

	DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.080.30	Einsprüche bis 2008-06-30	
Entwurf		
Isolationskoordination für Niederspannungsbetriebsmittel – Teil 2-1: Anwendungsleitfaden – Erläuterungen zur Anwendung der Normenreihe IEC 60664, Bemessungsbeispiele und Isolationsprüfungen (IEC 109/66/CD:2008)		
Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing (IEC 109/66/CD:2008)		
Anwendungswarnvermerk		
Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-04-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.		
Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.		
Stellungnahmen werden erbeten		
– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.		
Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.		
Gesamtumfang 115 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 109/66/CD:2008 „Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 2-1: Application guide – Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom TC 109 „Insulation co-ordination for low-voltage equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 123 „Isolationskoordination für Niederspannungs-Betriebsmittel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Gegenüber dem bereits zurückgezogenen Vorgänger-Dokument DIN VDE 0110-1 Bbl 1 (VDE 0110-1 Bbl 1): 2000-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige Neugestaltung und Anpassung an die aktuellen Ausgaben von IEC 60661-1, IEC 60664-4 und IEC 60664-5
- b) Einbringung von Beispielen für die Bemessung
- c) Auflistung von Entscheidungen und Optionen für die Technischen Komitees und Entwickler

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 50160:2007	–	DIN EN 50160:2008-04	–
EN 60079 Reihe	IEC 60079 Reihe	DIN EN 60079 Reihe	VDE 0170/0171 Reihe
– ^{N1)}	IEC 60085:2007	– ^{N1)}	–
EN 60112:2003	IEC 60112:2003	DIN EN 60112 (VDE 0303-11):2003-11	VDE 0303-11
EN 60216 Reihe	IEC 60216 Reihe	DIN EN 60216 Reihe	VDE 0304 Reihe
–	IEC 60364-4-44:2007	– ^{N1)}	–
EN 60664-1:2007	IEC 60664-1:2007	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2008-01	VDE 0110-1
EN 60664-3:2003	IEC 60664-3:2003	DIN EN 60664-3 (VDE 0110-3):2003-09	VDE 0110-3
EN 60664-4:2006	IEC 60664-4:2005	DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4):2006-06	VDE 0110-4
EN 60664-5:2007	IEC 60664-5:2007	DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2008-05 ^{N1)}	VDE 0110-5
– ^{N1)}	IEC 60669-1:2007	– ^{N1)}	–
EN 60947-1:2007	IEC 60947-1:2007	DIN EN 60947-1 (VDE 0660-100) :2008-04	VDE 0660-100
EN 61140:2002 + A1:2006	IEC 61140:2001 + A1:2004, modifiziert	DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007-03	VDE 0140-1
EN 62019:1999 + A1:2003 + A11:2005	IEC 62019:2003 (= IEC 62019:1999 + A1:2002)	DIN EN 62019 (VDE 0640):2006-01	VDE 0640

^{N1)} Norm in Vorbereitung.

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 50160:2008-03, *Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen; Deutsche Fassung EN 50160:2007*

DIN EN 60079 (VDE 0170) Reihe, *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche*

DIN EN 60112 (VDE 0303-11):2003-11, *Verfahren zur Bestimmung der Prüfwahl und der Vergleichszahl der Kriechwegbildung von festen, isolierenden Werkstoffen (IEC 60112:2003); Deutsche Fassung EN 60112:2003*

DIN EN 60216 (VDE 0304) Reihe, *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens*

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2008-01, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (IEC 60664-1:2007); Deutsche Fassung EN 60664-1:2007*

DIN EN 60664-3 (VDE 0110-3):2003-09, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 3: Anwendung von Beschichtungen, Eingießen oder Vergießen zum Schutz gegen Verschmutzung (IEC 60664-3:2003); Deutsche Fassung EN 60664-3:2003*

DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4):2006-06, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 4: Berücksichtigung von hochfrequenten Spannungsbeanspruchungen (IEC 60664-4:2005); Deutsche Fassung EN 60664-4:2006*

DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2008-05, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 5: Ein umfassendes Verfahren zur Bemessung der Luft- und Kriechstrecken für Abstände gleich oder unter 2 mm (IEC 60664-5:2007); Deutsche Fassung EN 60664-5:2007*

DIN EN 60947-1 (VDE 0660-100):2008-04, *Niederspannungsschaltgeräte – Teil 1: Allgemeine Festlegungen (IEC 60947-1:2007); Deutsche Fassung EN 60947-1:2007*

DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007-03, *Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel (IEC 61140:2001 + A1:2004, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61140:2002 + A1:2006*

DIN EN 62019 (VDE 0640):2006-01, *Elektrisches Installationsmaterial – Schutzschalter und ähnliche Geräte für Hausinstallationen – Hilfsschalter (IEC 62019:1999 + A1:2002); Deutsche Fassung EN 62019:1999 + A1:2003 + A11:2005*

**Isolationskoordination für Niederspannungsbetriebsmittel – Teil 2-1:
Anwendungsleitfaden – Erläuterungen zur Anwendung der Normenreihe
IEC 60664, Bemessungsbeispiele und Isolationsprüfungen**

Inhalt

	Seite
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Grundsätze der Isolationskoordination für Niederspannungsbetriebsmittel	10
4.1 Grundlegende Prinzipien	10
4.2 Koordination der Überspannungskategorien innerhalb von Betriebsmitteln	10
4.3 Bemessung der Luftstrecken	11
4.4 Bemessung der Kriechstrecken	11
4.5 Bemessung der festen Isolierung	11
4.6 Koordination von Luftstrecken und fester Isolierung	12
4.7 Bemessung der Funktionsisolierung	12
4.8 Bemessung in Bezug auf den Einfluss der Frequenz der Spannung	13
5 Anwendung der Bemessung entsprechend IEC 60664-1	15
5.1 Bemessung der Luftstrecken	15
5.2 Prüfung der Luftstrecken	17
5.3 Bemessung der Kriechstrecken	17
5.4 Bemessung der festen Isolierung	20
5.5 Beispiele für die Bemessung	26
6 Allgemeines Bemessungsdiagramm	33
7 Anwendung der Normenreihe IEC 60664 in bestimmten Beispielen	34
7.1 Bemessung und Prüfung von Funktionsisolierung im Vergleich zur Basisisolierung	34
7.2 Prüfung der Luft- und Kriechstrecken in vollständigen Geräten, wenn Bauteile die Basisisolierung überbrücken	34
7.3 Prüfung der Luft- und Kriechstrecken (IEC 60664-5) in vollständigen Geräten, wenn Bauteile die Basisisolierung überbrücken	35
7.4 Bemessung von Isolierstrecken für die Teile des Betriebsmittels, die Trenneigenschaft haben können	36
7.5 Prüfung in Bezug auf hochfrequente Spannungsbeanspruchung	36
8 Beispiele von Bemessungsarbeitsblättern (basierend auf Bedingung A entsprechend IEC 60664-1)	37
8.1 Anwendung von IEC 60664-1 für Stromkreise in Betriebsmitteln, die entweder direkt oder nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbunden sind	37
8.2 Anwendung von IEC 60664-5 für Stromkreise in Betriebsmitteln, die entweder direkt oder nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbunden sind	38
8.3 Anwendung von IEC 60664-4 für Stromkreise in Betriebsmitteln, die entweder direkt oder nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbunden sind	39
8.4 Typische Beispiele für die Bemessung der Luft- und Kriechstrecken von direkt mit dem Netz	

	Seite
verbundenen Betriebsmitteln (230/400 V) entsprechend IEC 60664-1 für Bedingung A (Basisisolierung, für Betriebsmittel in bis zu 2 000 m Höhe).....	41
8.5 Beispiele zum Vergleich der Bemessung der Luft- und Kriechstrecken entsprechend IEC 60664-1 und IEC 60664-5 für Bedingung A (Basisisolierung, für Betriebsmittel in bis zu 2000 m Höhe).....	43
8.6 Beispiele zum Vergleich der Bemessung der Luft- und Kriechstrecken entsprechend IEC 60664-1 und IEC 60664-4 für Bedingung A (Basisisolierung, für Betriebsmittel in bis zu 2000 m Höhe).....	45
Anhang A Überblick über die Abschnitte in IEC 60664-1, die Entscheidungen durch die Technischen Komitees oder Festlegungen von Optionen und Aktivitäten der Entwickler erfordern	48
A.1 Durch die Technischen Komitees zu treffende Entscheidungen.....	48
A.2 Durch die Technischen Komitees mögliche Entscheidungen	50
A.3 Durch die Entwickler zu treffende Entscheidungen.....	52
Anhang B Überblick über die Abschnitte in IEC 60664-4, die Entscheidungen durch die Technischen Komitees erfordern.....	53
B.1 Durch die Technischen Komitees zu treffende Entscheidungen.....	53
B.2 Durch die Technischen Komitees mögliche Entscheidungen	53
Anhang C Überblick über die Abschnitte in IEC 60664-5, die Entscheidungen durch die Technischen Komitees oder Festlegungen von Optionen und Aktivitäten der Entwickler erfordern	54
C.1 Durch die Technischen Komitees zu treffende Entscheidungen.....	54
C.2 Durch die Technischen Komitees mögliche Entscheidungen	57
C.3 Durch die Entwickler zu treffende Entscheidungen.....	59
Bilder	
Bild 1 – Abhängigkeit der Durchschlagsspannung fester Isolierungen von der Dauer der Spannungsbeanspruchung.....	12
Bild 2 – Zulässige Feldstärke bei Bemessung der festen Isolierung nach Gleichung (1)	15
Bild 3 – Reihenschaltung von Luftstrecke und fester Isolierung.....	22
Bild 4 – Kapazitiver Spannungsteiler	22
Bild 5.1 – Beispiel 1 ist eine einfache Darstellung eines Isoliersystems bestehend aus Funktions-, Basis- und Verstärker / Doppelter Isolierung für ein Betriebsmittel der Klasse I	26
Bild 5.2 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken eines Betriebsmittels der Klasse I basierend auf Überspannungskategorie III und der entsprechenden Stoßspannung	27
Bild 5.3 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken (Betriebsmittel der Klasse II).....	29
Bild 5.4 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken (Betriebsmittel der Klasse II).....	31
Bild 6 – Diagramm zur Bemessung der Luft- und Kriechstrecken und Berücksichtigung der festen Isolierung für Niederspannungsbetriebsmittel (bis zu 2 000 m) nach IEC 60664-1	33
Bild 7 – Anordnung zur Wechsellspannungsprüfung (oder Gleichspannungsprüfung)	35
Tabellen	
Tabelle 1 – Beispiele für Bemessungsspannungen 100 V und 230 V und Überspannungskategorie II	21
Tabelle 2 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.2 in IEC 60664-1 (Verschmutzungsgrad 2)	27

Tabelle 3 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.7a in IEC 60664-1, zeitweilige Überspannungen nach to 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1 ($U_n + 1\ 200\ V$).....	28
Tabelle 4 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.2 in IEC 60664- 1 (Verschmutzungsgrad 2)	29
Tabelle 5 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.7a in IEC 60664-1, zeitweilige Überspannungen nach to 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1 ($U_n + 1\ 200\ V$).....	30
Tabelle 6 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle 2 in IEC 60664-5.....	31
Tabelle 7 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle 3 in IEC 60664-5.....	32

Einleitung

Das folgende Schriftstück stellt eine Anleitung bezüglich der Isolationskoordination für die Technischen Komitees der IEC und für die Entwickler dar.

