

	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):1995-10 und DIN VDE 0276-605/A1 (VDE 0276-605/A1):1996-12 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Starkstromkabel – Ergänzende Prüfverfahren; Deutsche Fassung HD 605 S2:2008 Electric cables – Additional test methods; German version HD 605 S2:2008 Câbles électriques – Méthodes d'essais supplémentaires; Version allemande HD 605 S2:2008 Gesamtumfang 191 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Das von CENELEC am 2008-03-01 angenommene HD 605 S2 gilt als DIN-Norm ab 2009-07-01.

Daneben dürfen **DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):1995-10** und **DIN VDE 0276-605/A1 (VDE 0276-605/A1):1996-12** noch bis 2009-03-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2008-03.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 411.1 „Starkstromkabel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im 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):1995-10** und **DIN VDE 0276-605/A1 (VDE 0276-605/A1):1996-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Verfahren zur Messung der Drähte, Streifen und Bänder von Bewehrungen in 2.1.4.3 wurde überarbeitet;
- b) das Verfahren zur Messung der Dicke von Metallmänteln in 2.1.5 und 2.1.14 wurde überarbeitet;
- c) das Verfahren für die Bestimmung des Leiterdurchmessers in 2.1.13 wurde überarbeitet;
- d) die mechanischen Prüfungen an metallenen Aufbauelementen in 2.3 wurden überarbeitet;
- e) die harmonisierte Langzeitprüfung für Kabel wurde in 5.4.15 neu aufgenommen;
- f) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert und die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605): 1995-10

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 10002-1	–	DIN EN 10002-1	–
EN 10244-2:2001	–	DIN EN 10244-2:2001-07	–
EN 50266-2-4	–	DIN EN 50266-2-4 (VDE 0482-266-2-4)	VDE 0482-266-2-4
EN 50356	–	DIN EN 50356 (VDE 0481-356)	VDE 0481-356
EN 50414:2006	–	DIN EN 50414 (VDE 0473-414):2007-03	VDE 0473-414
EN 60228	IEC 60228	DIN EN 60228 (VDE 0295)	VDE 0295
EN 60230	IEC 60230	DIN EN 60230 (VDE 0481-230)	VDE 0481-230
Normen der Reihe EN 60332-1	Normen der Reihe IEC 60332-1	Normen der Reihe DIN EN 60332-1 (VDE 0482-332-1)	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 60811-1-1:1995 + A1:2001	IEC 60811-1-1:1993 + A1:2001	DIN EN 60811-1-1 (VDE 0473-811-1-1):2002-05	VDE 0473-811-1-1
EN 60811-1-2:1995 + A2:2000	IEC 60811-1-2:1985 + Cor.:1996-05 + A1:1989 + A2:2000	DIN EN 60811-1-2 (VDE 0473-811-1-2):2001-11	VDE 0473-811-1-2
EN 60811-1-4:1995 + A2:2001	IEC 60811-1-4:1985 + Cor.:1986-05 + A1:1993 + A2:2001	DIN EN 60811-1-4 (VDE 0473-811-1-4):2002-09	VDE 0473-811-1-4
EN 60811-2-1:1998 + A1:2001	IEC 60811-2-1:1998 + A1:2001	DIN EN 60811-2-1 (VDE 0473-811-2-1):2002-09	VDE 0473-811-2-1
EN 60811-3-1:1995 + A1:1996 + A2:2001	IEC 60811-3-1:1985 + Cor.:1986 + A1:1994 + A2:2001	DIN EN 60811-3-1 (VDE 0473-811-3-1):2002-07	VDE 0473-811-3-1
EN 60811-3-2:1995 + A2:2004	IEC 60811-3-2:1985 + Cor.:1986 + A1:1993 + A2:2003	DIN EN 60811-3-2 (VDE 0473-811-3-2):2004-12	VDE 0473-811-3-2
EN 60811-4-1:2004	IEC 60811-4-1:2004	DIN EN 60811-4-1 (VDE 0473-811-4-1):2005-04	VDE 0473-811-4-1
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

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
HD 603 S1:1994/ A2:2003	–	DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603):2005-01	VDE 0276-603
–	–	DIN VDE 0276-603 Berichtigung 1 (VDE 0276-603 Berichtigung 1):2005-04	VDE 0276-603 Berichtigung 1
–	–	DIN VDE 0276-603 Berichtigung 2 (VDE 0276-603 Berichtigung 2):2006-05	VDE 0276-603 Berichtigung 2
HD 604 S1:1994 + A1:1997 + A2:2002 + A3:2005	–	DIN VDE 0276-604 (VDE 0276-604):2008-02	VDE 0276-604
HD 620 S1:1996/ A3:2007	–	DIN VDE 0276-620 (VDE 0276-620):2009-05	VDE 0276-620
HD 622 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005	–	DIN VDE 0276-622 (VDE 0276-622):2006-05	VDE 0276-622
HD 626 S1:1996	–	DIN VDE 0276-626 (VDE 0276-626):1997-01	VDE 0276-626
HD 626 S1/A1:1997	–	DIN VDE 0276-626/A1 (VDE 0276-626/A1):1998-07	VDE 0276-626/A1
HD 627 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005	–	DIN VDE 0276-627 (VDE 0276-627):2006-09	VDE 0276-627
–	IEC 60502-1:2004	–	–
–	IEC 60502-2:2005	–	–
–	ISO 48	DIN ISO 48	–
Normen der Reihe EN ISO 4892	Normen der Reihe ISO 4892	Normen der Reihe DIN EN ISO 4892	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 10002-1, *Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur;*
Deutsche Fassung EN 10002-1

DIN EN 10244-2:2001-07, *Stahldraht und Drahterzeugnisse – Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht – Teil 2: Überzüge aus Zink und Zinklegierungen;* Deutsche Fassung EN 10244-2:2001

DIN EN 50266-2-4 (VDE 0482-266-2-4), *Allgemeine Prüfverfahren für Kabel und isolierte Leitungen im Brandfall – Prüfung der senkrechten Flammenausbreitung von senkrecht angeordneten Bündeln von Kabeln und isolierten Leitungen – Teil 2-4: Prüfverfahren – Prüfmethode C;* Deutsche Fassung EN 50266-2-4

DIN EN 50356 (VDE 0481-356), *Durchlaufspannungsprüfung an elektrischen Kabeln und Leitungen;*
Deutsche Fassung EN 50356

DIN EN 50414 (VDE 0473-414):2007-03, 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; Deutsche Fassung EN 50414:2006

DIN EN 60228 (VDE 0295), Leiter für Kabel und isolierte Leitungen (IEC 60228:2004); Deutsche Fassung EN 60228

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

DIN EN 60332-1 (VDE 0482-332-1) (Reihe), 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, Thermopaare – Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen (IEC 60584-1); Deutsche Fassung EN 60584-1

DIN EN 60672-2 (VDE 0335-2), Keramik- und Glasisolierstoffe – Teil 2: Prüfverfahren (IEC 60672-2); Deutsche Fassung EN 60672-2

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

DIN EN 60811-1-1 (VDE 0473-811-1-1):2002-05, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 1-1: Allgemeine Anwendung – Messung der Wanddicke und der Außenmaße – Verfahren zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften (IEC 60811-1-1:1993 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 60811-1-1:1995 + A1:2001

DIN EN 60811-1-2 (VDE 0473-811-1-2):2001-11, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 1: Allgemeine Anwendung – Hauptabschnitt 2: Thermische Alterung (IEC 60811-1-2:1985 + Corrigendum:1996-05 + A1:1989 + A2:2000); Deutsche Fassung EN 60811-1-2:1995 + A2:2000

DIN EN 60811-1-4 (VDE 0473-811-1-4):2002-09, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 1-4: Allgemeine Anwendung – Prüfungen bei niedriger Temperatur (IEC 60811-1-4:1985 + Corrigendum:1986-05 + A1:1993 + A2:2001); Deutsche Fassung EN 60811-1-4:1995 + A2:2001

DIN EN 60811-2-1 (VDE 0473-811-2-1):2002-09, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 2-1: Besondere Verfahren für Elastomere – Ozonbeständigkeit, Wärmedehnung, Ölbeständigkeit (IEC 60811-2-1:1998 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 60811-2-1:1998 + A1:2001

DIN EN 60811-3-1 (VDE 0473-811-3-1):2002-07, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 3-1: Verfahren für PVC-Mischungen – Wärmedruckprüfung, Prüfung der Rissbeständigkeit (IEC 60811-3-1:1985 + Corrigendum:1986 + A1:1994 + A2:2001); Deutsche Fassung EN 60811-3-1:1995 + A1:1996 + A2:2001

DIN EN 60811-3-2 (VDE 0473-811-3-2):2004-12, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 3-2: Verfahren für PVC-Mischungen – Prüfung des Masseverlustes – Prüfung der thermischen Stabilität (IEC 60811-3-2:1985 + Corrigendum:1986 + A1:1993 + A2:2003); Deutsche Fassung EN 60811-3-2:1995 + A2:2004

DIN EN 60811-4-1 (VDE 0473-811-4-1):2005-04, Isolier- und Mantelwerkstoffe für Kabel und isolierte Leitungen – Allgemeine Prüfverfahren – Teil 4-1: Besondere Verfahren für Polyethylen- und Polypropylen-Verbindungen – Spannungsrissbeständigkeit – Messung des Schmelzindex – Bestimmung des Ruß- und/oder Füllstoffgehaltes in Polyethylen durch direkte Verbrennung – Bestimmung des Rußgehaltes durch thermogravimetrische Analyse (TGA) – Bewertung der Rußverteilung in Polyethylen unter Verwendung eines Mikroskops (IEC 60811-4-1:2004); Deutsche Fassung EN 60811-4-1:2004

DIN VDE 0276-605 (VDE 0276-605):2009-07

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

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

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 (IEC 61034-2); Deutsche Fassung EN 61034-2

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

DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603):2000-05, Starkstromkabel – Teil 603: Energieverteilungskabel mit Nennspannungen U_0/U 0,6/1 kV; Deutsche Fassung HD 603 S1:1994/A2:2003

