede Probe wird wie folgt geprüft. Es werden die Hälften der aufgetrennten Enden in die Klemmbacken einer Zugprüfmaschine eingeklemmt und die Klemmbacken mit einer Geschwindigkeit zwischen 350 mm/min und 500 mm/min auseinanderbewegt.

(e) Auswertung

Der Weiterreißwiderstand wird bestimmt, indem die höchste, zum Zerreißen des Abschnittes erforderliche Kraft, in Newton, durch die Dicke der Probe in mm dividiert wird. Die Ergebnisse werden nach aufsteigenden Werten geordnet, und der Mittelwert der beiden mittleren Werte gilt als Weiterreißwiderstand.

2.2.3 Druckprüfung

(a) Probenentnahme

Es sind aus dem Kabel 4 Proben mit einer Mindestlänge von 0,5 m herauszuschneiden.

(b) Prüfung bei Umgebungstemperatur

Auf einer Stützplatte werden zwei Metallzylinder von 10 mm Durchmesser parallel zueinander mit einem Abstand von 30 mm zwischen den Achsen angeordnet. Zwei Kabelproben werden dann quer und im rechten Winkel zu den Metallzylindern darübergelegt. Über jeder Probe wird eine 100 mm lange Halbschale mit einem Innendurchmesser annähernd gleich dem Kabelaußendurchmesser angeordnet.

Die Halbschalen werden jeweils mit einem Gewicht gleich dem Betrag von $0,7 D$ in daN belastet (wobei D der Kabelaußendurchmesser in mm ist). Die Proben müssen mechanisch für 4 h belastet und auch für diese Zeit unter Spannung entsprechend der Festlegung in (d) gehalten werden.

(c) Prüfung bei 65 °C

Bei Anwendung des in (b) angegebenen Verfahrens werden die verbleibenden zwei Proben mit einem Gewicht gleich dem Betrag von $0,5 D$ (D ist der Kabelaußendurchmesser in mm) belastet und in einer Wärmekammer bei 65 °C für 4 h angeordnet. Die Proben werden dann aus der Wärmekammer genommen und sind innerhalb 1 h der 4-h-Spannungsprüfung zu unterziehen, wie sie in (d) festgelegt ist.

(d) Anlegen der Spannung

Es ist eine Wechselspannung von 2,5 kV zwischen dem(n) Leiter(n) und dem konzentrischen Leiter anzulegen.

2.2.4 Wärmedruckprüfung an der Isolierhülle und am Mantel

(a) Probenentnahme

Es sind drei Proben mit einer Länge von 40 mm an den beiden Enden eines Kabels zu entnehmen, das eine Länge von 1,25 m aufweist.

(b) Vorbereitung der Proben

Die Prüfungen der Isolierhülle von sektorförmigen Adern werden an Streifen durchgeführt. Die Streifen, die so breit wie möglich sein müssen, werden im bogenförmigen Abschnitt auf der Isolierhülle parallel zur Leiterachse entnommen.

Die Streifen werden durch einen Stab oder ein Metallrohr unterstützt, das parallel zur Achse angebracht werden kann, um die Stütze stabiler zu gestalten. Der Radius des Stabes (oder des Metallrohres) muss in etwa der gleiche wie der Innenradius der Isolierhülle auf dem bogenförmigen Abschnitt der sektorförmigen Ader sein.

Die Schneide muss senkrecht zur Achse der Spitze oder des Metallrohrs stehen.

(c) Erwärmung der belasteten Proben

Die Prüfung muss in Luft oder in Wasser wenigstens 16 h nach der Extrusion durchgeführt werden.

Die Isolierhülle von Adern mit einem Leiternennquerschnitt größer als 35 mm^2 wird in Luft geprüft. Das Prüfgerät, die Spitze (oder das Metallrohr) müssen so lange vorgewärmt werden, bis sie die Prüftemperatur erreichen.

(d) Berechnung der Druckkraft

Die Berechnung erfolgt nach **EN 60811-508** für Isolierhüllen oder für Mäntel mit $k = 0,8$.

(e) Abkühlen der belasteten Proben

Wenn die Prüfung in einem Wasserbad ausgeführt wird, müssen die Proben über die Wasseroberfläche angehoben (oder der Wasserstand bis unter die Proben gesenkt) werden, und die Proben sind durch kaltes Wasser abzukühlen.