Es enthält allgemeine Informationen über die Bemessung von Luftstrecken, Kriechstrecken und festen Isolierungen für Betriebsmittel. Es bezieht sich auf die Normenreihe IEC 60664 mit dem Ziel, das Verständnis und die Anwendung dieser Normen durch die Technischen Komitees und die Entwickler zu fördern.

Die Isolationskoordination für Betriebsmittel beruht auf der Ermittlung der Mindestabmessungen für Luftstrecken, Kriechstrecken und feste Isolierungen, um eine sichere Verwendung des Betriebsmittels während dessen Lebensdauer unter Berücksichtigung der zu erwartenden Umgebungsbedingungen zu ermöglichen.

Die wesentlichen Parameter, die zum Verständnis der Normenreihe über die Isolationskoordination berücksichtigt werden müssen, sind:

- Die höchste Spannungsbeanspruchung, um einen Überschlag der Luftstrecken zu vermeiden;
- Die Eigenschaften der festen Isolierstoffe und die Umgebungsbedingungen in Bezug auf die Kriechwegbildung. In IEC 60664-3 werden Verfahren beschrieben, wie die Mikro-Umgebungsbedingungen an der Kriechstrecke verbessert werden können;
- Die Höhe der elektrischen Feldstärke in der festen Isolierung in Bezug auf die Gefahr der Entstehung von Teilentladungen und die dielektrischen Verluste wegen der Gefahr des Wärmedurchschlags. Die technischen Komitees und Entwickler müssen daher eine Teilentladungsprüfung in Betracht ziehen, wenn die höchste Spitzenspannung am Isolierstoff 700 V überschreitet und der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke größer als 1 kV/mm ist. Wegen der Tatsache, dass sowohl die Teilentladungen als auch die dielektrischen Verluste mit der Höhe der Frequenz der Spannung an Bedeutung zunehmen, gilt für Frequenzen größer als 30 kHz eine besondere Norm, nämlich IEC 60664-4;
- Wenn die Abmessungen der Kriechstrecken reduziert werden, dann erhält bei hoher Feuchte neben der Kriechwegbildung der Überschlag der Kriechstrecke eine zunehmende Bedeutung. Zur Berücksichtigung des Einflusses der Feuchte auf Kriechstrecken kleiner oder gleich 2 mm werden in IEC 60664-5 die Feuchtegrade eingeführt.

Auch andere Beanspruchungen wie Erwärmung, Schwingung, Stoss, Strahlung usw. können das Verhalten der festen Isolierstoffe in der Anwendungspraxis beeinflussen. Die Technischen Komitees und die Entwickler müssen die mit diesen Beanspruchungen verbundenen Gefahren in Betracht ziehen, wenn sie die Prüfbedingungen für unter den entsprechenden Bedingungen eingesetzte Geräte festlegen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Technische Fachbericht soll Technische Komitees und Entwickler dazu anleiten, die Bemessung der Betriebsmittel in Übereinstimmung mit der Normenreihe IEC 60664 zu erreichen.

Die wesentlichen in Betracht zu ziehenden Gesichtspunkte sind die folgenden:

- a) Die Nennspannung(en) oder die Bemessungs-Isolationsspannung(en);
- b) die Überspannungskategorie der Betriebsmittel;
- c) die Frequenz der Spannung;
- d) die Eigenschaften der festen Isolierstoffe;
- e) der Verschmutzungsgrad und der Feuchtegrad.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 50160:2000 ^{N2)}, *Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*

IEC 60079 series, *Explosive atmospheres*

IEC 60085:2007, Ed. 4, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60112:2003, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60216 series, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance*

IEC 60364-4-44:2007, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60664-1:2007, Ed. 2, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests.*

IEC 60664-3:2003, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution*

IEC 60664-4:2005, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress*

IEC 60664-5:2007, Ed. 2, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 5: A comprehensive method for determining clearances and creepage distances equal to or less than 2 mm*

IEC 60669-1:2007, Ed. 3.2, *Switches for household and similar fixed-electrical installations – Part 1: General requirements*

IEC 60947-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 62019:2003, *Electrical accessories – Circuit-breakers and similar equipment for household use – Auxiliary contact units*

^{N2)} Die aktuelle Fassung ist EN 50160:2007.

3 Begriffe

Es gelten die Begriffe der Normenreihe IEC 60664.

4 Grundsätze der Isolationskoordination für Niederspannungsbetriebsmittel

4.1 Grundlegende Prinzipien

Isolationskoordination umfasst die Auswahl der elektrischen Isolationseigenschaften eines Betriebsmittels hinsichtlich seiner Anwendung und in Bezug auf seine Umgebung.

Isolationskoordination kann nur erreicht werden, wenn die Bemessung des Betriebsmittels auf den Spannungsbeanspruchungen, denen es im Verlauf der zu erwartenden Lebensdauer voraussichtlich ausgesetzt ist, und auf den Mikroumgebungsbedingungen beruht.

Bezüglich der Spannungen müssen berücksichtigt werden:

- die Spannungen, die im System auftreten können;
- die Spannungen, die vom Betriebsmittel erzeugt werden (die andere Betriebsmittel im System ungünstig beeinflussen können);
- die Frequenz der Dauerspannungen. Für Frequenzen bis zu und einschließlich 30 kHz ist IEC 60664-1 ausreichend, oberhalb von 30 kHz muss IEC 60664-4 berücksichtigt werden;
- der Grad der Verfügbarkeit der verlangten Funktion;
- die Sicherheit von Personen und Sachen, so dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens unerwünschter Vorkommnisse, verursacht durch Spannungsbeanspruchungen, nicht zu einem unvermeidbaren Schadensrisiko führt.

ANMERKUNG Die in EN 50160 festgelegten Parameter der Spannungsqualität sind nicht für die Bemessung in Bezug auf die Isolationskoordination maßgebend. Die in EN 50160 bezüglich der Isolationskoordination angegebenen Daten stellen den ungünstigsten Fall dar.

Primär gilt die Isolationskoordination für Betriebsmittel, die direkt mit dem öffentlichen Niederspannungsnetz verbunden sind. Es wird jedoch empfohlen, die gleichen Grundsätze auch für alle anderen Niederspannungssysteme, die nicht mit dem öffentlichen Niederspannungsnetz verbunden sind, anzuwenden. In solchen Fällen können für die Betriebsmittel jedoch andere Überspannungskategorien gelten.

Die Isolationskoordination gilt auch für besonders geschützte Bereiche, so wie zum Beispiel in IEC 60079 beschrieben. In solchen Fällen gelten jedoch zusätzliche Anforderungen insbesondere bei der Festlegung der Überspannungskategorie und der Umgebungsbedingungen.

4.2 Koordination der Überspannungskategorien innerhalb von Betriebsmitteln

Bei Betriebsmitteln, die unmittelbar mit dem Stromversorgungsnetz verbunden sind, wird folgende Koordination in Bezug auf die transienten Überspannungen empfohlen:

- bei direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbundenen Stromkreisen gilt für die Bemessung die Überspannungskategorie des Betriebsmittels;
- bei nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbundenen Stromkreisen, zum Beispiel auf der Sekundärseite eines Transformators, gilt eine um eine Stufe niedrigere Überspannungskategorie als die des Betriebsmittels.

ANMERKUNG 1 Stromkreise, die zum Beispiel über einen Transformator mit Schirmwicklung oder mit geerdeter Sekundärseite angeschlossen sind, werden als nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbunden angesehen.

ANMERKUNG 2 Eine Stufe kann innerhalb der Zahlenwerte der Überspannungskategorien oder innerhalb der Zeilen in Tabelle F.1 von IEC 60664-1 berücksichtigt werden.

Wenn bei einem nicht direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbundenen Stromkreis innerhalb eines Betriebsmittels überspannungsbegrenzende Einrichtungen (SPD) verwendet werden, um eine niedrigere Überspannungskategorie anwenden zu können, dann muss die richtige Funktion solcher Schaltungen durch eine geeignete Prüfung mit einem Hybrid-Generator mit einer scheinbaren Impedanz von $2\ \Omega$ nachgewiesen werden.

ANMERKUNG 3 Die richtige Funktion einer überspannungsbegrenzenden Einrichtung (SPD) hängt von der Reihenimpedanz innerhalb des entsprechenden Stromkreises ab. Daher ist eine Prüfung der SPD im betreffenden Stromkreis notwendig.

4.3 Bemessung der Luftstrecken

Die in IEC 60664-1 oder IEC 60664-5 angegebenen Werte sind Mindestwerte. Diese müssen unter Berücksichtigung von Fertigungsschwankungen über die gesamte Lebensdauer des Betriebsmittels aufrecht erhalten werden. Bezüglich der erforderlichen Toleranzen müssen besondere Situationen wie z. B. die Montage von großen Geräten vor Ort, die Ergänzung von Verdrahtungen oder leitenden Gehäusen vor Ort in Betracht gezogen werden.

Wenn Luftstrecken nach IEC 60664-1 zwischen den Werten der Bedingung A und der Bedingung B bemessen werden, dann ist in jedem Fall eine Spannungsprüfung erforderlich. Wenn diese Prüfung mit Stossspannung innerhalb eines vollständigen Gerätes durchgeführt wird, dann kann ein Prüfgenerator mit sehr niedriger Impedanz notwendig werden. Für diesen Zweck kann ein Hybrid-Generator mit einer scheinbaren Impedanz von $2\ \Omega$ geeignet sein. In jedem Fall ist jedoch eine Messung der richtigen Prüfspannung unmittelbar an der Luftstrecke notwendig.

4.4 Bemessung der Kriechstrecken

Die Bemessungswerte in IEC 60664-1 berücksichtigen nicht den Gesichtspunkt des Mindest-Isolationswiderstands. Es kann daher insbesondere in elektronischen Geräten aus funktionellen Gründen erforderlich werden, dass die Bemessung vergrößert wird oder dass die Mikro-Umgebungsbedingungen an der Kriechstrecke verbessert werden. Informationen über die Bemessung in Bezug auf den Mindest-Isolationswiderstand sind in den Tabellen A.1 und A.2 von IEC 60664-5 enthalten.