DIN VDE 0276-603 Berichtigung 1 (VDE 0276-603 Berichtigung 1):2005-04, Berichtigungen zu DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603):2005-01

DIN VDE 0276-603 Berichtigung 2 (VDE 0276-603 Berichtigung 2):2006-05, Starkstromkabel – Teil 603: Energieverteilungskabel mit Nennspannungen U_0/U 0,6/1 kV; Deutsche Fassung HD 603 S1:1994/A2:2003, Berichtigungen zu DIN VDE 0276-603 (VDE 0276-603):2005-01

DIN VDE 0276-604 (VDE 0276-604):2008-02, Starkstromkabel – Teil 604: Starkstromkabel mit Nennspannungen U_0/U 0,6/1 kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke; Deutsche Fassung HD 604 S1:1994 + A1:1997 + A2:2002 + A3:2005, Teile 0, 1 und 5G

DIN VDE 0276-620 (VDE 0276-620):2009-05, Starkstromkabel – Teil 620: Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen U_0/U 3,6/6 kV bis 20,8/36 kV; Deutsche Fassung HD 620 S1:1996/A3:2007, Teile 0, 1, 5C und 6C

DIN VDE 0276-622 (VDE 0276-622):2006-05, 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; Deutsche Fassung HD 622 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005, Teil 1 und Teil 4D

DIN VDE 0276-626 (VDE 0276-626):1997-01, Starkstromkabel – Teil 626: Isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit Nennspannung U_0/U (U_m): 0,6/1 (1,2) kV; Deutsche Fassung HD 626 S1 Teile 1, 2 und 4 F-1:1996

DIN VDE 0276-626/A1 (VDE 0276-626/A1):1998-07, Starkstromkabel – Teil 626: Isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit Nennspannungen U_0/U (U_m): 0,6/1 (1,2) kV; Änderung A1; Deutsche Fassung HD 626 S1/A1:1997

DIN VDE 0276-627 (VDE 0276-627):2006-09, Starkstromkabel – Teil 627: Vieladrig und vielpaarige Kabel für die Verlegung in Luft und in Erde; Deutsche Fassung HD 627 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005, Teile 0, 1, 4H und 7H

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

HARMONISIERUNGSDOKUMENT

HD 605 S2

HARMONIZATION DOCUMENT

DOCUMENT D'HARMONISATION

Juli 2008

ICS 29.060.20

Ersatz für HD 605 S1:1994 + A1:1996 + A2:2001 + A3:2002 + A4:2004

Deutsche Fassung

Starkstromkabel – Ergänzende Prüfverfahren

Electric cables –
Additional test methods

Câbles électriques –
Méthodes d'essais supplémentaires

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von CENELEC am 2008-03-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen für die Übernahme dieses Harmonisierungsdokumentes auf nationaler Ebene festgelegt sind.

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

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

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

CENELEC

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

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2008 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. HD 605 S2:2008 D

Vorwort

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von dem Technischen Komitee CENELEC TC 20 „Kabel und isolierte Leitungen“ ausgearbeitet.

Der Text des Entwurfs wurde dem Einstufigen Annahmeverfahren unterworfen und von CENELEC als HD 605 S2 am 2008-03-01 angenommen.

Dieses Harmonisierungsdokument ersetzt HD 605 S1:1994 + A1:1996 + A2:2001 + A3:2002 + A4:2004. Es ist eine vollständige Überarbeitung der 1. Ausgabe und schließt die Änderungen 1, 2, 3 und 4 zusammen mit den Ergebnissen der Vereinheitlichungen von „schwieriger zu harmonisierenden“ Prüfungen ein.

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 zu harmonisieren, ohne weitere Umnummerierungen vornehmen zu müssen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem das Vorhandensein des HD auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): 2008-09-01
- spätestes Datum, zu dem das HD auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer harmonisierten nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2009-03-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die dem HD entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-03-01

Inhalt

	Seite
1 Allgemeines	9
1.1 Anwendungsbereich	9
1.2 Anzuwendende Prüfungen	9
1.3 Klassifizierung der Prüfungen.....	9
1.4 Probenentnahme	9
1.5 Prüfbedingungen	9
1.5.1 Umgebungstemperatur.....	9
1.5.2 Grenzwerte der Temperaturwerte.....	9
1.5.3 Frequenz und Wellenform der Netzfrequenz-Prüfspannungen	10
1.5.4 Vorbehandlung	10
2 Nicht-elektrische Prüfungen	10
2.1 Prüfung der Maße.....	10
2.1.1 Messung der Isolierwanddicke	10
2.1.2 Messung der Wanddicke des nicht-metallenen Mantels.....	11
2.1.3 Bestimmung der Maße des Kabels	11
2.1.4 Messung der Drähte, Streifen und Bänder.....	11
2.1.5 Messung der Dicke von Metallmänteln	12
2.1.6 Prüfung der Anordnung von Schirm- oder Bewehrungsbändern oder -drähten	13
2.1.7 Prozentuale Bedeckung durch ein Metallgeflecht	13
2.1.8 Messung des Abstands zwischen nicht-metallenen Bändern der Bandzwischen-schicht.....	14
2.1.9 Messung der Dicke der Gummischicht.....	14
2.1.10 Unregelmäßigkeiten in den Leitschichten und der Isolierung	14
2.1.11 Maße der Adern.....	21
2.1.12 Wanddicke des Mantels und Dicke der Bewehrung.....	24
2.1.13 Maße des Leiters.....	24
2.1.14 Messung der Dicke des Metallmantels.....	25
2.1.15 Messung der Überlappung des Schirms oder der Bewehrungsbänder	25
2.2 Mechanische Prüfungen an nicht-metallenen Aufbauelementen.....	27
2.2.1 Härteprüfung nach Shore D am PE-Mantel.....	27
2.2.2 Bestimmung des Weiterreißwiderstands des Mantels	29
2.2.3 Druckprüfung	31
2.2.4 Wärmedruckprüfung an der Isolierhülle und am Mantel	32
2.2.5 Bestimmung der Härte von elastomeren Isolierhüllen und Mänteln	32
2.2.6 Prüfung des Zugmoduls	33
2.2.7 (freibleibend)	33
2.2.8 Abziehbarkeitsprüfung an extrudierten Leitschichten	33
2.2.9 Umweltbeständigkeit von Proben des Mantels	36
2.2.10 Umweltbeständigkeit des Mantels des Luftkabeltragseils (Luftkabel).....	37

	Seite
2.2.11 Schneidprüfung der äußeren Leitschicht	37
2.2.12 Wassereindringprüfung am Mantel	37
2.2.13 Klimabeständigkeit des Außenmantels	38
2.3 Mechanische Prüfungen an metallenen Aufbauelementen	40
2.3.1 Zugprüfung metallener Aufbauelemente	40
2.3.2 Wickelprüfung an verzinkten Stahldrähten	41
2.3.3 Zugkraft und Reißdehnung des Drahts und des Leiters (für aluminiumumhüllte Stahlleiter)	41
2.3.4 Torsionsprüfung	41
2.4 Nicht-elektrische Prüfungen an Proben des vollständigen Kabels	42
2.4.1 Biegeprüfung des vollständigen Kabels	42
2.4.2 Prüfung der Lage der Bänder bei einer Bewehrung aus Formdrähten nach der Biegeprüfung	46
2.4.3 Eindringprüfung am Kabelmantel	47
2.4.4 Schrumpfungsprüfung am Kabelmantel	48
2.4.5 Abriebprüfung	53
2.4.6 Kerbkraftprüfung am Kabelmantel	54
2.4.7 Druckprüfung	55
2.4.8 Verhalten des PVC-Mantels bei niedriger Temperatur	55
2.4.9 Längswasserdichtheit	56
2.4.10 Prüfung des Neutral-/Erdleiters auf Korrosion	58
2.4.11 Wirksamkeit der Korrosionsschutzschicht nach der Alterung	59
2.4.12 Besondere Prüfungen der gegenseitigen Beeinflussung	59
2.4.13 Verhalten bei hohen Temperaturen	60
2.4.14 Überlastungsprüfung von Leitern im Installationskanal	60
2.4.15 Unversehrtheit von einlagigen Schichten aus Gummi	61
2.4.16 Prüfung der Klimabeständigkeit am roten PVC- oder PE-Außenmantel	61
2.4.17 Haftungsprüfung des Mantels auf dem Metallband	62
2.4.18 (freibleibend)	64
2.4.19 Beständigkeit des PVC-Außenmantels gegen H ₂ S	64
2.4.20 Bestimmung der UV-Beständigkeit des MDPE-Mantels	64
2.4.21 Rissprüfung am PE-Mantel unter Umweltbeanspruchung	65
2.4.22 Abriebprüfung (konisches Teil)	67
2.4.23 Beständigkeit gegenüber UV-Strahlen	68
2.4.24 Prüfverfahren zur Messung der Steifigkeit von Kunststoffkabeln	69
2.5 Physikalische und chemische Prüfungen	74
2.5.1 Verzinkungsgüte	74
2.5.2 Thermogravimetrische Prüfung an nicht-metallinen Werkstoffen	78
2.5.3 Kontrolle der Verzinnung der Kupferdrähte	79
2.5.4 Kontrolle der Haltbarkeit von Farben und Kennzeichnung	79