Die Leistung der Heizelemente muss so ausgelegt sein, dass die Prüfung der größten Adern möglich ist.

2.2.5 Bestimmung der Härte von elastomeren Isolierhüllen und Mänteln

Die Härte von elastomeren Isolierhüllen und von Mänteln ist nach ISO 48 zu bestimmen.

2.2.6 Prüfungen des Zugmoduls

2.2.6.1 Prüfung des Zugmoduls bei Umgebungstemperatur

Die Zugfestigkeit ist mit dem in EN 60811-501 angegebenen Zugfestigkeitsprüfverfahrens bei Umgebungstemperatur und 150 % Dehnung, sofern nichts anderes festgelegt ist, zu bestimmen.

Der Wert des Zugmoduls in N/mm^2 ist zu berechnen und er muss mit den Daten in den Hauptabschnitten übereinstimmen.

2.2.6.2 Prüfung des Zugmoduls bei erhöhter Temperatur

Mit dem in EN 60811-501 angegebenen Zugfestigkeitsverfahren ist die Zugfestigkeit bei 100 % Dehnung zu bestimmen.

Proben mit einer Mindestdicke von 2 mm müssen für 15 min bei 130 °C konditioniert werden, bevor sie auf einer Zugprüfmaschine bei derselben Temperatur geprüft werden.

Der Wert des Zugfestigkeitsmoduls in N/mm^2 ist zu berechnen und er muss mit den im Hauptabschnitt angegebenen Daten übereinstimmen.

2.2.7 (freibleibend)

2.2.8 Abziehbarkeitsprüfung an extrudierten Leitschichten

2.2.8.1 Verfahren 1

Diese Prüfung ist durchzuführen, wenn der Hersteller den Anspruch erhebt, dass die extrudierte äußere Leitschicht abziehbar ist.

Die Prüfung ist dreimal auszuführen, entweder mit drei unterschiedlichen Kabelstücken oder an einem Kabelstück an drei Stellen auf dem Umfang, die ungefähr 120° versetzt sind.

Es sind Adern von mindestens 250 mm Länge aus dem zu prüfenden Kabel zu entnehmen.

Zwei Schnitte sind in die extrudierte äußere Leitschicht jeder Probe auszuführen, längs von einem zum anderen Ende und radial bis auf die Isolierung. Die Schnitte sind (10 ± 1) mm voneinander entfernt und parallel zueinander.

Nachdem der 10-mm-Streifen auf ungefähr 50 mm Länge parallel zur Ader (d. h. in einem Abzugswinkel von ungefähr 180°) abgezogen wurde, ist die Ader senkrecht in eine Zugprüfmaschine einzuspannen; dabei wird ein Ende der Ader in der einen Halterung gehalten und der 10-mm-Streifen in der anderen.

Es ist die Kraft zu messen, um den 10-mm-Streifen von der Isolierung abziehen, mindestens über eine Länge von 100 mm, bei einem Abzugswinkel von ungefähr 180° mit einer Ziehgeschwindigkeit von (250 ± 50) mm/min.

Die Prüfung ist bei einer Temperatur von (20 ± 5) °C durchzuführen.

Für ungealterte und gealterte Muster sind die Werte der Abzugskraft kontinuierlich aufzuzeichnen.

2.2.8.2 Verfahren 2

2.2.8.2.1 Prüfprinzip

Die Prüfung besteht aus der Messung der notwendigen Kraft, um von der Isolierung von einer Länge von wenigstens 50 mm einen Streifen der Leitschicht durch axiales Ziehen in 180°-Richtung von der Anfangsposition abzuziehen.

2.2.8.2.2 Probenvorbereitung

Die Anzahl der Prüfmuster ist im Hauptabschnitt festgelegt. Die Probe ist ungefähr 150 mm lang und wird wie folgt vorbereitet:

Ein Streifen des Prüflings, der aus der Isolierung und der inneren und äußeren Leitschicht besteht, 150 mm lang und (10 ± 1) mm breit, die Breite wird an der Seite der äußeren Leitschicht gemessen, wird vom Kabel entnommen.

Diesen Streifen erhält man einfach durch Schneiden mit einem Messer in Längsrichtung mit ausreichender Tiefe, um auch die innere Leitschicht durchzuschneiden.