Für Kriechstrecken auf gedruckten Schaltungen bei Verschmutzungsgrad 1 und 2 gilt nach IEC 60664-1 eine verkleinerte Bemessung. Eingeschlossen sind die Bauteile, die auf den gedruckten Schaltungen verwendet werden.

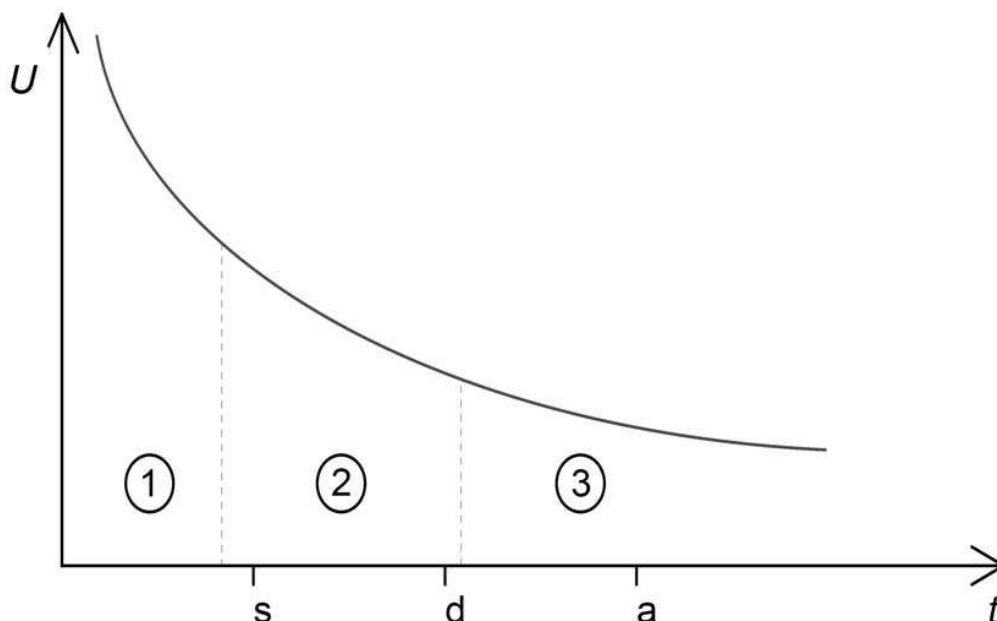
Die Bemessung der Kriechstrecken gleich oder kleiner als 2 mm nach IEC 60664-5 in Bezug auf die Kriechwegbildung und den Überschlag entlang der Isolierstoffoberfläche kann zu einer Verringerung der Abstände führen.

4.5 Bemessung der festen Isolierung

Manchmal wird die feste Isolierung entsprechend den vom Isolierstoffhersteller gelieferten Durchschlagswerten bemessen. Bei der Verwendung dieser Werte muss berücksichtigt werden, dass diese unter bestimmten und relativ günstigen Bedingungen bestimmt worden sind:

- normalerweise liegt homogene Feldverteilung vor;
- normalerweise werden die Prüfungen bei Raumtemperatur durchgeführt;
- normalerweise werden Kurzzeitprüfungen durchgeführt;
- häufig werden die Prüfungen mit Gleichspannung durchgeführt.

Den grundsätzlichen Einfluss der Dauer der Prüfung auf die Durchschlagspannung zeigt Bild 1. Der Zeitmassstab gilt für netzfrequente Spannung.



Legende:

s – Sekunden;

d – Tage;

a – Jahre;

Bereich 1 – Elektrischer Durchschlag;

Bereich 2 – Wärmedurchschlag;

Bereich 3 – Durchschlag durch Alterung (d. h. durch Teilentladungen).

Bild 1 – Abhängigkeit der Durchschlagspannung fester Isolierungen von der Dauer der Spannungsbeanspruchung

Im Vergleich zu den praktischen Bedingungen innerhalb von Geräten können solche Daten um Größenordnungen vom langzeitigen Stehvermögen solcher Isolierungen abweichen. Daher können diese Daten nicht direkt zur Bemessung der festen Isolierung verwendet werden.

Grundsätzlich ist in Bezug auf die in IEC 60664-1 festgelegte Isolationskoordination eine Bemessung der festen Isolierung entsprechend der Dicke und der maßgeblichen Durchschlagfeldstärke nur möglich, wenn die Feldverteilung homogen ist und keine Hohlräume oder Luftspalte innerhalb des Isoliersystems vorhanden sind (siehe IEC 60664-4 für hochfrequente Spannungsbeanspruchung) oder wenn die Feldstärke so niedrig ist, dass keine Teilentladungen auftreten.

4.6 Koordination von Luftstrecken und fester Isolierung

In vielen Fällen werden die Luftstrecken und die festen Isolierungen von der gleichen Spannung beansprucht. In diesem Fall sollte bei der Bemessung berücksichtigt werden, dass die Luftstrecken im Gegensatz zur festen Isolierung eine erneuerbare Isolierung sind. Das Stehvermögen der Luftstrecken sollte daher niedriger als das der festen Isolierung sein, damit ein Überschlag der Luftstrecke eintritt, bevor die feste Isolierung beschädigt werden kann.

4.7 Bemessung der Funktionsisolierung

Die in der Normenreihe IEC 60664 festgelegten Mindestluftstrecken, Mindestkriechstrecken und Anforderungen an die festen Isolierungen gelten auch für die Funktionsisolierung. Aus Funktionsgründen können jedoch zusätzliche Anforderungen gelten, wie z. B. in Bezug auf den Mindest-Isolationswiderstand (siehe Anhang A in IEC 60664-5).

Die Stehspannungsanforderungen für die Funktionsisolierung können jedoch von den für die Basisisolierung erforderlichen abweichen.

4.8 Bemessung in Bezug auf den Einfluss der Frequenz der Spannung

4.8.1 Grundsätzlicher Einfluss der Frequenz auf das Stehvermögen

Innerhalb des Anwendungsbereichs von IEC 60664-1 wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der Frequenz der Spannung für Frequenzen bis einschließlich 30 kHz durch die angegebenen Mindestwerte abgedeckt ist. Bei höheren Frequenzen muss von einer Verminderung des Stehvermögens jeder Art von Isolierung ausgegangen werden, und dies muss bei der Bemessung berücksichtigt werden.

Für Frequenzen über 30 kHz bis zu 10 MHz muss IEC 60664-4 zusammen mit IEC 60664-1 angewandt werden.

4.8.2 Einfluss der Frequenz auf das Stehvermögen der Luftstrecken

Das Stehvermögen von Luftstrecken mit homogener oder angenähert homogener Feldverteilung kann innerhalb des Anwendungsbereichs von IEC 60664-4 durch die Frequenz um bis zu 20 % ^{N3)} vermindert werden. Bei Frequenzen über 30 kHz wird das Feld dann als angenähert homogen angesehen, wenn der Krümmungsradius der leitenden Teile gleich oder größer als 20 % der Luftstrecke ist. Bei inhomogener Feldverteilung kann die Verminderung des Stehvermögens der Luftstrecken sehr viel größer sein.

Die Bemessung für das inhomogene Feld führt bei Hochspannungsbeanspruchung (> 1 kV) zu unrealistischen Abständen. Vorzugsweise wird daher eine Bemessung mit einer günstigeren Feldverteilung gewählt (angenähert homogene Feldverteilung).

Es ist zu beachten, dass innerhalb des Anwendungsbereichs der IEC 60664-4 das Stehvermögen nur für periodische Spannungen durch die Frequenz beeinflusst wird. Für transiente (Über)-Spannungen ist die Bemessung nach IEC 60664-1 oder IEC 60664-5 ausreichend.

Die Bemessung für angenähert homogene Feldverteilung erfolgt für 125 % der erforderlichen Stehspannung der Luftstrecke für Bedingung A der Tabelle F.7 in IEC 60664-1 oder der Tabelle 3 in IEC 60664-5. Es ist keine Stehspannungsprüfung erforderlich. Jedoch muss der Krümmungsradius der leitenden Teile gleich oder größer als 20 % der Luftstrecke sein.

Die Bemessung mit kleineren Abständen als für angenähert homogene Feldverteilung erfordert eine Stehspannungsprüfung nach 6.1.2 von IEC 60664-1 oder IEC 60664-5. Der Krümmungsradius der leitenden Teile muss gleich oder größer als 20 % der Luftstrecke sein. Jedoch kann die Mindestluftstrecke nicht kleiner als der Wert werden, den man für 125 % der erforderlichen Stehspannung der Luftstrecke entsprechend den Werten der Bedingung B in Tabelle F.7 von IEC 60664-1 oder Table 3 von IEC 60664-5 erhält.

Bei Frequenzen über 30 kHz wird das Feld dann als inhomogen angesehen, wenn der Krümmungsradius der leitenden Teile kleiner als 20 % der Luftstrecke ist. Die Bemessung für inhomogene Feldverteilung erfolgt für die erforderliche Stehspannung der Luftstrecke entsprechend der Werte in Tabelle 1 von IEC 60664-4. Es ist keine Stehspannungsprüfung erforderlich.

4.8.3 Einfluss der Frequenz auf das Stehvermögen der Kriechstrecken

Bei Frequenzen der Spannung über 30 kHz müssen außer der Kriechwegbildung auch thermische Effekte in Bezug auf das Stehvermögen der Kriechstrecken berücksichtigt werden. Die Bemessung muss sowohl für den erforderlichen Effektivwert der Stehspannung mit den Werten der Tabelle F.4 in IEC 60664-1 als auch für den erforderlichen Spitzenwert der Stehspannung mit den Werten der Tabelle 2 von IEC 60664-4 erfolgen. Dieser Spitzenwert der Stehspannung ist der höchste Wert jeder periodischen Spannung an der Kriechstrecke. Es gilt der größere der Abstände.

^{N3)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde von 25 % auf 20 % berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

E DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1):2008-04

In der Tabelle 2 von IEC 60664-4 ist für die Frequenzen Interpolation zulässig. Die Werte in Tabelle 2 von IEC 60664-4 gelten für Verschmutzungsgrad 1. Die Kriechstrecken für Verschmutzungsgrad 2 und 3 erhält man durch Anwendung eines Multiplikationsfaktors von 1,2 für Verschmutzungsgrad 2 beziehungsweise von 1,4 für Verschmutzungsgrad 3.

Die Bemessungswerte nach Tabelle 2 von IEC 60664-4 gelten für alle Isolierstoffe, die durch thermische Effekte geschädigt werden können. Eingeschlossen hierin sind typische Basismaterialien für gedruckte Schaltungen aus Epoxydharz. Bei Isolierstoffen, die durch thermische Effekte nicht geschädigt werden können und bei denen keine Kriechwegbildung erwartet werden muss, ist die Bemessung für Luftstrecken, wie zuvor beschrieben wurde, ausreichend.