	Seite
2.5.5 Prüfung auf Wasserdampfdurchlässigkeit.....	79
2.5.6 Bestimmung der Wasseraufnahme durch Kapazitätsmessung	82
2.5.7 Thermogravimetrische Prüfung von Isolierung, Füllstoffen und nicht-metallenen Mantelwerkstoff	83
2.5.8 Prüfung des Rußgehalts und/oder des Gehalts an Mineralfüllstoffen und der Rußverteilung	84
2.5.9 Quellhöhe des Quellbandes	86
2.5.10 Messung des Wassergehalts der Isolierung	88
2.5.11 Verfahren zur Bestimmung der Dichte	88
2.5.12 Künstliche Witterungsprüfung	90
2.5.13 Abriebprüfung	91
2.5.14 Prüfung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit für die Typprüfung	92
2.5.15 Vernetzungsgrad von VPE	93
3 Elektrische Prüfungen	94
3.1 Elektrischer Widerstand.....	94
3.1.1 Leiter.....	94
3.1.2 Bewehrung	95
3.1.3 Elektrischer Widerstand einer Kombination von Bewehrungs- und Schutzleiter	95
3.1.4 Besondere Widerstandsprüfung des Schirms oder konzentrischen Leiters	97
3.2 Spannungsprüfungen	97
3.2.1 Prüfungen am vollständigen Kabel.....	98
3.2.2 Prüfungen an Adern	98
3.2.3 Prüfungen am Außenmantel	98
3.2.4 Impulsspannungsprüfung	99
3.2.5 Spezielle 4-Stunden-Spannungsprüfung.....	99
3.2.6 Wechsellspannungs-Durchschlagprüfung.....	99
3.2.7 Impulsdurchschlagspannungsprüfung.....	103
3.2.8 50-Hz-Stufenspannungsprüfung	104
3.3 Isolationswiderstandsprüfungen.....	104
3.3.1 Isolationswiderstandsprüfung an isolierten Adern.....	104
3.3.2 Isolationswiderstand am vollständigen Kabel mit Schirm oder Bewehrung.....	106
3.3.3 Isolationswiderstandsprüfung am vollständigen Kabel ohne Schirm oder Bewehrung	106
3.3.4 Widerstandsprüfung des Außenmantels am vollständigen Kabel mit Schirm oder Bewehrung	106
3.3.5 Prüfverfahren für die Isolationskonstante (K -Wert) des Mantels	106
3.4 Oberflächenwiderstand des Kabelaußenmantels.....	107
3.4.1 Prüfeinrichtung	107
3.4.2 Prüfen	107
3.5 Prüfen des Isoliervermögens der Kabelfüllmischung	108
3.5.1 Anwendungsbereich.....	108

	Seite
3.5.2 Verfahren	108
3.6 Durchlaufspannungsprüfung.....	108
3.6.1 Verfahren 1	108
3.6.2 Verfahren 2	108
3.6.3 Verfahren 3	108
3.6.4 Verfahren 4	108
3.7 Messung des Kopplungswiderstands	108
3.7.1 Messaufbau	109
3.7.2 Theoretische Kurve des Kopplungswiderstands	109
3.8 Prüfung mit Erwärmungszyklen	110
3.8.1 Verfahren 1	110
3.8.2 Verfahren 2 – Erwärmungsprüfung unter Spannung.....	111
3.8.3 Verfahren 3 – Langzeitprüfung mit Heizzyklen.....	111
3.8.4 Verfahren 4	112
3.8.5 Verfahren 5	114
3.8.6 Verfahren 6 – Langzeitstabilitätsprüfung	114
3.9 Messung des spezifischen elektrischen Widerstands der Leitschichten.....	114
3.9.1 Verfahren 1	114
3.9.2 Verfahren 2	117
3.9.3 Verfahren 3	117
3.9.4 Verfahren 4 – Äußere Leitschicht	117
3.10 Teilentladungsprüfung	117
3.10.1 Verfahren 1	117
3.10.2 Verfahren 2	117
3.10.3 Verfahren 3	117
3.10.4 Verfahren 4	117
3.10.5 Verfahren 5	118
3.11 Verlustfaktormessung	119
3.11.1 Verfahren 1 – Messung des Verlustfaktors in Abhängigkeit von der Temperatur.....	119
3.11.2 Verfahren 2 – Messung des Verlustfaktors in Abhängigkeit von der Temperatur.....	119
3.11.3 Verfahren 3 – Messung des Verlustfaktors	119
3.11.4 Verfahren 4 – Messung des Verlustfaktors in Abhängigkeit von der Temperatur.....	119
3.12 Beständigkeit des Isoliermantels gegenüber Witterungseinflüssen	120
3.13 Haftung der Schirme bei Kurzschlussstemperatur	122
3.14 Widerstandsprüfung an wassersperrenden Bändern	123
3.15 Prüfung der Feuchtigkeitsaufnahme – Elektrische Prüfung	123
3.16 Beschleunigte Alterung in Hinblick auf Water-Treeing	124
3.17 Kurzschlussprüfung am Leiter	125
3.18 Kurzschlussprüfung am Schirm	125

	Seite
3.19 Erdschlussprüfung (Nagelprüfung).....	126
4 Prüfungen des Brandverhaltens.....	126
4.1 Prüfungen des Brennverhaltens (Brandweiterleitung)	126
4.1.1 Brennverhalten –Prüfverfahren 1	126
4.1.2 Brennverhalten –Prüfverfahren 2	127
4.1.3 Brennverhalten –Prüfverfahren 3	148
4.1.4 Brennverhalten –Prüfverfahren 4	150
4.1.5 (freibleibend).....	152
4.1.6 (freibleibend).....	152
4.2 Rauchdichte.....	152
4.2.1 Rauchdichte –Prüfverfahren 1.....	152
4.2.2 Rauchdichteprüfung –Prüfverfahren 2.....	153
4.2.3 (freibleibend).....	155
4.2.4 (freibleibend).....	155
4.2.5 Rauchdichteprüfung –Prüfverfahren 5.....	155
4.3 Korrosivität von Brandgasen	156
4.3.1 Korrosivität von Brandgasen –Prüfverfahren 1.....	156
4.4 Toxizität der Brandgase.....	161
4.4.1 Toxizität der Brandgase –Prüfverfahren 1.....	161
4.4.2 (freibleibend).....	167
4.5 (freibleibend).....	167
4.6 (freibleibend).....	167
5 Langzeitprüfung.....	167
5.1 Thermische Langzeitprüfung.....	167
5.1.1 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 1.....	167
5.1.2 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 2.....	12
5.1.3 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 3.....	12
5.1.4 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 4.....	12
5.1.5 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 5.....	12
5.1.6 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 6.....	13
5.1.7 Thermische Langzeitprüfung –Prüfverfahren 7.....	13
5.2 Beständigkeit gegen Ziehschmiermittel.....	14
5.3 Langzeitprüfung in Wasser.....	14
5.3.1 Verfahren 1.....	14
5.3.2 Verfahren 2.....	15
5.4 Langzeitspannungsprüfung	15
5.4.1 Verfahren 1 –Langzeitprüfung mit Heizzyklen	15
5.4.2 Verfahren 2 –Langzeit-Wärmezyklenprüfung.....	16
5.4.3 Verfahren 3 –Langzeitqualifikationsprüfung.....	176

	Seite
5.4.4 Verfahren 4 –Langzeitqualifikations prüfung	176
5.4.5 Verfahren 5 –Elektrische Langzeitpr üfung	176
5.4.6 Verfahren 6 –Prüfung der Water-Tree-Best ändigkeit.....	18
5.4.7 Verfahren 7Beschleunigte Alterungsp rüfung.....	18
5.4.8 Verfahren 8 –Prüfung auf Beständigkeit gegen Wasser	18
5.4.9 Verfahren 9 –Langzeitqualifikations prüfung	177
5.4.10 Verfahren 10 –Langzeitprüfung	17
5.4.11 Verfahren 11 –Langzeitqualifikationspr üfung	17
5.4.12 Verfahren 12 –Langzeitqualifizierungsprüfung	17
5.4.13 Verfahren 13 –Langzeitprüfung der Wasser beständigkeit und der Beständigkeit gegen elektrochemische Tree-Bildung	18
5.4.14 Verfahren 14 –Langzeitqualifizierungsprüf ung der Beständigkeit gegen die Bildung von Water-Trees und der chemischen Beständigkeit.....	18
5.4.15 Harmonisierte Langzeitprüfung.....	18
5.5 Prüfung der Querwasserbeständigkeit und der Beständigkeit des metallenen Schirms gegen Korrosion.....	181
5.6 Wasserbeständigkeit der Isolierung	181
Anhang A (normativ) Normative Verw eisungen.....	183
Anhang B (normativ) Runden von Zahlen	185

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. EN 60332-1 (Reihe) und EN 60811 (Reihe), 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 auf jeden 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 im Teil 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 dem vorliegenden 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 müssen, mit Ausnahme der in [2.1.1](#) festgelegten Prüfung, nicht mehr als 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 wie folgt einzuhalten:

Tabelle 1.5.2 – Grenzabweichungen für Temperaturwerte

Vorgeschriebene 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 Nicht-elektrische Prüfungen

2.1 Prüfung der Maße

2.1.1 Messung der Isolierwanddicke

2.1.1.1 Verfahren

Die Isolierwanddicke muss nach **8.1 von EN 60811-1-1** 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 nicht-metallinen Mantels

2.1.2.1 Verfahren

Die Dicke des Mantels muss nach **8.2 von EN 60811-1-1** 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 60811-1-1, 8.3**, 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 ist aus dem Prüfstück zu entnehmen und mit Hilfe eines Werkzeugs zu richten, 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 2 Messungen rechtwinklig zueinander mit einer Messschraube mit ebenen Messflächen und einer Fehlergrenze 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 Fehlergrenze von $\pm 0,01$ mm oder mit einem Messschieber mit ebenen Messflächen und einer Fehlergrenze 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 Fehlergrenze 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. Der Mittelwert der Ergebnisse gilt als Dicke.

Der kleinste Wert ist unter Berücksichtigung der Toleranz 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, damit eine eindeutige Prüfung durchgeführt werden kann.

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, damit sichergestellt ist, 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 Messunsicherheit 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, damit sichergestellt ist, 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 Messunsicherheit 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. Man misst den Spalt zwischen den nebeneinanderliegenden Kanten des Bandes (der Bänder) sowie die Bandbreite. Die Messung ist an 4 Stellen entlang der Probe mit einer Messunsicherheit von höchstens 0,5 mm vorzunehmen.

2.1.6.2 Verfahren 2

Man entfernt zwei Ringe des Mantels von jeweils 50 mm Länge, 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.