An diesem Streifen wird die Leitschicht vor der Prüfung per Hand auf ungefähr 100 mm von der gesamten Länge abgetrennt, so dass die Isolierung und die Leitschicht noch auf 50 mm Länge aneinander haften bleiben, wie im Bild 2.2.8.2 dargestellt.

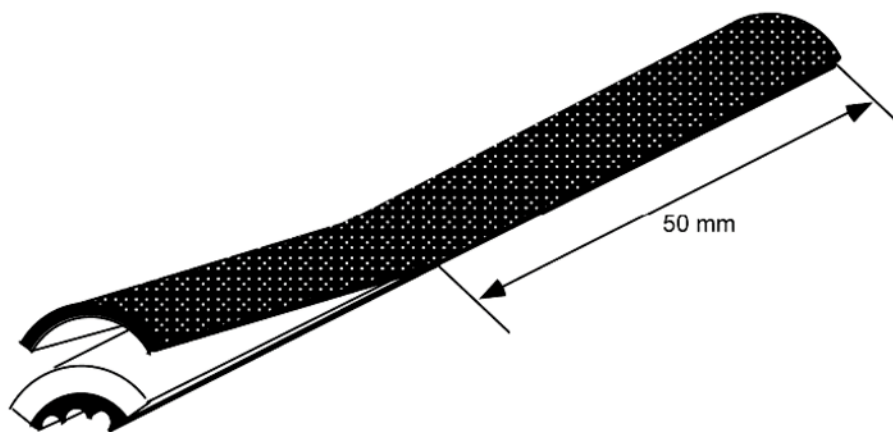


Bild 2.2.8.2 – Abziehlängen

Die Isolierung des Kabels darf am losen Ende geschnitten werden, um die Befestigung in den Klemmbanken der Zugprüfmaschine zu erleichtern.

2.2.8.2.3 Prüfbedingungen und Verfahren

Die Prüfung ist bei 0 °C und/oder 20 °C und/oder 40 °C mit einer Grenزابweichung von ± 2 °C wie im Hauptabschnitt festgelegt durchzuführen.

Die Probe wird in die Zugprüfmaschine eingespannt, die Isolierung wird in eine Klemmbanke der Vorrichtung geklemmt und die äußere Leitschicht, gebogen um 180° um sich selbst, wird in die andere Klemmbanke eingeklemmt.

Die Vorrichtung wird dann entweder in eine Kühlkammer oder in einen Ofen gebracht, so lange, bis die Temperatur auf dem für die Prüfung festgelegten Wert stabil bleibt und nicht weniger als 10 min.

Der Streifen der Leitschicht wird mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min abgezogen.

2.2.8.2.4 Messungen

Die erforderliche Kraft zum Ablösen der Leitschicht von der Isolierung wird in Abhängigkeit vom Abstand zwischen den Klemmbacken der Zugprüfmaschine kontinuierlich aufgezeichnet. Der Spitzenwert F_c , der am Anfang der Prüfung erhalten wurde (Höchstwert), und der Wert F , der in der stabilen Phase erhalten wurde, werden aufgezeichnet und auf einen Wert, bezogen auf die Streifenbreite von 10 mm, umgerechnet:

$$F'_c = \frac{F_c \times 10}{I_1} \quad F' = \frac{F \times 10}{I_1}$$

Dabei ist I_1 die aktuelle Breite der Probe (in mm gemessen) nach der Prüfung mit einer Grenzabweichung von 0,1 mm.

Zwei Diagramme sind möglich:

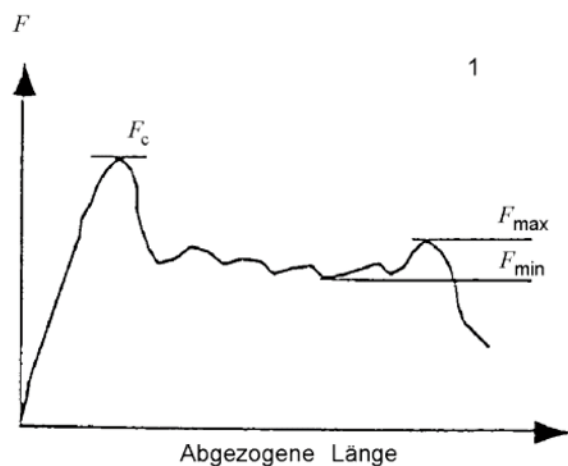
- 1) Mit einem Spitzenwert F_c am Anfang der Prüfung:

$$F = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$$

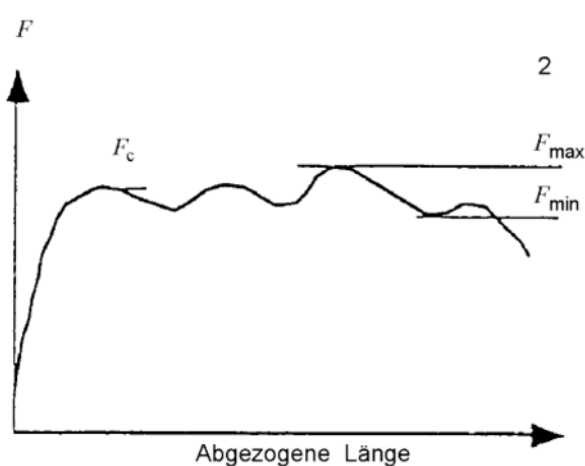
In diesem Fall ist das Ergebnis gleichwertig zu dem Mittelwert des Mindest- und Höchstwerts nach dem Spitzenwert und wenigstens nach dem Abziehen von 1 cm bis 2 cm der Streifenlänge (das Ende der Prüfung bleibt unberücksichtigt).

- 2) Ohne Spitzenwert am Anfang der Prüfung:

$$F = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$$



Abgezogene Länge zwischen äußerer Leitschicht und Isolierung



Abgezogene Länge zwischen äußerer Leitschicht und Isolierung

Bild 2.2.8.2.4 – Diagramme

2.2.8.2.5 Anforderungen

Der Medianwert der Prüfergebnisse muss mit den Anforderungen im Hauptabschnitt übereinstimmen.

2.2.8.3 Verfahren 3

Siehe 2.2.8.2.

2.2.8.4 Verfahren 4

Siehe [2.2.8.1](#).

2.2.8.5 Verfahren 5

Siehe [2.2.8.1](#).

2.2.8.6 Verfahren 6

Siehe [2.2.8.1](#).

2.2.8.7 Verfahren 7

Siehe [2.2.8.2](#).

2.2.8.8 Verfahren 8

Siehe [2.2.8.1](#).

2.2.9 (freibleibend)

2.2.10 (freibleibend)

2.2.11 Schneidprüfung der äußeren Leitschicht

Die äußere Leitschicht muss an jedem Kabelende horizontal auf einer Strecke von 100 mm an der dünnsten Stelle, die visuell bestimmt wird, unter Verwendung eines Messers mit Klingen und Schutzgriff, auf eine Tiefe von 0,5 mm eingeschnitten werden. Die Leitschicht muss dann entfernt und die Isolierung untersucht werden. Wenn in der Isolierung kein Schnitt ist, ist die gesamte Kabellänge als befriedigend anzusehen.

2.2.12 Wassereindringprüfung am Mantel

2.2.12.1 Allgemeines

Die Prüfung demonstriert den Einfluss von Wasser auf die mechanischen Eigenschaften des Mantels bezüglich der Zugfestigkeit und Reißdehnung des Mantelwerkstoffs an unbehandeltem Ausgangsmaterial und nach Wasserlagerung.

Die Zugprüfung am behandelten und unbehandelten Prüfstab muss unmittelbar hintereinander erfolgen.

2.2.12.2 Probennahme und Vorbereitung der Prüfstäbe

Die Prüfstäbe müssen nach **EN 60811-501** vorbereitet werden.

2.2.12.3 Durchführung

Die Prüfstäbe müssen in ungefähr 1 l de-ionisiertes Wasser eingetaucht werden, für eine Zeit und bei einer Temperatur, wie sie im Hauptabschnitt angegeben sind. Danach müssen die Prüfstücke auf eine Temperatur von $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ abgekühlt werden, bevor sie aus dem Wasser entnommen werden. Die Prüfstäbe müssen danach mit saugfähigem Papier abgetrocknet werden, und nach 60-minütiger Trocknung muss beides, die Zugkraft und die Reißdehnung, nach **EN 60811-501** bestimmt werden.