4.8.4 Einfluss der Frequenz auf das Stehvermögen der festen Isolierungen

Bei Frequenzen über 30 kHz muss auch das verminderte Stehvermögen der festen Isolierungen bei der Bemessung berücksichtigt werden. Diese Verminderung wird durch zwei verschiedene Effekte hervorgerufen. Der erste Effekt ist die erhöhte Erwärmung der festen Isolierung, hervorgerufen durch dielektrische Verluste. Dies ist ein besonderes Problem bei Materialien mit hohem Verlustfaktor wie zum Beispiel bei geschichteter Papierisolierung. Der zweite Effekt ist die beschleunigte Schädigung hervorgerufen durch die hohe Folgefrequenz der Teilentladungen. Im normalen Betrieb sind daher keine Teilentladungen zulässig. Außerdem muss bei einer Erhöhung der Frequenz eine Verminderung der Teilentladungseinsetzspannung berücksichtigt werden.

Aus diesen Gründen erfordert eine genaue Bemessung der festen Isolierung eine Prüfung mit hochfrequenter Spannung. Solche Prüfungen sind jedoch schwierig und erfordern besondere Prüfmittel. Daher wird in IEC 60664-4 auch ein vereinfachtes Bemessungsverfahren basierend auf Mindestabständen vorgeschlagen.

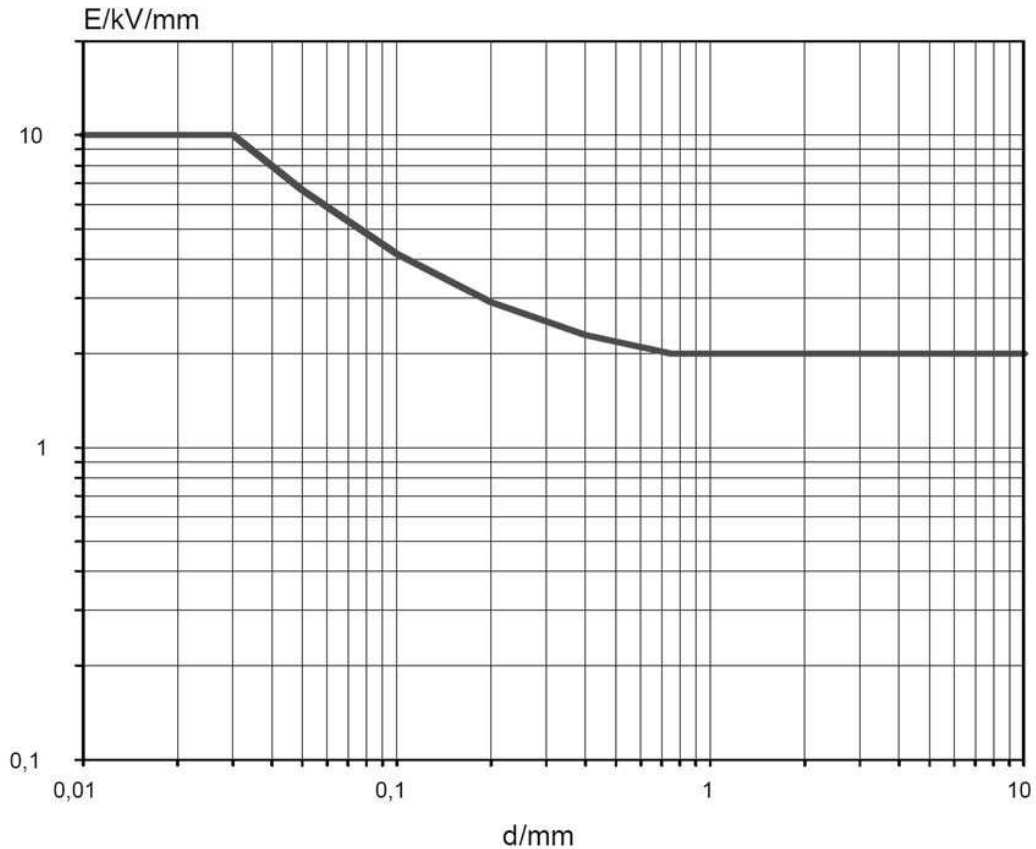
Dieses vereinfachte Bemessungsverfahren kann anstelle der Hochfrequenzprüfung nach Abschnitt 7 von IEC 60664-4 angewandt werden. Dieses gilt bis zu einer maximalen Frequenz der Spannung von 10 MHz unter den Voraussetzungen, dass die Feldstärke ungefähr gleichförmig ist, die in Gleichung (1) beziehungsweise Bild 2 festgelegten Werte nicht überschreitet und keine Hohlräume oder Luftspalte innerhalb bzw. zwischen der festen Isolierung vorhanden sind. In diesem Zusammenhang wird das elektrische Feld dann als ungefähr gleichförmig angesehen, wenn die Abweichungen weniger als $\pm 20\%$ vom Mittelwert der Feldstärke betragen.

Bei relativ dicken Schichten der festen Isolierung mit $d_1 \geq 0,75$ mm muss der Spitzenwert der Feldstärke kleiner oder gleich 2 kV/mm betragen. Für dünne Schichten der festen Isolierung mit $d_2 \leq 30$ μm muss der Spitzenwert der Feldstärke kleiner oder gleich 10 kV/mm betragen. Bei $d_1 > d > d_2$ muss für eine bestimmte Dicke d nach Gleichung (1) interpoliert werden (siehe auch Bild 2):

$$E = \left(\frac{0,25}{d} + 1,667 \right) \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \quad (1)$$

Die Anwendung der elektrischen Feldstärke zur Bemessung der festen Isolierung setzt eine angenähert homogene Feldverteilung voraus, es dürfen keine Hohlräume oder Luftspalte vorhanden sein. Wenn die Feldstärke nicht berechnet werden kann (weil das Feld inhomogen ist) oder deren Spitzenwert höher als der durch Gleichung 1 beziehungsweise Bild 2 vorgegebene Wert ist oder das Vorhandensein von Hohlräumen und Luftspalten nicht ausgeschlossen werden kann, oder für Frequenzen oberhalb von 10 MHz ist eine Stehspannungsprüfung oder eine TE-Prüfung mit hochfrequenter Spannung erforderlich. Die Erstgenannte gilt bezüglich kurzzeitiger Beanspruchungen, die Zweitgenannte bezüglich langzeitiger Beanspruchungen gemäß 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1.

In IEC 60664-3 werden zwei Arten des Schutzes verwendet, um eine kleinere Bemessung zu erhalten. Der Schutz vom Typ 2 wird als den festen Isolierungen vergleichbar angesehen. Da IEC 60664-3 auf IEC 60664-1 beruht, ist der Anwendungsbereich in Bezug auf die Frequenz auf bis zu 30 kHz begrenzt. Wenn daher der Schutz vom Typ 2 für Frequenzen größer als 30 kHz eingesetzt werden soll, dann gelten die zusätzlichen Anforderungen für feste Isolierungen in IEC 60664-4.



Legende:

E Feldstärke

Bild 2 – Zulässige Feldstärke bei Bemessung der festen Isolierung nach Gleichung (1)

5 Anwendung der Bemessung entsprechend IEC 60664-1

5.1 Bemessung der Luftstrecken

5.1.1 Anwendung der Tabellen F.2 und F.7 in IEC 60664-1 zur Bemessung der Luftstrecken

Das Ziel der Bemessung der Luftstrecken ist die Bestimmung eines Abstandes durch die Luft, der der maximalen Spitzenspannung an der Luftstrecke zwischen zwei Teilen mit unterschiedlichem Potential standhält. Nach dem Paschen-Gesetz hängt das maximale Stehvermögen der Luft vom Luftdruck ab. Daher sind die Tabellen F.2 und F.7 bis zu einer Höhe von 2000 m angegeben worden. Korrekturfaktoren für Höhen über 2 000 m sind in der Tabelle A.2 von IEC 60664-1 angegeben.

Der Verschmutzungsgrad (VS) hat keinen großen Einfluss auf die Bemessung der Luftstrecken. Wie aus Tabelle F.2 ersichtlich ist, sind oberhalb eines bestimmten Mindestwertes die Luftstrecken vom Verschmutzungsgrad unabhängig. Für kleine Luftstrecken, bei denen die Luftstrecke durch feste Teilchen, Staub und Betauung überbrückt werden könnte, muss der Verschmutzungsgrad jedoch beachtet werden.

ANMERKUNG Weitere Einzelheiten bezüglich der Bemessung von Luftstrecken kleiner als 2 mm unter Berücksichtigung der Feuchte enthält IEC 60664-5.

5.1.1.1 Anwendung der Tabelle F.2 in IEC 60664-1 und der Tabelle 2 in IEC 60664-5

In der praktischen Anwendung liegt jede Bemessung zwischen den in den Bedingungen A und B beschriebenen Fällen. Wenn die Bemessung nach den durch Bedingung A beschriebenen ungünstigsten Bedingungen erfolgt, dann sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Bei Fällen zwischen Bedingung A und Bedingung B ist eine Prüfung der Luftstrecke erforderlich.

ANMERKUNG 1 Die Bedingung B mit einem vollständig homogenen Feld zwischen zwei ebenen Oberflächen ist der günstigste Fall. In der praktischen Anwendung kann dieser nicht erreicht werden.

ANMERKUNG 2 Die Bedingung A mit einem stark inhomogenen Feld zwischen einer spitzen Nadel und einer ebenen Oberfläche ist der ungünstigste Fall.

Die Wahl des Verschmutzungsgrades muss in Übereinstimmung mit dem normalen Gebrauch des Betriebsmittels innerhalb der Makro-Umgebung erfolgen.

Die Feuchte ist eine Einflussgröße für die Verschmutzungsgrade. In IEC 60664-5 für kleine Abstände liegt der Schwerpunkt auf dem Einfluss der Feuchte als einer sehr wichtigen Einflussgröße, die zur Leitfähigkeit und damit zum Überschlag führt. Die Bemessung entsprechend der Feuchtegrade ist in Tabelle 2 von IEC 60664-5 angegeben.

ANMERKUNG 3 Ein Zusammenhang zwischen den Feuchtegraden und der relativen Feuchte der Mikro-Umgebung ist in Tabelle 1 von IEC 60664-5 angegeben.

Ein Überschlag einer Luftstrecke wird durch den Spitzenwert der höchsten an dieser Luftstrecke anliegenden Spannung verursacht. Es muss daher der Spitzenwert der höchsten Spannung, die an der Luftstrecke unter Nennbedingungen entsprechend den Herstellerangaben auftreten kann, bestimmt werden. Die erforderliche Stossspannung für direkt vom Niederspannungsnetz gespeiste Stromkreise kann direkt aus Tabelle F.1 von IEC 60664-1 entnommen werden.