Es ist eine Sichtprüfung der freigelegten Bauteile 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

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

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 Messung der Dicke der Gummischicht

2.1.9.1 Einlagige Gummischicht

Die Durchmesser über der Oberfläche des konzentrischen Neutral-/Erd-Kupferleiters und den verseilten Adern muss mit einem Messband an derselben Stelle bestimmt werden. Die Nennwanddicke der Gummischicht ist die halbe Differenz zwischen diesen zwei Durchmessern, vermindert um den Durchmesser eines Kupferdrahts des konzentrischen Leiters.

2.1.9.2 (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 sind erlaubt, 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.

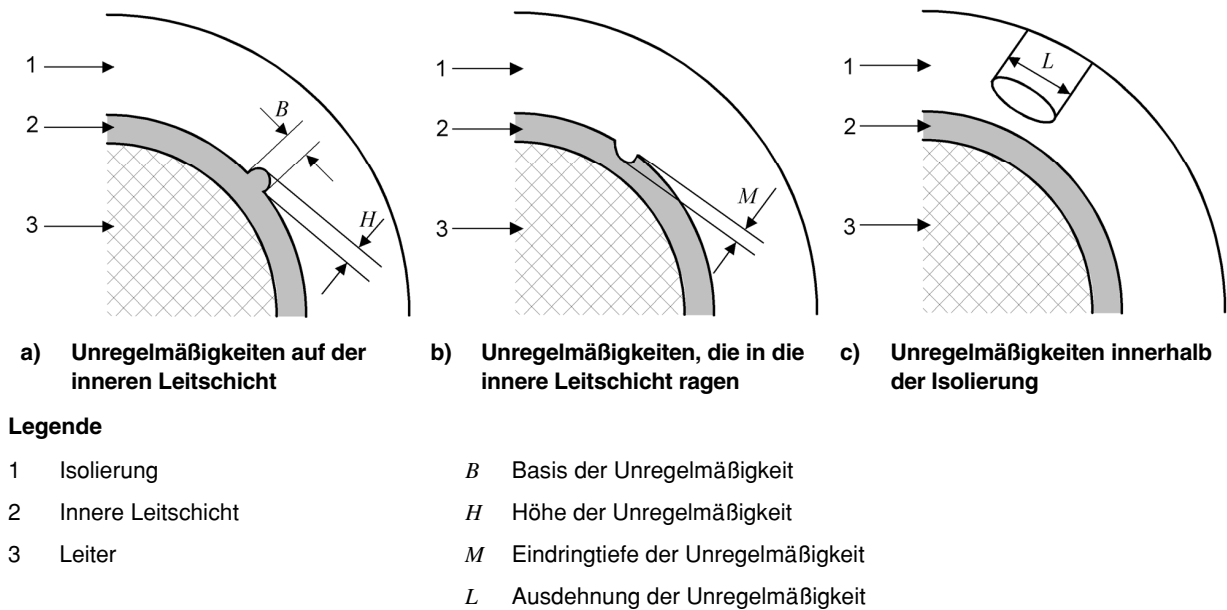


Bild 2.1.10.1 – Verfahren 1 – Unregelmäßigkeiten in der inneren Leitschicht und in der Isolierung

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 wird eine 300 mm lange Probe entnommen. Die äußere Leitschicht muss von der Probe entfernt werden. Die Probe muss 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

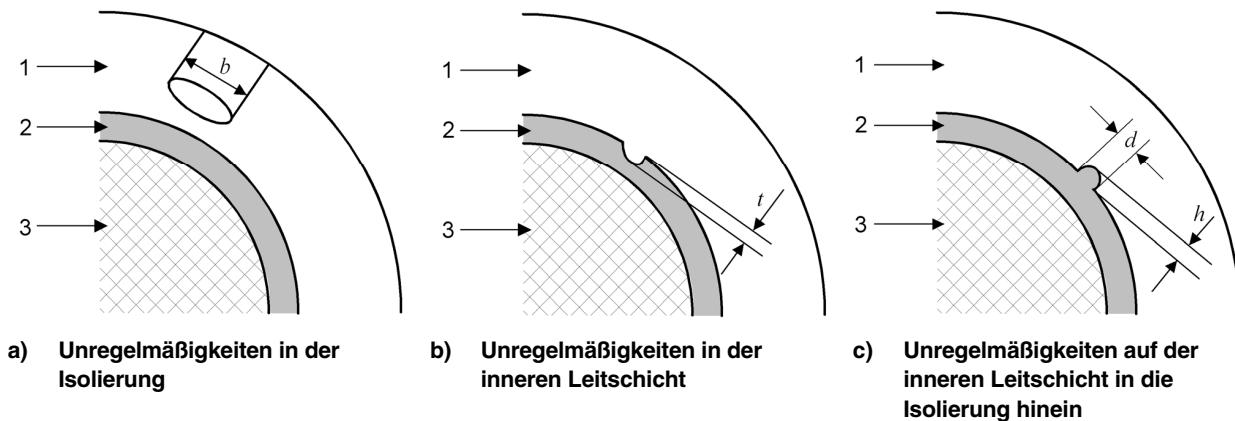
Die Probe muss so lange in das erhitzte Silikonöl getaucht werden, bis die VPE-Isolierung vollständig durchsichtig geworden ist. Die Probe muss dann visuell mit Hilfe einer Lampe ((b) (v)) untersucht werden, und wenn notwendig, müssen sichtbare Unregelmäßigkeiten auf der Probe markiert werden. Die Probe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

Um die gefundenen Unregelmäßigkeiten zu messen, wird die Probe an den markierten Punkten in Scheiben oder Spiralen geschnitten. Die Messung wird mit Hilfe der Messeinrichtung nach Punkt ((b) (iv)) in der Weise durchgeführt, 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)) gemessen wird.

(e) Auswertung

Die Ergebnisse sind in Ordnung, 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 erlaubte Betriebstemperatur haben muss, die gleich oder höher als die der Isolierung ist. Die Außenoberfläche der inneren Leitschicht muss zylindrisch sein und muss mit der darüberliegenden Isolierung fest verbunden sein. Die extrudierte Schicht muss leicht vom Leiter entfernbar 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 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 15facher 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 15fachen 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 Mikrometermikroskop gemessen werden.
 5. Die Anzahl der Hohlräume, Verunreinigungen und Eintrübungen je cm³ 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 cm³ 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 cm³ der Isolierung zu erreichen (16,4 cm³ = 1 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 40facher Vergrößerung gemessen werden. Es ist nur die größte Ausdehnung zu messen. Wenn Hohlräume, Verunreinigungen oder Eintrübungen die Grenzen, die in der entsprechenden Kabelspezifikation 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 15facher Vergrößerung untersucht werden. Die Probe muss, um die Prüfanforderungen zu erfüllen, als mangelhaft betrachtet 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 15fachen Vergrößerung untersucht werden.

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

(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 Hohlräume 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 A₁ und A₂.

Die verbleibende Menge ist in zwei 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 B₁ und B₂ zu erhalten.

(b) Prüfverfahren zur Bestimmung der Diskontinuitäten

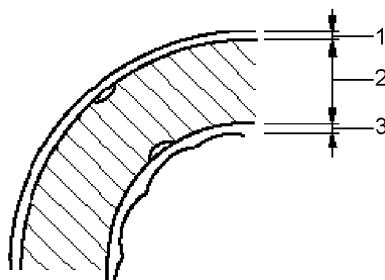
Die Proben A₁ und B₁ werden in Glyzerin oder Polyethylenglykol oder in eine gleichartige Flüssigkeit, die sich in einem Becherglas befindet und auf 130 °C bis 150 °C gehalten wird, gelegt oder es werden die Proben alternativ in einem Wärmeschrank bei der gleichen Temperatur erwärmt. Die Proben müssen 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.

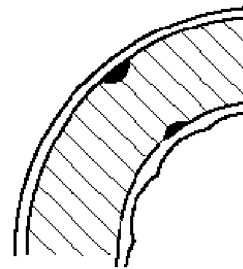
Die Berührungsflächen „innere Leitschicht/Isolierung“ und „äußere Leitschicht/Isolierung“ und die Isolierung der Probe A₁ sind durch Betrachten entlang der Leiterachse und durch Betrachten in radialer Richtung sowie die Berührungsfläche „innere Leitschicht/Isolierung“ und die Isolierung der zweiten Probe B₁ 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)).

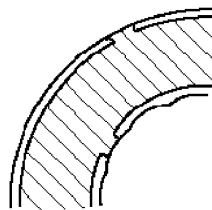
Die Prüfung ist für die übrig gebliebenen Proben A₂ und B₂ zu wiederholen.



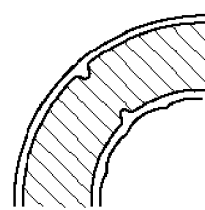
a) Ablösung zwischen Isolierung und innerer und äußerer Leitschicht



b) Einschlüsse zwischen Leitschicht und Isolierung



c) Durchbruch der Isolierung durch die Leitschicht



d) Durchbruch der Leitschicht in die Isolierung

Legende

1 Äußere Leitschicht
2 Isolierung

3 Innere Leitschicht

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 20fachen 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, Vergrößerung 10fach bis 40fach

(b) Untersuchungsverfahren

Von jeder Probe sind sechs Scheiben (Dicke: 1 mm bis 2 mm) abzuschneiden. Eine von den sechs Scheiben ist zur Messung der Dimensionen zu verwenden und der Rest entsprechend dieser Anweisung für die mikroskopische Untersuchung.

- (i) Alle Scheiben sind, um die größten Defekte zu finden, mit Durchlicht zu betrachten.
- (ii) Alle Scheiben (oder wenigstens 10 cm^3 der Scheiben) müssen mit einer mindestens 15fachen Vergrößerung mit Durchlicht untersucht werden, um die Hohlräume, Verunreinigungen und Eintrübungen zu finden.