2.2.12.4 Auswertung der Ergebnisse

Die Zugkraft und die Reißdehnung werden nach **EN 60811-501** bestimmt.

2.2.13 Klimaafterungsprüfung

2.2.13.1 Anwendungsbereich

Dieser Abschnitt definiert die Klimaafterungsprüfung. Das Ziel dieser Prüfung ist es, das Verhalten von Starkstromkabeln voraussagen zu können, wenn diese Sonneneinstrahlung oder Witterungseffekten (Feuchte, Temperatur und Nässe) ausgesetzt werden.

Dieser Abschnitt stellt ebenso die Prüfparameter und Anforderungen zur Verfügung, um diese in die Norm eines speziellen Kabeltyps einzufügen.

2.2.13.2 Prinzip

Diese Prüfung unterzieht Proben einem kombinierten Zyklus von klimatischen Grenzen: UV-Bestrahlung, Feuchte, Wasserbesprühung und extremen Temperaturen.

Die Prüfbedingungen wurden mit dem Ziel entwickelt, normale Betriebsbedingungen nachzubilden.

2.2.13.3 Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung wird mit den folgenden Lampen und Filtern ausgestattet und mit den nachfolgend vorgeschriebenen Parametern eingestellt:

- einer Prüfkammer mit einem Probenhalter und einem Kühlsystem zum Überwachen der Kammertemperatur. Die Probe muss so angeordnet sein, dass die auf die Probe auftreffende Lichtenergie um nicht mehr als +15 % von dem vorgegebenen Mittelwert abweicht;
- einer Strahlenquelle aus einer Xenonlampe (eine oder mehrere) mit geeigneten Filtern, so dass die typische Bestrahlungsstärke zwischen 40 W/m^2 und 65 W/m^2 , (Grenzabweichung $\pm 15 \%$), mit einem Spektrum zwischen 315 nm und 400 nm liegen sollte;
- einer Möglichkeit zur automatischen Kontrolle der Temperaturen (schwarzes Thermometer und Kammer), Feuchte, Wasser Sprühen und Zyklen;
- einem Sprinklergerät mit einem oder mehreren Wasserinjektoren, die sicherstellen, dass die Probe komplett mit Wasser besprüht wird. Die Wasserqualität muss die folgenden Anforderungen erfüllen:
 - Leitfähigkeit $< 5 \mu\text{S/cm}$;
 - gelöster Feststoffgehalt $< 1 \mu\text{g/g}$;
 - Silikat-Gehalt $< 0,2 \mu\text{g/g}$.

Diese Prüfung muss in einer Kammer oder einer separaten Kammer, die nur für klimatische Grenzen bei niedrigen Temperaturen ausgelegt ist, durchgeführt werden.

2.2.13.4 Probenvorbereitung

Eine Probe des fertiggestellten Kabels oder vom abgezogenen Außenmantel des fertiggestellten Kabels muss für die Erstellung von 12 Proben genutzt werden.

Die Proben müssen nach [EN 60811-202, 4.3](#), vorbereitet werden.

2.2.13.5 Verfahren

Die komplette Prüfung besteht aus einer Anzahl, n , von identischen Zyklen, die nachfolgend definiert werden.

Die Anzahl der Zyklen muss in der speziellen Norm des Kabeltyps festgelegt werden.

- Periode A – Zeit: 24 h

Einwirkdauer der Strahlung

Relative Luftfeuchte (RH) ≥ 85 %, mit Besprühen, das aus 17 min ohne Besprühen und nachfolgenden 3 min Besprühen besteht;

Kammertemperatur: (55 ± 3) °C.

Während des Besprühens sind die vorgeschriebenen Werte für die Temperatur und die relative Luftfeuchte nicht anwendbar.

- Periode B – Zeit: 24 h

Relative Luftfeuchte (RH) ≥ 85 %, ohne Besprühen

Kammertemperatur: (55 ± 3) °C.

Thermoschock: durch Positionieren der Probe in einem Gehäuse, in dem die Temperatur für 3 Perioden von jeweils 1 h bei (-25 ± 3) °C gehalten wird. Die Zeit zwischen 2 Thermoschocks muss mindestens 1 h betragen. Während der Übergangsperiode und der Periode bei (-25 ± 3) °C sind die vorgeschriebenen Werte für die relative Luftfeuchte nicht anwendbar.