ANMERKUNG 4 Die fest in Niederspannungsinstallationen eingebauten Betriebsmittel werden direkt vom Niederspannungsnetz gespeist. Normalerweise werden auch steckbare Geräte direkt vom Niederspannungsnetz gespeist. Die in Tabelle F.1 von IEC 60664-1 festgelegte Stossspannung hängt von der entsprechenden Überspannungskategorie ab. Die Überspannungskategorie I^{N4)} ist für direkt von Netz gespeiste Stromkreise nicht anwendbar.

ANMERKUNG 5 Auch im Falle von Gleichspannung kann die Bemessungsstossspannung aus Tabelle F.1 in IEC 60664-1 entnommen werden. Die Überspannungskategorien in Gebäuden können nach den gleichen Regeln, die von den technischen Komitees für Wechselspannung angewendet werden, bestimmt werden.

Anmerkung des Sekretariats: Die Nationalen Komitees werden gebeten, Kenntnisse und Erfahrungen bezüglich Gleichstromsystemen mitzuteilen.

Die in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 bzw. in Tabelle 2 von IEC 60664-5 festgelegte Mindestluftstrecke muss während der gesamten Lebensdauer des Betriebsmittels beibehalten werden.

5.1.1.2 Anwendung der Tabelle F.7 in IEC 60664-1 und der Tabelle 3 in IEC 60664-5

Tabelle F.7 in IEC 60664-1 und Tabelle 3 in IEC 60664-5 behandeln die Bemessung der Luftstrecken in Bezug auf die höchsten Spitzenspannungen, die durch Dauerspannungen, zeitweilige Überspannungen oder periodische Spitzenspannungen hervorgerufen werden.

Die in 5.1.1.1 für die Bedingungen A und B für Tabelle F.2 in IEC 60664-1 und für Tabelle 2 in IEC 60664-5 angestellten Überlegungen gelten auch für diese Tabellen.

Der Entwickler muss den höchsten Spitzenwert der Dauerspannung, zeitweiligen Überspannung oder periodischen Spitzenspannung ermitteln und die geeigneten Werte aus Tabelle F.7 in IEC 60664-1 und Tabelle 3 in IEC 60664-5 ermitteln.

^{N4)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde von „1“ in „I“ berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

ANMERKUNG 1 Im Falle von Gleichspannungssystemen gilt die Tabelle F.7 in IEC 60664-1 in ähnlicher Weise wie für Wechselspannungssysteme.

Dieser Wert muss mit dem Wert verglichen werden, der sich aus der für Tabelle F.2 in IEC 60664-1 oder Tabelle 2 von IEC 60664-5 gültigen Vorgehensweise ergibt, siehe 5.1.1.1.

ANMERKUNG 2 Der höchste Wert der Dauerspannungen und zeitweiligen Überspannungen für direkt von Netz gespeiste Betriebsmittel der Überspannungskategorie II und höher ist grundsätzlich niedriger als die erforderliche Stossspannung, die in Tabelle F.1 in IEC 60664-1 festgelegt ist. Zum Beispiel ist der höchste Wert der zeitweiligen Überspannungen für direkt vom Netz gespeiste Betriebsmittel in 5.3.3.2.3 von IEC 60664-1 für kurzzeitige zeitweilige Überspannungen wie folgt festgelegt: $U_n + 1\,200\text{ V}$. Der Spitzenwert dieser kurzzeitigen zeitweiligen Überspannung für ein mit dem 230/400 V Dreiphasennetz verbundenes Betriebsmittel ist niedriger als die erforderliche Stossspannung für Überspannungskategorie II gemäß Tabelle F.1 in IEC 60664-1.

5.2 Prüfung der Luftstrecken

Die Luftstrecken werden so bemessen, dass diese der erforderlichen Stossspannung standhalten, entweder

- durch Bemessung nicht unter den Werten für Bedingung A oder
- durch Nachweis mit einer Stossspannungsprüfung.

Für direkt mit dem Stromversorgungsnetz verbundene Betriebsmittel ist die erforderliche Stossspannung die entsprechend 4.3.3.3 in IEC 60664-1 bestimmte Bemessungs-Stoßspannung. Wenn Dauerwechselspannungen, periodische Spitzenspannungen oder zeitweilige Überspannungen größere Luftstrecken erfordern als für die Steh-Stoßspannung notwendig wäre, dann gelten die entsprechenden Werte in der Spalte mit den Spitzenwerten für Wechselspannung (50/60 Hz) der Tabelle A.1 in IEC 60664-1.

Luftstrecken für Basis- und zusätzliche Isolierung werden jeweils, wie in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 festgelegt, entsprechend der

- Bemessungs-Stoßspannung nach 4.3.3.3 in IEC 60664-1 oder 4.3.3.4.1 in IEC 60664-1 oder
- Steh-Stoßspannungsanforderung nach 4.3.3.4.2 in IEC 60664-1

bemessen.

In Bezug auf die Stoßspannungen werden die Luftstrecken der verstärkten Isolierung aus Tabelle F.2 in IEC 60664-1 entsprechend der Bemessungs-Stoßspannung ausgewählt, jedoch gegenüber den für Basisisolierung festgelegten Werten um eine Stufe höher in der Reihe der Vorzugswerte von 4.2.3 in IEC 60664-1.

Wenn die nach 4.3.3.4.2 in IEC 60664-1 geforderte Steh-Stoßspannung für Basisisolierung nicht einen Wert aus der Reihe der Vorzugswerte hat, ist die verstärkte Isolierung so zu bemessen, dass sie 160 % der Steh-Stoßspannung für Basisisolierung standhält.

ANMERKUNG Berührbare Oberflächen von Isolierstoffen sind bei der Bemessung von Luftstrecken als mit einer Metallfolie bedeckt zu betrachten. Weitere Einzelheiten können durch die Technischen Komitees festgelegt werden.

5.3 Bemessung der Kriechstrecken

5.3.1 Anwendung der Tabelle F.4 in IEC 60664-1 und der Tabelle 4 in IEC 60664-5 zur Bemessung der Kriechstrecken

Es ist davon auszugehen, dass die Verschmutzung auf der Oberfläche von Isolierstoffen im Allgemeinen nicht leitfähig ist. Durch den Einfluss von Feuchte auf der Oberfläche des Isolierstoffs wird jedoch die Leitfähigkeit der Verschmutzung verändert. Durch die höhere Leitfähigkeit kann ein Strom auf der Oberfläche des Isolierstoffs fließen, entweder zwischen zwei spannungsführenden Teilen oder zwischen einem spannungsführenden Teil und Erde. Dies sind die sogenannten Kriechströme. Während der Austrocknung wird der Kriechstrom unterbrochen, wodurch Abreißfunken entstehen, deren hohe Temperatur (ungefähr 1 200 °C) die Ursache der Schädigung der Isolierstoffoberfläche ist. Dieser Vorgang führt zur Kriechegbildung.

E DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1):2008-04

ANMERKUNG 1 Da unter den Bedingungen des VS 4 die Oberfläche ständig leitfähig ist, ist eine Bemessung der Kriechstrecken nicht möglich.

Es gibt einige Isolierstoffe wie z. B. Keramik und Glas, die keine Kriechwege bilden, da die Abreißfunken die chemischen Bindungen an der Oberfläche des Isolierstoffs nicht zerstören können. Durch Erfahrung und Prüfungen hat es sich herausgestellt, dass Isolierstoffe mit einem günstigeren Verhalten bezüglich der Kriechwegbildung auch annähernd die gleiche Rangfolge gemäß ihrer Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI) haben. Die CTI-Werte können nach dem in IEC 60112 angegebenen Verfahren bestimmt werden.

Aus praktischen Gründen wird in IEC 60664-1 eine Einteilung in vier verschiedene Isolierstoffgruppen vorgenommen:

- Isolierstoffgruppe I: $600 \leq \text{CTI}$;
- Isolierstoffgruppe II: $400 \leq \text{CTI} < 600$;
- Isolierstoffgruppe IIIa: $175 \leq \text{CTI} < 400$;
- Isolierstoffgruppe IIIb: $100 \leq \text{CTI} < 175$.

Mit der zuvor angegebenen Erklärung ist Tabelle F.4 in IEC 60664-1 wie folgt anzuwenden:

- erster Schritt: entsprechend der normalen Verwendung des Betriebsmittels ist der geeignete Verschmutzungsgrad auszuwählen;
- zweiter Schritt: Auswahl eines Isolierstoffs und Bestimmung der Isolierstoffgruppe entsprechend der Vergleichszahl der Kriechwegbildung;
- dritter Schritt: Bestimmung des Effektivwerts der höchsten langfristig an der Kriechstrecke anliegenden Spannung. Dieser höchste Wert kann entweder die Arbeitsspannung sein oder die höchste Bemessungsspannung, wenn das Betriebsmittel mehrere Bemessungsspannungen hat;

ANMERKUNG 2 Im Falle einer Bemessungs-Gleichspannung wird die entsprechende Bemessungs-Wechselspannung in Tabelle F.4 von IEC 60664-1 gewählt.

- vierter Schritt: Ablesung des Wertes an der Schnittstelle der gewählten Spalte mit der gewählten Zeile.

Nun müssen zwei Situationen in Betracht gezogen werden. Entweder ist die Kriechstrecke größer als die zugehörige Luftstrecke oder diese ist kleiner als die zugehörige Luftstrecke.

Wenn die Kriechstrecke größer als die zugehörige Luftstrecke ist, dann ist keine weitere Prüfung erforderlich. Wenn die Kriechstrecke kleiner als die zugehörige Luftstrecke ist und wenn das Feld inhomogen ist (Bedingung A der Tabelle F.2 in IEC 60664-1 und F.7 in IEC 60664-1), dann muss die Kriechstrecke weiterhin darauf geprüft werden, dass kein Überschlag an der Luftstrecke auftreten kann.

Das kann wie folgt erklärt werden. Für das homogene Feld sind in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 und F.7 von IEC 60664-1 die kleinsten Luftstrecken angegeben, die der höchsten Spannung standhalten. Es ist daher nicht möglich, die Kriechstrecke auf kleinere Werte zu reduzieren, als die in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 oder F.7 von IEC 60664-1 angegebenen Werte der Luftstrecken. In der Anwendungspraxis ist das Feld zwar grundsätzlich inhomogen, allerdings nicht so inhomogen wie das in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 oder F.7 von IEC 60664-1 beschriebene. Es kann daher sein, dass die tatsächlichen Feldbedingungen an der zu der Kriechstrecke gehörigen Luftstrecke ein ausreichendes Stehvermögen für die höchste Spannungsbeanspruchung ermöglichen. Das muss dann durch eine Stossspannungsprüfung überprüft werden.