Die Defekte werden in 3 Typen eingeteilt:

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

- (iii) Alle gefundenen Defekte sind durch Einkreisen zu markieren, zu nummerieren und zu tabellieren.
- (iv) Der größte Hohlraum, die größte Verunreinigung und das größte eingetrübte Partikel müssen mit mindestens 40facher Vergrößerung gemessen werden. Das größte Maß (d) muss bei jedem Defekt protokolliert werden.
- (v) Die Anzahl der Hohlräume, Verunreinigungen und eingetrübten Partikel je 10 cm^3 der Isolierung muss errechnet werden.

1. Klassifizierung der Isolierung

Tabelle 2.1.10.6.1 – Klassifizierung der Isolierung

Defekt	Klasse	Höchstmaß mm	Ergebnis
Hohlräume	I	$d \leq 0,05$	
	II	$0,05 < d \leq 0,08$	max. 18 Stück/ 10 cm^3
	III	$0,08 < d$	abgelehnt
Verunreinigungen	I	$d \leq 0,05$	
	II	$0,05 < d \leq 0,18$	max. 9 Stück/ 10 cm^3
	III	$0,18 < d$	abgelehnt
Eingetrübte Partikel	I	$d \leq 0,05$	
	II	$0,05 < d \leq 1,27$	
	III	$1,27 < d$	abgelehnt

2. Leitschichten und Isolierung

Die Berührungsfläche zwischen den Leitschichten und der Isolierung.

- Alle Scheiben (oder wenigstens 10 cm³ der Scheiben) müssen mit mindestens 15facher Vergrößerung mit Durchlicht auf Hohlräume, Pickel, Riefen, Gruben usw. in der Berührungsfläche zwischen den Leitschichten und der Isolierung untersucht werden.
- Das größte Maß jeder Unregelmäßigkeit muss mit mindestens 40facher Vergrößerung gemessen werden. Das größte Maß, das gefunden wurde, ist zu protokollieren.

Tabelle 2.1.10.6.2 – Klassifizierung der Berührungsflächen

Klasse	Maximales Maß der Unregelmäßigkeiten mm	
	Innere Leitschicht	Äußere Leitschicht
ausgezeichnet	≤ 0,01	≤ 0,03
gut	≤ 0,03	≤ 0,05
befriedigend	≤ 0,05	≤ 0,08
akzeptabel	≤ 0,10	≤ 0,15
dürrtig	–	0,15 bis 0,20
abgelehnt	> 0,10	> 0,20

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 10facher Vergrößerung und drehbarer Halteinrichtung für die Proben, die eine Ablesung auf 0,01 mm Genauigkeit erlauben.

(c) Vorbereitung der Proben

Zur Prüfung muss eine Probe von den beiden Enden des Kabels entnommen werden, das geprüft werden soll. 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 Durchmesserwerte 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\)](#) angelegt. Bei der Messung der inneren Leitschicht bei mehrdrähtigen Leitern wird die Wanddicke an der dünnsten Stelle gemessen. Das Fadenkreuz der Messeinrichtung wird nach [Bild 2.1.11.1 c\)](#) oder [Bild 2.1.11.1 d\)](#) angelegt.

(e) Auswertung der Messergebnisse

(i) Wanddicke der inneren Leitschicht

Die Einzelwerte für die Wanddicke der inneren Leitschicht ergeben sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 2 und 3 sowie 4 und 5 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 ergeben sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 1 und 2 sowie 5 und 6 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 ergeben sich aus den Maßen zwischen den Messpunkten 1 und 2 sowie 5 und 6 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 ergeben sich aus dem Maß zwischen den Messpunkten 1 und 6 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.

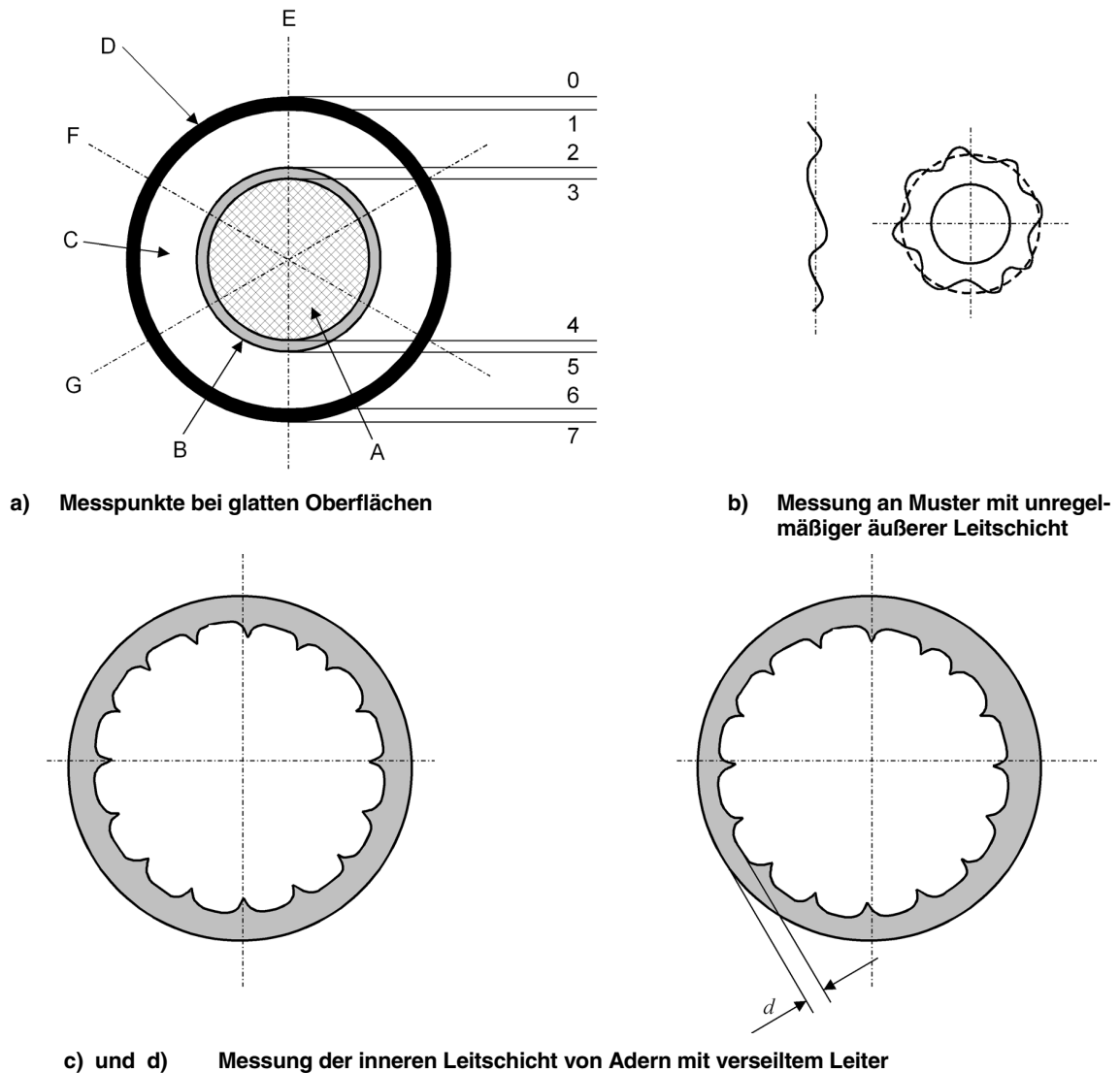
(v) Wanddicke der äußeren Leitschicht

Die Einzelwerte für die Wanddicke der äußeren Leitschicht ergeben sich aus den Maßen der Messpunkte 0 und 1 sowie 6 und 7 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 ergeben sich aus dem Maß zwischen den Messpunkten 0 und 7 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 10fachen 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 werden die sechs Messungen im dünnsten Bereich der Schicht über den Eindruckstellen der Drähte vorgenommen.

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 gemacht 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 Messunsicherheit nicht über ± 1 mm gemessen werden.

Das Leiterstück ist auf $\pm 0,1$ % 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 60811-1-1, 8.3**, zu messen; dabei werden 2 Messungen mit einer Messunsicherheit 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.

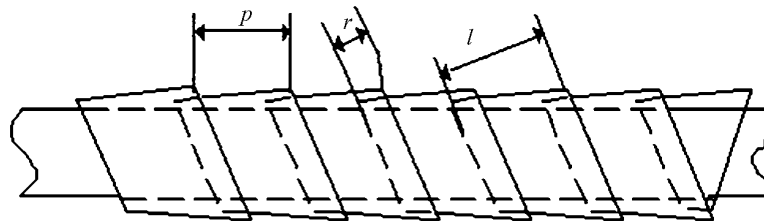
2.1.15 Messung der Überlappung des Schirms oder der Bewehrungsbänder

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 t 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



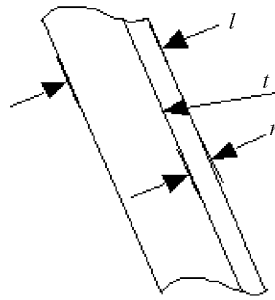
Legende

p Schlaglänge der Bandierung

r Überlappung

l Bandbreite

Bild 2.1.15 (a) – Begrenzungen zur Bestimmung der Überlappung

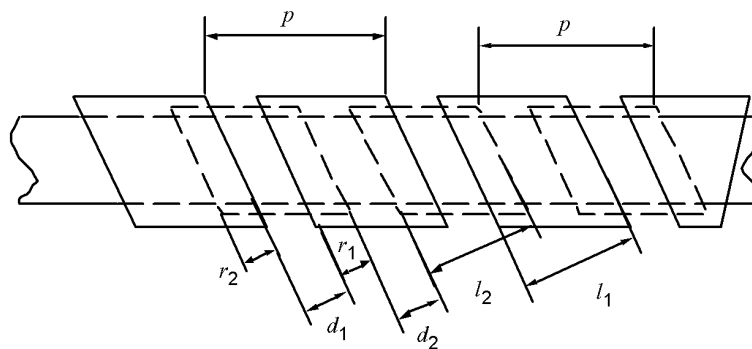


Legende

t Reißnadellinie
 l Bandbreite
 r Überlappung

Bild 2.1.15 (b) – Abgewickeltes Band mit Markierungen

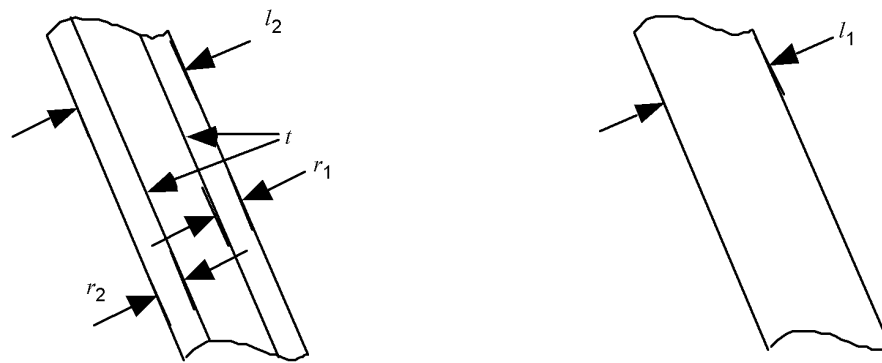
(b) Zwei Bänder mit Lücke und Lückenüberdeckung



Legende

p Schlaglänge der Bandierung
 l_1 und l_2 Breiten der Bänder
 r_1 und r_2 Überlappungen
 d_1 und d_2 Lücken

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



Legende

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

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 Gleichungen 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 nicht-metallenen 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.