Der Übergang von warmer zu kalter Atmosphäre muss so kurz wie möglich geschehen. Als Leitfaden muss eine maximale Dauer von 10 min angenommen werden, wenn eine zusätzliche Einrichtung genutzt wird oder 90 min, wenn die gleiche Einrichtung genutzt wird.

- Periode C – Zeit: 36 h

Einwirkdauer der Strahlung

Relative Luftfeuchte (RH) ≤ 30 %, ohne Besprühen

Temperatur der Kammer: 55 °C oder 70 °C (der Wert von dieser Temperatur ist in der speziellen Norm festgelegt).

- Periode D – Zeit: 12 h

Relative Luftfeuchte (RH) ≤ 30 %, mit Besprühen, das aus 17 min ohne Besprühen und nachfolgenden 3 min Besprühen besteht;

Temperatur der Kammer: 55 °C oder 70 °C (der Wert von dieser Temperatur ist in der speziellen Norm festgelegt).

Während des Besprühens sind die vorgeschriebenen Werte für die Temperatur und die relative Luftfeuchte nicht anwendbar.

2.2.13.6 Auswertung der Ergebnisse

Der Median muss für die Reißdehnung ($A_{\dots}$) und die Zugfestigkeit ($R_{\dots}$) berechnet werden. Beide Parameter der Prüfstücke eines jeden Prüflos sind nach **EN 60811-501, 4.3**, zu messen, d. h.:

- Referenz-Prüflos: A_0 und R_0 ;
- beanspruchtes Prüflos: A_1 und R_1 .

$$\left| \frac{A_1 - A_0}{A_0} \right| \times 100 \leq \text{dem geforderten Wert in der speziellen Norm}$$

$$\left| \frac{R_1 - R_0}{R_0} \right| \times 100 \leq \text{dem geforderten Wert in der speziellen Norm}$$

2.2.13.7 Information, die in der betreffenden Norm von jedem Kabeltyp festgelegt werden muss

- a) Herkunft und Ausfallmuster;
- b) Anzahl der Zyklen;
- c) Wert der Kammertemperatur für die Perioden C und D;
- d) Wert der Strahlungsenergie;
- e) Höchsttemperatur vom schwarzen Thermometer;
- f) Anforderungen, die nach der Prüfung erfüllt werden müssen.

2.3 Mechanische Prüfungen an metallenen Aufbauelementen

2.3.1 Zugprüfung metallener Aufbauelemente

2.3.1.1 Verfahren 1 – Aufbauelemente aus Aluminium und Kupfer

Aus einer Probe eines vollständigen Kabels sind stichprobenartig 10 % der Gesamtanzahl der Drähte oder Streifen zu entnehmen. Die Zugfestigkeit von jedem Draht oder Streifen ist nach EN ISO 6892-1 zu messen. Der Mittelwert aller Messungen gilt als Zugfestigkeit.

Die Querschnittsfläche ist durch Wiegen eines Prüfstücks der Materialprobe von ungefähr 350 mm Länge zu bestimmen. Die Länge des Prüfstücks ist mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ mm, die Masse mit einer Grenzabweichung von $\pm 0,02$ g zu messen. Als Dichte für Aluminium ist $2\,700\text{ kg/m}^3$ und für Kupfer $8\,900\text{ kg/m}^3$ anzunehmen.

Der Abstand zwischen zwei Markierungslinien auf der Probe muss 200 mm und der Abstand zwischen den Klemmbacken der Zugprüfmaschine ungefähr 250 mm betragen. Die Reißgeschwindigkeit der Klemmbacken muss mindestens 20 mm/min betragen. Die Zunahmerate der Zugspannung darf $10\text{ N/mm}^2/\text{s}$ nicht übersteigen.

Die Reißdehnung ist als prozentuales Verhältnis zum ursprünglichen 200-mm-Abstand zwischen den Markierungslinien festzuhalten.

Wenn der Prüfling außerhalb der Markierungslinien reißt, ist die Prüfung an einem anderen Muster zu wiederholen.

2.3.1.2 Verfahren 2 – Aluminiumleiter

Siehe 2.3.1.1.