5.3.2 Anwendung der Tabelle 5 in IEC 60664-5 zur Bemessung der Kriechstrecken

In feuchter Umgebung kann durch die sogenannte Wasseranlagerung an der Oberfläche des Isolierstoffs Wasser adsorbiert werden, wodurch das Risiko eines Überschlags erhöht wird. Die Isolierstoffe können in Bezug auf die Fähigkeit der Wasseranlagerung klassifiziert werden. Die in Anhang B von IEC 60664-5 beschriebene Prüfung ermöglicht die Klassifizierung der Isolierstoffe in Bezug auf die Wasseranlagerung. Es gibt vier Wasseranlagerungsgruppen (WAG) der Isolierstoffe.

Der Wassergehalt an der Isolierstoffoberfläche hängt von der Wasseranlagerungsgruppe (WAG) und vom Feuchtegrad (HL) ab. Das Risiko des Überschlags entlang der Kriechstrecke an der Isolierstoffoberfläche wächst mit dem Feuchtegrad (HL) und der Fähigkeit des Isolierstoffs zur Wasseranlagerung.

Für HL1 gilt die Bemessung nach den Luftstreckenanforderungen gemäß Tabelle 2 und Tabelle 3 in IEC 60664-5, da durch den Einfluss des Wassers das Risiko eines Überschlags nicht nennenswert erhöht wird.

Für HL2 und HL3 zeigt Tabelle 5 in IEC 60664-5 die Bemessung der Kriechstrecken in Bezug auf das Risiko eines Überschlags in Abhängigkeit von der Wasseranlagerungsgruppe. Da der Überschlag an der Isolierstoffoberfläche in Luft stattfindet, gilt die Tabelle 5 in IEC 60664-5 für Höhen bis zu 2 000 m über Meeresspiegel. Oberhalb von 2 000 m ist der Höhenkorrekturfaktor nach IEC 60664-1 anzuwenden.

Die Kriechstrecke muss den höheren Wert nach Tabelle 4 und Tabelle 5 in IEC 60664-5 aufweisen. Für homogene Feldbedingungen kann die Kriechstrecke offensichtlich nicht kleiner als die zugehörige Luftstrecke werden. Für inhomogene Feldbedingungen darf eine Kriechstrecke, die kleiner als die zugehörige Luftstrecke nach Tabelle 2 in IEC 60664-5 ist, nur unter HL1 und HL2 verwendet werden.

ANMERKUNG Im Falle von Gleichspannung ist der Spitzenwert, der in Tabelle 5 von IEC 60664-5 gewählt wird, gleich der höchsten Gleichspannung an der Kriechstrecke.

5.3.3 Prüfung der Kriechstrecken

Die in Tabelle F.4 von IEC 60664-1 angegebenen Kriechstrecken sind für Isolierungen ermittelt worden, die für langzeitige Dauerspannungsbeanspruchung bestimmt sind. Technische Komitees, die für Betriebsmittel verantwortlich sind, in denen die Isolierungen nur kurzzeitig mit Spannung beansprucht werden, dürfen die Verwendung kleinerer Kriechstrecken als in Tabelle F.4 von IEC 60664-1 angegeben in Betracht ziehen.

Kriechstrecken für Basis- und zusätzliche Isolierung sind aus Tabelle F.4 in IEC 60664-1 auszuwählen für:

- die entsprechend der Nennspannung des Niederspannungsnetzes zusammengefassten Spannungen in den Spalten 2 und 3 der Tabelle F.3a in IEC 60664-1 sowie in den Spalten 2, 3 und 4 der Tabelle 3b in IEC 60664-1;
- die Bemessungs-Isolationsspannung nach 4.3.2.2.1 in IEC 60664-1;
- die in 4.3.2.2.2 von IEC 60664-1 festgelegte Spannung.

ANMERKUNG Für die zusätzliche Isolierung können der Verschmutzungsgrad, der Isolierstoff, die mechanischen Beanspruchungen und die Umgebungsbedingungen von denen der Basisisolierung abweichen.

Kriechstrecken für verstärkte Isolierung müssen entsprechend Tabelle 4 in IEC 60664-1 mit dem doppelten Wert des für Basisisolierung erforderlichen Abstands bemessen werden.^{N5)}

5.3.4 Verringerung des Einflusses der Mikro-Umgebung auf die Bemessung der Kriechstrecken

Die Bemessung der Abstände zwischen den Leitern hängt von den Umgebungsbedingungen ab. In Bezug auf die Kriechwegbildung hängt der Verschmutzungsgrad von den Makro-Umgebungsbedingungen ab.

Die Makro-Umgebung beeinflusst die Mikro-Umgebung an der Isolierstoffoberfläche. Ohne Schutzmaßnahmen sind die Mikro-Umgebungsbedingungen gleich denen der Makro-Umgebung.

Es ist möglich, die Mikro-Umgebungsbedingungen an der Isolierstoffoberfläche durch Beschichtung, Eingießen oder Vergießen, so wie in IEC 60664-3 beschrieben, zu verbessern. Dieser Schutz ermöglicht günstigere Mikro-Umgebungsbedingungen, was eine Verminderung der Luft- und Kriechstrecken erlaubt.

In IEC 60664-3 werden die Anforderungen und Prüfungen für zwei Arten des dauerhaften Schutzes beschrieben, die für alle Arten von geschützten Leiterplatten einschließlich der Oberflächen der Innenlagen von mehrlagigen Leiterplatten, Substraten und ähnlich geschützten Anordnungen anwendbar sind. In dieser Norm zwei Arten des Schutzes vorgesehen.

^{N5)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

E DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1):2008-04

Der Schutz vom Typ 1 verbessert die Mikro-Umgebung der unter dem Schutz befindlichen Teile. Die Bemessung der unter dem Schutz befindlichen Teile muss entsprechend den Anforderungen für Abstände in IEC 60664-1 oder in IEC 60664-5 für Verschmutzungsgrad 1 erfolgen. Es ist notwendig, dass zwischen zwei leitenden Teilen eines oder beide leitfähige Teile und der Abstand dazwischen durch den Schutz abgedeckt sind.

Der Schutz vom Typ 2 wird ähnlich als eine feste Isolierung angesehen. Unter dem Schutz gelten die Anforderungen in IEC 60664-1 für feste Isolierungen und die Abstände dürfen nicht kleiner sein, als in Tabelle 1 von IEC 60664-3 festgelegt ist. Die Anforderungen für Luft- und Kriechstrecken in IEC 60664-1 oder IEC 60664-5 gelten nicht. Es ist erforderlich, dass zwischen zwei leitenden Teilen beide leitfähige Teile und der Abstand dazwischen durch den Schutz abgedeckt sind, wobei zwischen der Beschichtung, den leitenden Teilen und der Leiterplatte keine Luftspalte vorhanden sein dürfen.

5.4 Bemessung der festen Isolierung

5.4.1 Bemessung entsprechend der Durchschlagfeldstärke

Grundsätzlich kann eine Bemessung der festen Isolierung basierend auf den Angaben für die Durchschlagfeldstärke erfolgen. Dazu sind allerdings die Daten erforderlich, die für die Anwendungspraxis maßgebend sind, d. h. langzeitige Spannungsbeanspruchung sowie weiter erschwerende Einflüsse wie erhöhte Umgebungstemperatur, Feuchte oder mechanische Beanspruchung. Selbst wenn solche Daten zur Verfügung stehen, können einfache Bemessungsregeln nur dann aufgestellt werden, wenn die Feldverteilung innerhalb der festen Isolierung angenähert homogen ist, da anderenfalls die elektrische Feldstärke innerhalb der festen Isolierung nicht berechnet werden kann.

Beispiel:

- E_{Spitze} – Durchschlagfeldstärke der festen Isolierung (Spitzenwert): 45 kV/mm (angegeben durch den Hersteller des Isolierstoffs);
- d – Dicke der festen Isolierung: 0,1 mm;
- U_{Spitze} – Höchste Spannungsbeanspruchung (Spitzenwert): 4,5 kV.

Wenn innerhalb der festen Isolierung jedoch Luftstrecken vorhanden sind, dann kann dieses Verfahren in der Anwendungspraxis in hohem Masse irreführend sein. Das wird durch die inhomogene Spannungsaufteilung innerhalb eines solchen Isoliersystems und durch das im Vergleich zur festen Isolierung geringere Stehvermögen von Luft hervorgerufen. Diese Situation wird durch die Teilentladungsprüfung berücksichtigt.

5.4.2 Bemessung durch Prüfung

Wenn die Durchschlagfeldstärke für den beabsichtigten Verwendungszweck unbekannt ist und/oder die Feldverteilung innerhalb des festen Isolierstoffs nicht bekannt ist, kann die Eignung der festen Isolierung nur durch Prüfung entsprechend 6.1.3 in IEC 60664-1 bestimmt werden. Das erfordert auch die richtige Vorbehandlung nach 6.1.3.3 in IEC 60664-1.

Die folgenden Prüfungen sind in Betracht zu ziehen:

- a) Die Steh-Stoßspannungsprüfung zum Nachweis, dass die feste Isolierung der Bemessungs-Stoßspannung standhalten kann (siehe 5.3.3.2.2 in IEC 60664-1).
- b) die Wechsellspannungsprüfung zum Nachweis, dass die feste Isolierung
 - der kurzzeitigen zeitweiligen Überspannung (siehe 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1);
 - der höchsten Dauerspannung;
 - der periodischen Spitzenspannung (siehe 5.3.3.2.4 in IEC 60664-1)standhalten kann.

Die Stoßspannungsprüfung wird unter der Voraussetzung, dass der Scheitelwert der Prüf-Wechselspannung größer oder gleich der Bemessungs-Stoßspannung ist, durch die Wechsellspannungsprüfung mit abgedeckt.

Die feste Isolierung hat im Vergleich zu Luftstrecken ein unterschiedliches Stehvermögen, wenn die Dauer der Beanspruchung erhöht wird. Grundsätzlich ergibt sich dabei ein deutlich verringertes Stehvermögen. Deshalb darf eine Wechselspannungsprüfung, die zum Nachweis des Stehvermögens der festen Isolierung erforderlich ist, nicht durch eine Stoßspannungsprüfung ersetzt werden.

- c) Die Teilentladungsprüfung zum Nachweis, dass in der festen Isolierung keine Teilentladungen aufrechterhalten werden bei
 - der höchsten dauernd anliegenden Spannung;
 - der langzeitigen zeitweiligen Überspannung (siehe 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1);
 - der periodischen Spitzenspannung (siehe 5.3.3.2.4 in IEC 60664-1).
- d) Die hochfrequente Spannungsprüfung zum Nachweis, dass kein Isoliersversagen verursacht durch dielektrische Erwärmung entsprechend 5.3.3.2.5 in IEC 60664-1 auftritt.