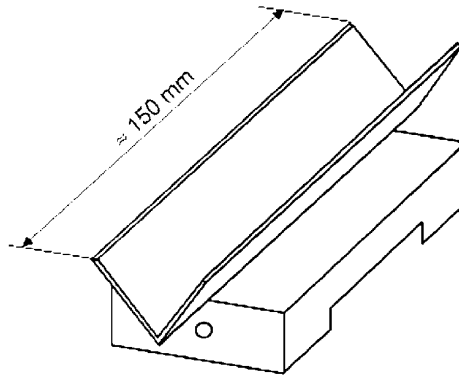


Bild 2.2.1 – Auflage für Kabelproben

(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 ist sie für mindestens 16 h bei einer Temperatur von $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ zu lagern.
- (iii) Die Probe wird so auf die Auflage gelegt, dass sie gleichmäßig aufliegt und bei Beleuchtung von der Rückseite kein Licht zwischen dem Eindringkörper und der Oberfläche des Mantels hindurchscheint.
- (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.

ANMERKUNG Die am Kabelmantel bestimmte Shorehärte D kann nicht als Materialkoeffizient betrachtet werden. Im Zweifelsfalle 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 vom 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

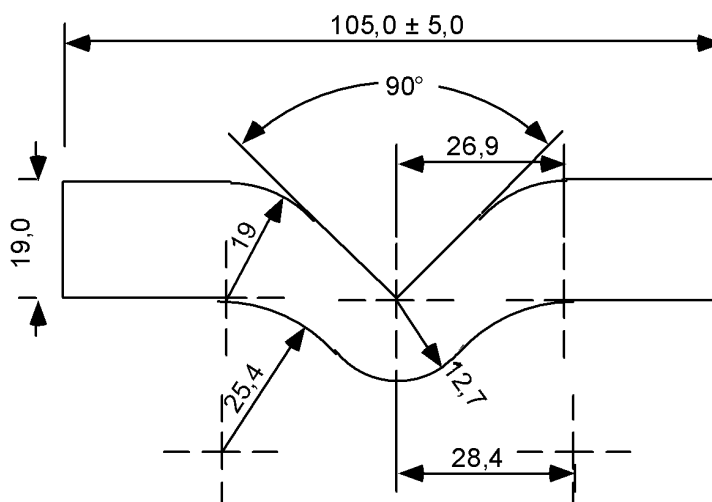


Bild 2.2.2.1 – Probe für das Verfahren 1 der Prüfung des Weiterreißwiderstands

(iii) Bestimmung der Dicke

Unter Verwendung einer Messschraube oder eines ähnlichen Messgeräts werden bei einem Druck von maximal 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 zusammenfallen 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 darf eine Fehlergrenze 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

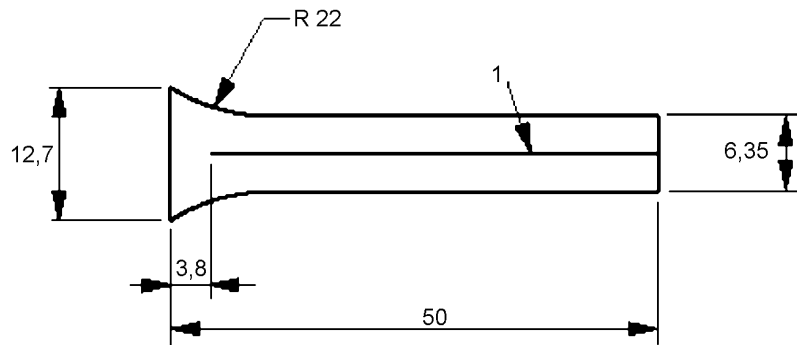
(a) Allgemeines

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

Man bereitet sechs Proben 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 vor. 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 Umgebungstemperatur aufzubewahren, bei der die Prüfung durchgeführt werden muss. Die Umgebungstemperatur muss bei $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ liegen, wobei die Prüfung innerhalb von 5 min nach der Entnahme aus dem Konditionierungsraum zu beginnen ist.

(d) Verfahren

Jede Probe ist wie folgt zu prüfen. Es werden die Hälften der aufgetrennten Enden in den 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 sind nach aufsteigenden Werten zu ordnen, 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 einer Kraft 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 innerhalb 1 h der 4-h-Spannungsprüfung unterzogen, 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 60811-3-1, 8.1.4](#), für Isolierhüllen oder [8.2.4](#) 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 Prüfung des Zugmoduls

2.2.6.1 Prüfung des Zugmoduls bei Umgebungstemperatur

Die Zugfestigkeit ist mit dem in EN 60811-1-1, 9.1 oder gegebenenfalls 9.2, 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. Er muss mit den Angaben in den Hauptabschnitten übereinstimmen.

2.2.6.2 Prüfung des Zugmoduls bei erhöhter Temperatur

Mit dem in EN 60811-1-1, 9.1 oder gegebenenfalls 9.2, 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. 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 10 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 abziehen.

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.

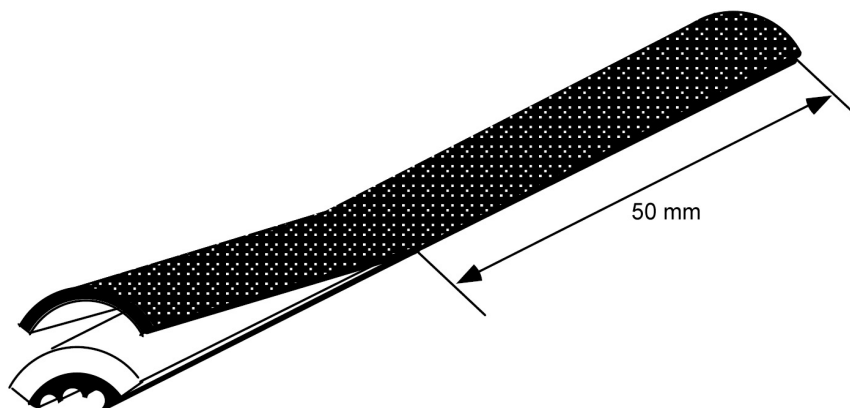


Bild 2.2.8.2 – Abziehlängen

Die Isolierung des Kabels darf am losen Ende geschnitten werden, um die Befestigung in den Klemmbacken 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 Grenzabweichung von ± 2 °C wie im Hauptabschnitt festgelegt durchzuführen.

Die Probe wird in die Zugprüfmaschine eingespannt, die Isolierung wird in eine Klemmbacke der Vorrichtung geklemmt und die äußere Leitschicht, gebogen um 180° um sich selbst, wird in die andere Klemmbacke 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 Kraft zum Ablösen der Leitschicht von der Isolierung muss in Abhängigkeit vom Abstand zwischen den Klemmböcken der Zugprüfmaschine kontinuierlich aufgezeichnet werden. Der Spitzenwert F_c , der am Anfang der Prüfung erhalten wurde (Höchstwert), und der Wert F , der in der stabilen Phase erhalten wurde, sind aufzuzeichnen und auf einen Wert bezogen auf die Streifenbreite von 10 mm umzurechnen:

$$F'_c = \frac{F_c \times 10}{l_1} \quad F' = \frac{F \times 10}{l_1}$$

wobei l_1 die aktuelle Breite der Probe (in mm gemessen) nach der Prüfung ist; gerundet auf 0,1 mm.

Zwei Diagramme sind möglich:

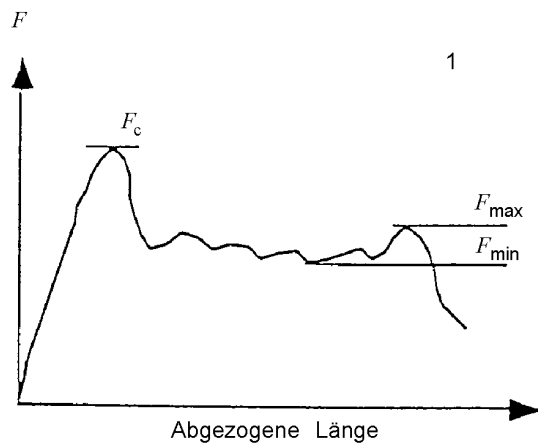
- 1) Mit einem Spitzenwert F_c am Anfang der Prüfung:

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

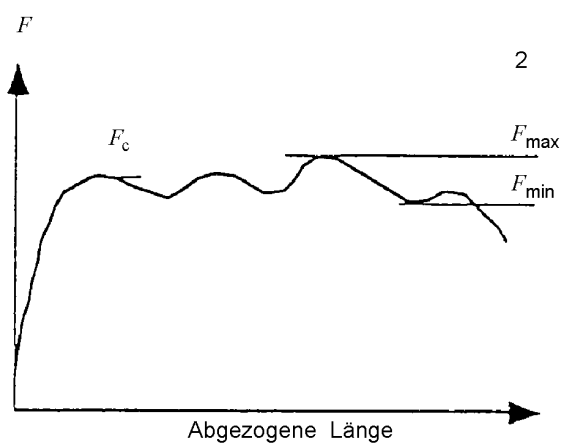
In diesem Fall ist das Ergebnis gleichwertig mit dem Mittelwert des Höchst- und des Mindestwerts nach dem Spitzenwert und wenigstens nach dem Abziehen von 1 cm bis 2 cm der Streifenlänge (das Ende der Prüfung bleibt unberücksichtigt).