2.3.1.3 Verfahren 3 – Leiter aus Aluminium und Kupfer

Siehe 2.3.1.1.

2.3.2 Wickelprüfung an verzinkten Stahldrähten

Einer Probe eines vollständigen Kabels werden stichprobenartig 10 % der Gesamtanzahl der Drähte entnommen. Jeder Draht wird für eine vollständige Windung auf einen runden Wickeldorn gewickelt. Der Durchmesser des Wickeldorns muss etwa das Vierfache des festgelegten Durchmessers des in der Prüfung befindlichen Drahts sein.

2.3.3 Zugkraft und Reißdehnung des Drahts und des Leiters (für aluminiumumhüllte Stahlleiter)

(a) Zugkraft und Reißdehnung des Drahts (für aluminiumumhüllte Stahlleiter)

Eine 500 mm lange Drahtprobe muss zwischen die Klemmbacken der Zugprüfmaschine, die einen Abstand von ungefähr 300 mm haben, eingespannt werden.

An die Probe muss eine Anfangskraft von $16,5 \text{ daN/mm}^2$ angelegt werden, und das Extensiomter muss wie folgt eingestellt werden:

- bei 50 mm Länge: 0,050 mm;
- bei 200 mm Länge: 0,200 mm;
- bei 250 mm Länge: 0,250 mm.

Die Kraft muss dann allmählich bis zu einer Extensiomteranzeige von 0,5 mm Dehnung, bezogen auf 50 mm Länge, oder 2 mm auf 200 mm Länge oder 2,5 mm auf 250 mm Länge gesteigert werden.

Die entsprechende Kraft muss gemessen werden und die Kraft, bezogen auf 1 % Dehnung, muss berechnet werden.

Die Kraft muss dann gleichmäßig gesteigert werden, wobei sicherzustellen ist, dass mindestens 30 s zwischen der letzten Erhöhung und dem Bruch der Probe liegen müssen. Die Reißdehnung, am Ende der Prüfung gemessen und bezogen auf eine Anfangslänge von 200 mm, muss berechnet werden.

Wenn die Dehnung nicht den Anforderungen entspricht und der Bruchbereich außerhalb der Referenzlänge liegt (weniger als 25 mm von der Referenzmarkierung), dann muss die Prüfung an einer anderen Drahtprobe wiederholt werden.

(b) Zugkraft und Reißdehnung des Leiters (für aluminiumumhüllte Stahlleiter)

Sofern zwischen dem Kunden und dem Hersteller nichts anderes vereinbart ist, muss die Prüfung an ausreichend langen Proben, die zwischen den Klemmbacken der Zugprüfmaschine einen Abstand von nicht weniger als 8 m zulassen, durchgeführt werden (für mehradrige Querschnitte größer als 40 mm^2); die Klemmbacken müssen zwischen dem Kunden und Hersteller vereinbart werden.

Die Prüfung gilt als bestanden und positiv, wenn keiner der Drähte unterhalb des geforderten Lastwerts bricht.

Die Prüfung gilt als nicht bestanden, wenn einer oder mehrere Drähte unter der geforderten Kraft brechen, aber in einer Entfernung von weniger als 25 mm von den oder innerhalb der Klemmbacken oder Klemmen.

Die Prüfung gilt als bestanden, jedoch als negativ, wenn einer oder mehrere Drähte unter der geforderten Kraft brechen, jedoch in einer Entfernung von mehr als 25 mm von den Enden der Klemmbacken oder Klemmen.

2.3.4 Torsionsprüfung

Die Probe muss gerichtet werden, dann zwischen die Klemmbacken, die einen Abstand von $100 d$ (d ist der Drahtdurchmesser) haben, eingespannt werden und mit einer Kraft von 7 daN gestreckt werden.

Die Torsionsgeschwindigkeit muss während der gesamten Prüfung gleichmäßig gehalten werden, und ihr Wert muss 15 Umdrehungen je Minute in gleicher Richtung bis zum Bruch der Probe sein.

Die Prüfung gilt als nicht bestanden, wenn der Bruch in einer Klemmbacke vor dem Erreichen der geforderten Anzahl von Umdrehungen eintritt.