Für Betriebsmittel, die mit unterschiedlichen Niederspannungsnetzen verbunden sind, gelten die folgenden Prüfspannungen, wenn die Teilentladungsprüfung und die Hochfrequenzprüfung nicht berücksichtigt sind:

**Tabelle 1 – Beispiele für Bemessungsspannungen 100 V und 230 V
und Überspannungskategorie II**

Isolierung 5.1.6 in IEC 60664-1	Stoßspannung (V) 6.1.3.3 in IEC 60664-1		Zur Berücksichtigung der Stoßspannungsprüfung in einer Höhe von 2000 m		Für die höchsten der in 6.1.3 b) von IEC 60664-1 genannten Spannungen ²⁾				
	Wechselspannung (Veff) ³⁾		Wechselspannung (Veff) 6.1.3.4 in IEC 60664-1						
	Bemessungs- spannung	Zeit	Bemessungs- spannung	Zeit	Bemessungsspannung	Zeit			
100 V	230 V	100 V	230 V	100 V	230 V				
Basis- und zusätzliche Isolierung	1.500	2.500	¹⁾	1.061	1.768	60 s	1.300	1.430	60 s
Verstärkte Isolierung	2.500	4.000		1.768	2.828		2.600	2.860	

¹⁾ 5 Stöße jeder Polarität mit einem Abstand von mindestens 1 s zwischen den Stößen.

²⁾ Diese Spannungen sind die kurzzeitige zeitweilige Überspannung, die höchste Dauerspannung und die periodische Spitzenspannung. Die Werte in den beiden Spalten entsprechen der kurzzeitigen zeitweiligen Überspannung, die normalerweise die schärfste Anforderung darstellt.

³⁾ Die Spitzenwerte dieser Spannungen sind gleich der Bemessungs-Stoßspannung.

5.4.3 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen

Es muss zwischen drei Fällen unterschieden werden.

Im ersten Fall wird bei der Bemessung die Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen mit Absicht vorgenommen. Dabei handelt es sich in der Regel um große Luftstrecken.

Im zweiten Fall ergibt sich die Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen aus dem besonderen Aufbau des Isoliersystems, z. B. durch die Verwendung mehrerer dünner Isolierstoffschichten.

Im dritten Fall ist die Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen ein Ergebnis der nicht fehlerfreien Herstellung der festen Isolierung einschließlich der Übergangsstelle zu den leitenden Teilen.

In den beiden letztgenannten Fällen liegen relativ kleine Luftspalte oder kleine Luftblasen mit der festen Isolierung in Reihe. In allen drei Fällen ist eine Berechnung der Spannungsaufteilung über die in Reihe geschalteten Isolierstrecken entsprechend der betreffenden Impedanzen notwendig.

E DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1):2008-04

Bei Gleichspannung werden diese Impedanzen durch die Isolationswiderstände bestimmt. Da in Luft der Isolationswiderstand nahezu unendlich ist, ist die Impedanz der Luftstrecke viel größer als die des festen Isolierstoffs. Daher liegt nahezu die gesamte Gleichspannung an der Luftstrecke an.

Bei Wechselspannung werden die Impedanzen der in Reihe geschalteten Isolierungen durch deren Kapazitäten bestimmt. Normalerweise brauchen bei den in IEC 60664-1 betrachteten relativ niedrigen Frequenzen die dielektrischen Verluste bei der Berechnung der Spannungsaufteilung nicht berücksichtigt zu werden. Die dielektrische Leitfähigkeit des festen Isolierstoffs hat daher den entscheidenden Einfluss auf die Spannungsaufteilung.

Um eine einfache Berechnung der kapazitiven Spannungsverteilung zu ermöglichen, werden diese Kapazitäten als Plattenkondensatoren mit homogener Feldverteilung angesehen. Dies ist in Bild 3 dargestellt.

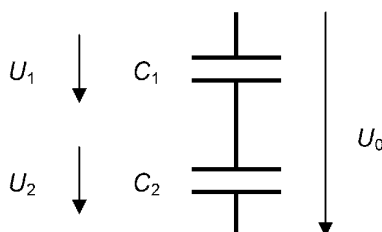


Legende:

- d – Gesamtdicke;
- d_1 – Luftstrecke;
- d_2 – Dicke des festen Isolierstoffs.

Bild 3 – Reihenschaltung von Luftstrecke und fester Isolierung

Aus C_1 und C_2 wird entsprechend Bild 4 ein kapazitiver Spannungsteiler gebildet, wodurch die Gesamtspannung U_0 entsprechend den Gleichungen (2) und (3) in die Teilspannungen U_1 und U_2 aufgeteilt wird.



Legende:

- U_0 – Anliegende Wechselspannung;
- C_1 – Kapazität der Luftstrecke;
- U_1 – Spannung an der Luftstrecke;
- C_2 – Kapazität der festen Isolierung;
- U_2 – Spannung an der festen Isolierung.

Bild 4 – Kapazitiver Spannungsteiler

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (1)$$

$$U_1 = U_0 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

$$U_2 = U_0 \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

Die Kapazitäten C_1 und C_2 werden nach den Gleichungen (4) und (5) ermittelt:

$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_1} \quad (4)$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d_2} \quad (5)$$

Für die Spannungsverteilung ist das in Gleichung (6) angegebene Kapazitätsverhältnis maßgebend:

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon_r} \quad (6)$$

Dabei ist

ε_0 – relative Dielektrizitätszahl der Luft;

ε_r – relative Dielektrizitätszahl des festen Isolierstoffs;

E_1 – Durchschlagfeldstärke der Luftstrecke;

E_2 – Durchschlagfeldstärke der festen Isolierung;

A – Fläche der Plattenkondensatoren C_1 und C_2 .

Die Durchschlagfeldstärke der Luftstrecke kann aus der Durchschlagwechselspannung und der entsprechenden Luftstrecke in Tabelle A.1 von IEC 60664-1 berechnet werden. Aus Gründen der Vereinfachung beruhen die in diesem Schriftstück angegebenen Beispiele auf den Bedingungen des homogenen Feldes. Die Durchschlagfeldstärke der festen Isolierung sollte vom Hersteller des Isolierstoffs angegeben werden.

Eine genaue Berechnung der Spannungsverteilung ist sehr viel komplizierter und die zuvor angegebene Formel kann nur als eine Annäherung für homogene Feldverteilung angesehen werden. Für kleine Abstände bis zu etwa 0,1 mm stellt diese eine sehr gute Annäherung dar. Für relativ große Abstände ist diese nicht geeignet.

5.4.3.1 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen gemäß Bemessung

Die folgenden Beispiele behandeln die Reihenschaltung aus Luftstrecken und festen Isolierungen, so wie sich das aus der Bemessung des Betriebsmittels ergibt.

5.4.3.1.1 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen gemäß Bemessung bei Gleichspannung

Bei Gleichspannung liegt wie zuvor gesagt die ganze Spannung an der Luftstrecke an. Daher muss die Luftstrecke so bemessen werden, dass sie dieser Spannung standhält. Im Falle eines Überschlags der Luftstrecke liegt die gesamte Spannung an der festen Isolierung.

Bemessungsregel: Um jegliche Beschädigung der festen Isolierung in dieser Situation zu vermeiden, muss auch die feste Isolierung so bemessen werden, dass diese der gesamten Spannung standhält.

5.4.3.1.2 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen gemäß Bemessung bei Wechselspannung

Bei Wechselspannung errechnet sich die Spannungsverteilung entsprechend der betreffenden Kapazitäten. Im folgenden Beispiel sind die Bemessungswerte so angenommen, wie dies sich mit großer Wahrscheinlichkeit ergeben wird, nämlich mit einer großen Luftstrecke und einer dünnen Schicht fester Isolierung in Reihenschaltung.

E DIN IEC 60664-2-1 (VDE 0110-2-1):2008-04

Beispiel:

$$d_1 = 3 \text{ mm}, d_2 = 0,1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r = 4,5$$

Anwendung von Gleichung (6) ergibt: $C_1 = 0,0\,074\,C_2$

Anwendung von Gleichung (2) ergibt: $U_1 = 0,993\,U_0$

Anwendung von Gleichung (3) ergibt: $U_2 = 0,007\,U_0$

Das Ergebnis ist, dass praktisch die gesamte Spannung an der Luftstrecke anliegt. Daher muss die Luftstrecke so bemessen werden, dass diese allein dieser Spannung standhält. Im Falle eines Überschlags der Luftstrecke liegt die gesamte Spannung an der festen Isolierung.

Bemessungsregel: Um jegliche Beschädigung der festen Isolierung in dieser Situation zu vermeiden, muss auch die feste Isolierung so bemessen werden, dass diese der gesamten Spannung standhält.

5.4.3.2 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen hervorgerufen durch Luftspalte oder Luftblasen

Die folgenden Beispiele behandeln die Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen als Folge des besonderen Aufbaus des Isoliersystems, z. B. durch die Verwendung mehrerer dünner Isolierstoffschichten und/oder als Ergebnis der nicht fehlerfreien Herstellung der festen Isolierung einschließlich der Übergangsstelle zu den leitenden Teilen. In diesen Fällen sind relativ kleine Luftstrecken oder Luftblasen mit der festen Isolierung in Reihe geschaltet.

5.4.3.2.1 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen hervorgerufen durch Luftspalte oder Luftblasen bei Gleichspannung

Bei Gleichspannung werden die entsprechenden Impedanzen durch die Isolationswiderstände bestimmt. Da in Luft der Isolationswiderstand nahezu unendlich ist, ist die Impedanz der Luftstrecke viel größer als die des festen Isolierstoffs. Daher liegt nahezu die gesamte Gleichspannung an der Luftstrecke an. Dadurch können innerhalb der Luftstrecke Teilentladungen entstehen, die die benachbarte feste Isolierung schädigen können. Allerdings ist bedingt durch die hohe Wiederaufladezeit der Spannung an der Luftstrecke die Wiederholfrequenz dieser Teilentladungen sehr gering. Daher ist das Schädigungspotential relativ gering und die Zeit bis zum Ausfall relativ lang. Außerdem ist bedingt durch die niedrige Wiederholfrequenz die Teilentladungsprüfung mit Gleichspannung sehr schwierig durchzuführen.

5.4.3.2.2 Reihenschaltung von Luftstrecken und festen Isolierungen hervorgerufen durch Luftspalte oder Luftblasen bei Wechselspannung

Bei Wechselspannung errechnet sich die Spannungsverteilung entsprechend der betreffenden Kapazitäten. Im folgenden Beispiel sind die Bemessungswerte so angenommen, wie dies sich mit großer Wahrscheinlichkeit ergeben wird, nämlich mit einer kleinen Luftstrecke und einer vergleichsweise dicken Schicht fester Isolierung in Reihenschaltung.