- 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 Umweltbeständigkeit von Proben des Mantels

(a) Allgemeines

Diese Prüfung wird an drei Gruppen von sechs Proben des Mantels durchgeführt, die ähnlich wie bei der normalen Zugprüfung sind:

- die erste Gruppe muss bei Umgebungstemperatur belassen und vor Licht geschützt werden, während die anderen Gruppen gealtert werden;
- die zweite und dritte Gruppe werden Alterungszyklen, wie nachfolgend beschrieben, unterworfen. Nach drei Zyklen muss die zweite Gruppe aus der Alterungseinrichtung entnommen werden und wie die erste Gruppe belassen werden;
- die dritte Gruppe muss drei weiteren Alterungszyklen unterworfen werden.

Nach der Alterungsperiode müssen die Zugfestigkeit und die Reißdehnung an allen Proben bestimmt werden. Für jede Gruppe müssen die Mittelwerte berechnet werden.

(b) Alterungsprüfung

Jeder Alterungszyklus, wie oben beschrieben, besteht aus der Bestrahlung mit einer Xenonlampe mit Quarzfilter. Die Charakteristik der Lampe und des Filters muss ein Spektrum aufweisen mit kontinuierlicher Wellenlänge zwischen 300 nm und 400 nm und einer mittleren Strahlungsleistung von $(2,2 \pm 0,2) \text{ mW/m}^2$.

Jeder Zyklus besteht aus vier verschiedenen Behandlungszyklen, wie unten beschrieben, getrennt durch eine Übergangsphase von 1 h:

Zyklus A – 71 h

- der Strahlung aussetzen
- Kammertemperatur $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- relative Luftfeuchte $\leq 30 \%$

Übergang von A nach B – 1 h

Zyklus B – 23 h

- der Strahlung aussetzen

- Kammertemperatur (55 ± 2) °C
- relative Luftfeuchte (60 ± 5) %, mit demineralisierten Wasserstrahlen für 3 min auf die Proben gerichtet (während dieser Zeit wird die relative Luftfeuchte nicht kontrolliert)

Übergang von B nach C – 1 h

Zyklus C – 23 h

- der Strahlung aussetzen
- Kammertemperatur (70 ± 2) °C
- relative Luftfeuchte < 30 %, mit demineralisierten Wasserstrahlen für 3 min auf die Proben gerichtet (während dieser Zeit wird die relative Luftfeuchte nicht kontrolliert)

Übergang von C nach D – 1 h

Zyklus D – 47 h

- Hitze und Feuchtigkeit aussetzen, ohne Strahlung
- relative Luftfeuchte ≥ 95 %
- Kammertemperatur (55 ± 2) °C außer für vier Perioden von 1 h bei (-25 ± 2) °C

Der Übergang von 55 °C zu -25 °C und umgekehrt muss 15 min betragen.

Zwei Zyklen bei -25 °C müssen zu Beginn des Zyklus D begonnen werden, mit 1 h bei 55 °C dazwischen. Die anderen beiden Zyklen müssen ungefähr 24 h nach den ersten beiden einsetzen und müssen gleich durchgeführt werden, also auch eine Periode von 1 h bei 55 °C einschließen.

Die Wasserstrahlen, wie in den Zyklen B und C beschrieben, müssen viermal während des Zyklus D eingesetzt werden.

2.2.10 Umweltbeständigkeit des Mantels des Luftkabeltragseils (Luftkabel)

Diese Prüfung wird an einer ungefähr ein Meter langen Probe des isolierten Tragseils durchgeführt.

Die Alterung wird, wie in 2.2.9 beschrieben, durchgeführt, mit dem Unterschied, dass die Kammertemperatur der Zyklen A und C (55 ± 2) °C anstatt (70 ± 2) °C betragen muss.

Nach den Alterungszyklen muss die Probe einer Spannungsprüfung bei 6 kV, 50 Hz unterzogen werden, wobei die Spannung zwischen den Adern und einem Wasserbad, in das die Probe eingelegt wurde, angelegt wird.

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 60811-1-1, 9.2.3, vorbereitet werden.

2.2.12.3 Durchführung

Die Prüfstäbe werden in ungefähr 1 l de-ionisiertes Wasser eingetaucht, für eine Zeit und bei einer Temperatur, wie sie im Hauptabschnitt angegeben sind. Danach dürfen 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 60811-1-1, 9.2, bestimmt werden.

2.2.12.4 Auswertung der Ergebnisse

Die Zugkraft und die Reißdehnung werden nach EN 60811-1-1, 9.2.8, bestimmt.

2.2.13 Klimabeständigkeit des Außenmantels

Prüfprinzip und Definition der Lichtquelle

Diese Prüfung basiert auf der verlängerten Bestrahlung der flachen Oberfläche auf der Außenseite der Kabelproben mit ultravioletter Strahlung.

Die verwendete Lichtquelle muss so sein, dass in trockener Atmosphäre (relative Luftfeuchte unter 30 %) die bestrahlte Oberfläche der beiden flachen Oberflächen der Proben, die Seite entspricht der Außenseite der Kabelprobe, eine Strahlung empfängt, bei der die wellenlängenabhängige Energieverteilung den Werten der Kurve (siehe Bild 2.2.13) entspricht.

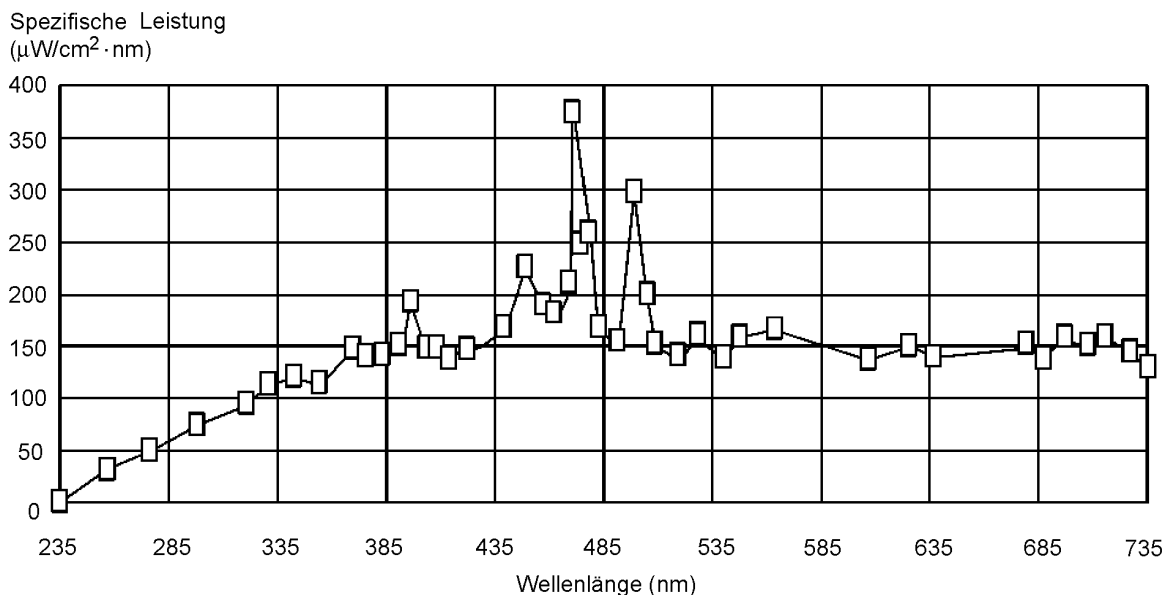


Bild 2.2.13 – Spezifische Energieverteilung auf der bestrahlten Oberfläche der Probe

Um die Dispersion der Lampe und deren Alterung zu begutachten, sind folgende Grenzabweichungen akzeptabel:

- (a) $\pm 20\%$ im Bereich der ultravioletten Strahlung (Wellenlängen unter 400 nm);
- (b) $\pm 50\%$ für die sichtbare Strahlung (Wellenlängen über 400 nm).

Diese Strahlung erhält man mit einer Xenonlampe, die mit einem Quarzfilter angepasst ist.

Durchführung

Die gesamte Prüfung dauert sechs Wochen, eingeteilt in zwei identische Abschnitte. Jeder Abschnitt beinhaltet drei Sechstageszyklen, alternativ ergänzt mit einer Konditionierung von 24 h nach A, B oder C.

Wochenzyklus

Er wird wie folgt durchgeführt:

- Bestrahlung mit Lichtstrahlen für zwei Tage in einer feuchten Atmosphäre (relative Luftfeuchte $\geq 90\%$) bei einer Temperatur von $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ mit Besprühen.
ANMERKUNG Die Besprühung mit demineralisiertem Wasser dauert 3 min je 20-Minuten-Periode; sie wird mit Hilfe von Einsprühvorrichtungen, bei denen die Wasserverteilung ausreichend sein muss, durchgeführt, um das Waschen aller Proben sicherzustellen.
- Eintagesbestrahlung in einer feuchten Atmosphäre bei einer Temperatur von $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ mit Thermochocks, die durch Einbringen in eine Kammer, die auf $(-25 \pm 2)^\circ\text{C}$ gehalten wird, für drei Einstundenperioden realisiert werden. Die Heißkalt- oder Kalt heißübergänge müssen so kurz wie möglich sein.
Die Zeit, in der die Proben zwischen zwei Wärmeschocks in feuchter Atmosphäre verbleiben, muss 1 h oder mehr betragen.
- Dreitagebestrahlung mit Licht in einer trockenen Atmosphäre, bei der die Temperatur bei $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ gehalten wird und die relative Luftfeuchte kleiner als 30 % ist.