2.4 Nicht-elektrische Prüfungen an Proben des vollständigen Kabels

2.4.1 Biegeprüfung des vollständigen Kabels

2.4.1.1 Übliche Biegeprüfung des vollständigen Kabels

Eine Probe des Kabels von ausreichender Länge muss um einen Prüfzylinder herum für eine vollständige Windung gebogen werden, falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde. Sie ist dann wieder abzuwickeln und der Prozess ist zu wiederholen, jedoch muss die Probe in die entgegengesetzte Richtung gebogen werden. Dieser Biegezyklus muss dreimal hintereinander erfolgen.

Statt des Drehens der Probe ist es gestattet, die Richtung der Drehung um den Prüfzylinder umzukehren, wobei die Probe abhängig von der Drehrichtung entweder über oder unter dem Zylinder liegt. Das Biegen muss bei einer fast gleichmäßigen Geschwindigkeit durchgeführt werden, wobei jeder halbe Zyklus zwischen 0,5 s und 1,0 s je mm Kabeldurchmesser betragen muss.

Falls die Prüfung bei einer anderen als der Umgebungstemperatur auszuführen ist, muss sie unmittelbar nach der Konditionierung vorgenommen werden.

Prüftemperatur und Wickeldorndurchmesser müssen den Angaben im Hauptabschnitt entsprechen.

2.4.1.2 Spezielle Biegeprüfung des vollständigen Kabels mit Heizzyklus

Die Probe ist bei Raumtemperatur um einen Prüfzylinder (z. B. den Kern einer Trommel) für mindestens eine vollständige Windung herumzubiegen. Der Durchmesser des Zylinders muss $7 D$ sein, wobei D den gemessenen äußeren Durchmesser der Probe darstellt. Das Kabel ist danach abzuwickeln, und die Prüfung ist in der entgegengesetzten Richtung zu wiederholen.

Dieser Vorgang ist dreimal durchzuführen. Dann ist die Probe für 24 h in eine Wärmekammer zu geben, die auf die höchste Betriebstemperatur des Kabels erwärmt ist, wobei die Probe um den Zylinder gebogen bleibt.

Nachdem das Kabel abgekühlt ist, muss die Spannungsprüfung nach 3.2.1 durchgeführt werden, wobei das Kabel noch gebogen ist.

2.4.1.3 Biegeprüfung für das vollständige Kabel bei sehr niedriger Temperatur

Für die Prüfung wird ein ausreichend langes Kabel gewählt, so dass eine vollständige Windung um die Trommel möglich ist. Der Durchmesser der Trommel entspricht dem 25-fachen Außendurchmesser des Kabels.

Das Kabel und die Prüftrommel werden bei einer Temperatur, die im Hauptabschnitt angegeben ist, für mindestens 24 h belassen, wonach das Kabel vorsichtig zu einer vollen Windung um die Trommel gebogen wird. Die Dauer des Biegens beträgt etwa 30 s.

Danach wird das Kabel vorsichtig abgewickelt und dann in entgegengesetzter Richtung um die Trommel gewickelt sowie wieder abgewickelt.

Das Prüfverfahren des Auf- und Abwickelns in entgegengesetzten Richtungen muss dreimal bei der Prüftemperatur oder, falls die Platzverhältnisse des Prüfraums das Verfahren einschränken, bei einer Temperatur von nicht mehr als 25 °C wiederholt werden. Wenn das Verfahren nicht bei Prüftemperatur durchgeführt wird, muss die erste Windung so schnell wie möglich, aber spätestens 5 min nach der Entnahme des Kabels aus dem Prüfraum, begonnen werden, und die Prüfung ist innerhalb der im Hauptabschnitt angegebenen Zeit abzuschließen. Wenn wegen der Platzverhältnisse die Prüfung außerhalb des kalten Prüfraums durchgeführt wird, darf das Kabel vor dem Biegen nicht erwärmt werden. Kabel mit Außendurchmessern bis 30 mm müssen immer im Prüfraum geprüft werden.

Dann muss sich das Kabel bei einer Temperatur von (20 ± 5) °C während einer Zeit von mindestens 24 h erwärmen. Nach dieser Zeit werden die Konstruktionsteile des Kabels geprüft. Mit bloßem Auge dürfen keine Risse in der Isolierhülle oder dem Mantel erkennbar sein.