Konditionierung A

Eintagesbestrahlung mit Licht in einer trockenen Atmosphäre bei $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte unter 30 % mit Besprühen.

ANMERKUNG Die Besprühung mit demineralisiertem Wasser dauert 3 min je 20-Minuten-Periode; sie wird mit Hilfe von Einsprühvorrichtungen, bei denen die Wasserverteilung ausreichend sein muss, durchgeführt, um das Waschen aller Proben sicherzustellen.

Konditionierung B

Eintagesbestrahlung in einer trockenen Atmosphäre mit einer Temperatur von $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$, die 0,067 % bezüglich des Volumens Schwefeldioxid SO_2 hat und eine Ozonkonzentration von 0,0020 % enthält.

ANMERKUNG 1 Bei Normaldruck und 0°C erhält man einen Liter Schwefeldioxid durch Vermengen von 4,3 g Schwefelsäure mit einem Überschuss (mindestens 4,6 g) an Natrium-Bisulphat bei Anwesenheit von Wasser.

ANMERKUNG 2 Das Ozon kann mit einem Ozonisator oder einer Quecksilberdampflampe hergestellt werden.

Konditionierung C

Bestrahlung für 8 h in einer Kammer mit 0,067 % Schwefeldioxid bezüglich des Volumens und bei einer Temperatur von $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$ mit gesättigter Feuchte. Während der letzten 16 h ist die Tür der Kammer zum Laborraum geöffnet.

Die Prüfung benötigt drei Mengen von sechs Proben, die vorzubereiten sind, einschließlich einer Referenzmenge. Die Proben, die denen bei der Zugprüfung definierten entsprechen, müssen auf Stützen angebracht werden, die eine Dehnung von 20 %, die im mittleren Bereich aufzubringen ist, erlauben.

- Die Referenzmenge muss bei Umgebungstemperatur unter mechanischer Beanspruchung, geschützt vor direkter Sonnenstrahlung, durchgehend in der Prüfumgebung belassen werden.
- Die erste und die zweite Menge müssen Witterungseffekten während drei Wochenzyklen unterworfen werden. Die erste Menge wird dann der Prüfeinrichtung entnommen und genauso wie die Referenzmenge konditioniert.

Die zweite Menge wird in der Prüfapparatur belassen und für die letzten drei Wochenzyklen den Witterungseffekten ausgesetzt.

Wenn die Prüfung vollständig ist, werden die Proben von ihren Halterungen entfernt und ohne direkte Sonneneinstrahlung bei Umgebungstemperatur des Labors für 24 h belassen.

An jeder Menge müssen die Reißdehnung ($A_{\dots}$) und die Zugfestigkeit ($R_{\dots}$) der Proben gemessen werden, entsprechend **EN 60811-1-1, 9.1**, das heißt:

- Referenzmenge: A_0 und R_0
- erste Menge: A_1 und R_1
- zweite Menge: A_2 und R_2

Das gemessene Mittel muss den folgenden Forderungen genügen:

1. $\left| \frac{A_2 - A_0}{A_0} \right| \times 100 \leq 30$ $\left| \frac{R_2 - R_0}{R_0} \right| \times 100 \leq 30$
2. $\left| \frac{A_2 - A_1}{A_0} \right| \times 100 \leq 15$ $\left| \frac{R_2 - R_1}{R_0} \right| \times 100 \leq 15$

Im Zweifelsfall ist die Prüfung unter Verwendung des „Weather-o-meter“ als Referenzprüfung heranzuziehen.

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 10002-1 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 Messunsicherheit von $\pm 0,5$ mm, die Masse mit einer Messunsicherheit 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 ist für eine vollständige Windung auf einen runden Wickeldorn zu wickeln. Der Durchmesser des Wickeldorns muss etwa das Vierfache des angegebenen 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 Extensiometer 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 Extensiometeranzeige 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 gut, 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 nicht gut, 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 min^{-1} 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 ist um einen Prüfzylinder herum für eine vollständige Windung zu biegen, falls keine anderweitige Festlegung getroffen wurde. Sie ist dann wieder abzuwickeln und der Prozess zu wiederholen, jedoch wird 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 25fachen 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 Verfahren 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 darf sich das Kabel bei einer Temperatur von $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 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.

2.4.1.4 Biegeprüfung bei niedriger Temperatur vor und nach der Alterung

(a) Vorbereitung für die Prüfung der Isolierhülle

Es werden sämtliche, die Isolierhülle überdeckenden Schichten von einem ausreichend langen Drahtabschnitt entfernt. Zwei Proben der Adern werden nach der nachfolgenden Prüfung geprüft, wobei eine Probe ohne zusätzliche Vorbehandlung bleibt, die andere nach der in [EN 60811-1-2](#) vorgeschriebenen Alterungsprüfung (für 7×24 h bei $80 ^\circ\text{C}$) behandelt wird.

(b) Vorbereitung für eine Prüfung am Außenmantel

Auf einem ausreichend langen Drahtabschnitt werden sämtliche, den Außenmantel bei flexiblen Leitern überdeckende Schichten entfernt. Zwei dieser Proben werden nach der nachfolgenden Prüfung geprüft, wobei eine Probe ohne zusätzliche Vorbehandlung bleibt, die andere nach der in [EN 60811-1-2](#) vorgeschriebenen Alterungsprüfung (für 7×24 h bei $80 ^\circ\text{C}$) behandelt wird.

(c) Prüfverfahren

Ein Ende der Probe wird an einem der Dorne, der in [Bild 2.4.1.4](#) dargestellten Prüfeinrichtung, befestigt. Die Probe wird eng um diesen Dorn gewickelt, und das freie Ende, das nicht länger als erforderlich sein muss, wird am äußeren Dorn befestigt. Die Anzahl der Windungen und der Durchmesser der Dorne sind in der nachfolgenden Tabelle 2.4.1.4 festgelegt.

Tabelle 2.4.1.4 – Festlegung des Dorndurchmessers und der Anzahl der Windungen

Außendurchmesser des Probestücks d mm	Anzahl der Windungen	Dorndurchmesser mm
$d \leq 2,5$	6	5
$2,5 < d \leq 4,5$	6	9
$4,5 < d \leq 6,5$	6	13
$6,5 < d \leq 9,5$	4	19
$9,5 < d \leq 12,5$	2	40
$12,5 < d \leq 15,0$	2	60
$15,0 < d \leq 19,5$	1	80
$19,5 < d \leq 25,5$	1	130

Die Biegeprüfung sowohl an Kabeln für ortsfeste Verlegung und flexiblen Leitungen als auch an Adern wird bei einer Temperatur von $-25 ^\circ\text{C}$ (ohne Alterungsprüfung) und von $-15 ^\circ\text{C}$ (nach der Alterungsprüfung) durchgeführt. Der Mindestwert des Verhältnisses zwischen dem Durchmesser des Dorns und dem äußeren Durchmesser der Probe ist 3.

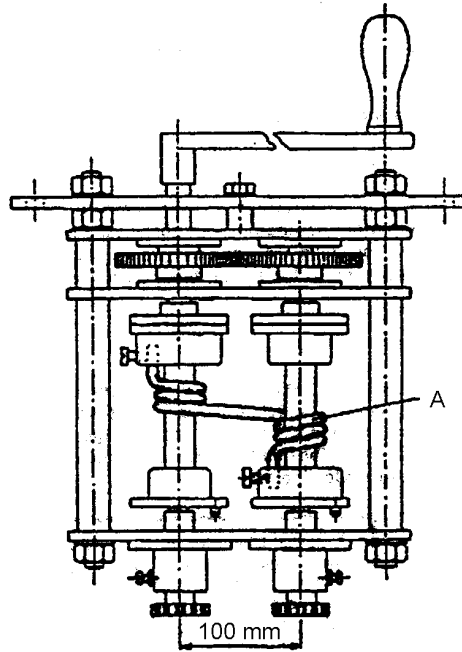


Bild 2.4.1.4 – Prüfeinrichtung für Biegeprüfung

Die Probe (in der Prüfeinrichtung befestigt) wird für mindestens 16 h in einem Klimaraum belassen, dessen Temperatur konstant auf dem vorgeschriebenen Wert gehalten wird. Nach dieser Behandlung wird die Probe, die noch auf dem vorgeschriebenen Wert gehalten wird, von dem einen Dorn abgewickelt und mit einer Geschwindigkeit von 1 Umdrehung innerhalb von etwa 5 s in engen Windungen auf den anderen Dorn aufgewickelt. Die Probe wird so belassen, bis sie die Umgebungstemperatur erreicht hat.

2.4.1.5 Verfahren A

Die Probe muss bei Raumtemperatur mit mindestens einer Windung um einen Zylinder gebogen werden, zum Beispiel um den Kern einer Spule. Die Probe muss dann abgewickelt werden, um 180° um ihre Längsachse gedreht werden und anschließend wieder mit mindestens einer Windung um denselben Zylinder gebogen werden.

Dieser Vorgang muss dreimal wiederholt werden, so dass insgesamt sechs Biegungen, drei in jeder Richtung, ausgeführt werden.

Der Durchmesser des Zylinders darf nicht größer sein als:

- $36 (d + D) + 5 \%$ für einadrige und mehradrige Kabel mit glattem oder gewelltem Aluminiummantel;
- $25 (d + D) + 5 \%$ für einadrige und mehradrige Kabel mit anderen Materialien des Metallmantels oder mit Metall-Kunststoff-beschichtetem Mantel;
- $15 (d + D) + 5 \%$ für einadrige Kabel ohne Metallmantel;
- $12 (d + D) + 5 \%$ für mehradrige Kabel ohne Metallmantel.

Dabei ist

D der Außendurchmesser der Probe in mm;

d der Leiterdurchmesser in mm.