Das folgende Beispiel stellt eine realistischere Beschreibung der im Beispiel in 5.4.1 beschriebenen Situation dar.

Beispiel:

$$d = 0,1 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r = 4,5$$

$$E_{2\text{Spitze}} = 45 \text{ kV/mm.}$$

Fall a)

$$d_1 = 0,01 \text{ mm}, d_2 = 0,09 \text{ mm}$$

$$E_{1\text{Spitze}} = 33 \text{ kV/mm}$$

ANMERKUNG 1 Berechnet unter Berücksichtigung des entsprechenden Spitzenwerts der Durchschlagwechselspannung für homogene Feldverteilung aus Tabelle A.1 in IEC 60664-1 für $d_1 = 0,01 \text{ mm}$.

Anwendung von Gleichung (6) ergibt: $C_1 = 2 C_2$

Anwendung von Gleichung (2) ergibt: $U_1 = 0,333 U_0$

Anwendung von Gleichung (3) ergibt: $U_2 = 0,666 U_0$

Die Durchschlagfeldstärke E_1 der Luftstrecke ist

$$E_{1\text{Spitze}} = U_1/d_1 = 0,333 \cdot U_{0\text{Spitze}}/d_1 = 33 \text{ kV/mm}$$

Daher erfolgt der Durchschlag der Luftstrecke bei

$$U_{0\text{Spitze}} = E_{1\text{Spitze}} \cdot d_1/0,333 = 33 \cdot 0,01/0,333 \text{ kV} = 0,99 \text{ kV}$$

Das ist voraussichtlich auch die Teilentladungseinsetzspannung. Bei Wechselspannungsbeanspruchung ist die Wiederholfrequenz der Teilentladungen mindestens ebenso groß wie die Frequenz der Spannung. Daher ist das Schädigungspotential viel höher als bei Gleichspannung und ein Ausfall kann während viel kürzerer Zeiträume auftreten. Es darf daher keinesfalls ein höherer Spitzenwert einer Dauerspannung als 0,99 kV an diesem Isoliersystem auftreten.

Nach dem Beispiel in 5.4.1 wäre ein sehr viel günstigeres Verhalten der festen Isolierung mit einem Spitzenwert der Durchschlagspannung von 4,5 kV erwartet worden.

Fall b)

$$d_1 = 0,05 \text{ mm}, d_2 = 0,05 \text{ mm}$$

$$E_{1\text{Spitze}} = 11,2 \text{ kV/mm}$$

ANMERKUNG 2 Berechnet unter Berücksichtigung des entsprechenden Spitzenwerts der Durchschlagwechselspannung für homogene Feldverteilung aus Tabelle A.1 in IEC 60664-1 für $d_1 = 0,05 \text{ mm}$

Anwendung von Gleichung (6) ergibt ^{N6)}: $C_1 = 0,222 C_2$

Anwendung von Gleichung (2) ergibt ^{N6)}: $U_1 = 0,818 U_0$

Anwendung von Gleichung (3) ergibt ^{N6)}: $U_2 = 0,182 U_0$

Die Durchschlagfeldstärke E_1 der Luftstrecke ist

$$E_{1\text{Spitze}} = U_1/d_1 = 0,818 \cdot U_{0\text{Spitze}}/d_1 = 11,2 \text{ kV/mm}$$

Daher erfolgt der Durchschlag der Luftstrecke bei

$$U_{0\text{Spitze}} = E_{1\text{Spitze}} \cdot d_1/0,818 = 11,2 \cdot 0,05/0,818 \text{ kV} = 0,685 \text{ kV}$$

Das ist voraussichtlich auch die Teilentladungseinsetzspannung. Es darf daher keinesfalls ein höherer Spitzenwert einer Dauerspannung als 0,685 kV an diesem Isoliersystem auftreten.

ANMERKUNG 3 Dieser Wert von 685 V ist mit dem Wert von 700 V zu vergleichen, der in 6.1.3.1 von IEC 60664-1 als Anforderung für die Teilentladungsprüfung angegeben ist.

Nach dem Beispiel in 5.4.1 wäre ein sehr viel günstigeres Verhalten der festen Isolierung mit einem Spitzenwert der Durchschlagspannung von 4,5 kV erwartet worden. Das zeigt, dass insbesondere relativ große Luftspalte zu einem sehr ungünstigen Verhalten solcher Isolierungen führen.

^{N6)} Nationale Ergänzung analog zu Fall a).

5.5 Beispiele für die Bemessung

In den Bildern 5.1 bis 5.4 sind 4 Beispiele für die Bemessung der Luftstrecken angegeben, die die wesentlichen Einflussgrößen aufzeigen. Dies sind die Bemessungsspannungen, die Dauer-Stehspannungen, die Steh-Stoßspannung, die Überspannungskategorie, der Verschmutzungsgrad und die Art der Isolierung.

Die vier Überspannungskategorien sind in 4.3.3.2 von IEC 60664-1 angegeben. Der Begriff Überspannungskategorie ist gleichbedeutend mit dem in IEC 60364-4-44 verwendeten Begriff Stehstoßspannungskategorie. Die Bemessungsstoßspannung des Betriebsmittels muss entsprechend der festgelegten Überspannungskategorie und der Bemessungsspannung des Betriebsmittels ausgewählt werden. Siehe hierzu die Tabellen F.1 und F.2 in IEC 60664-1.

In der Mikro-Umgebung gibt es die vier in 4.6.2 von IEC 60664-1 angegebenen Verschmutzungsgrade.

In den folgenden Beispielen ist die Überspannungskategorie III und der Verschmutzungsgrad 2 angenommen worden, um die Bemessung der Luftstrecken gemäß den Tabellen F.2 und F.7 in IEC 60664-1 zu verdeutlichen.

Informationen über den grundlegenden Schutz und über die Basisisolierung werden in IEC 61140 gegeben.

In diesen Beispielen sind die nicht direkt mit dem Netz verbundenen Stromkreise (Sekundärseite des Transformators) für eine Überspannungskategorie (ÜS Kat) bemessen, die um eine Stufe niedriger als die des direkt mit dem Netz verbundenen Stromkreises ist.

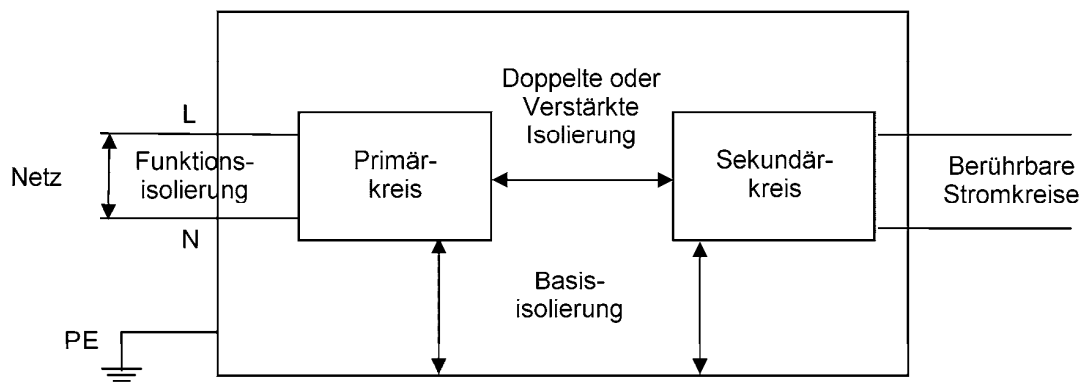
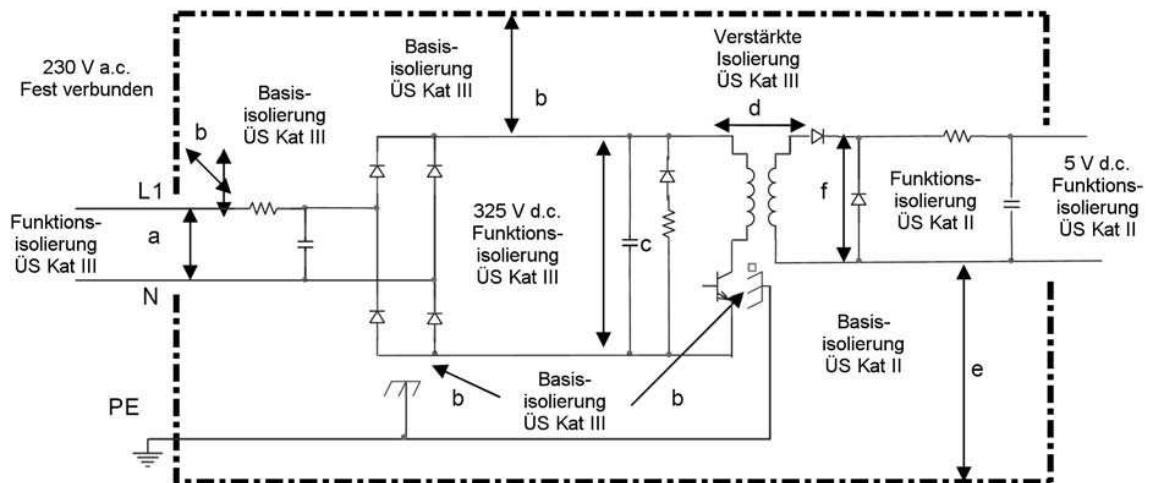


Bild 5.1 – Beispiel 1 ist eine einfache Darstellung eines Isoliersystems bestehend aus Funktions-, Basis- und Verstärkter / Doppelter Isolierung für ein Betriebsmittel der Klasse I



----- Schutz gegen direktes Berühren durch eine mit der Schutzterde (PE) verbundene leitfähige Umhüllung (Gehäuse)

Bild 5.2 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken eines Betriebsmittels der Klasse I basierend auf Überspannungskategorie III und der entsprechenden Stoßspannung

Tabelle 2 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.2 in IEC 60664-1 (Verschmutzungsgrad 2)

Beispiel 2	Art der Isolierung	Steh-Stoßspannung kV	Luftstrecke mm
a	Funktion	4,0	3,0
b	Basis	4,0	3,0
c	Funktion	4,0	3,0
d	Verstärkt	6,0	5,5
e	Basis	0,5	0,2
f	Funktion	0,5	0,2

Für die Stromkreise, die durch eine Überspannungsschutzeinrichtung gegen Überspannungen geschützt sind, dürfen die Luftstrecken der Funktionsisolierung entsprechend Tabelle F.2 ^{N7)} in IEC 60664-1 für einen kleineren Wert bemessen werden.

Die Luftstrecke für verstärkte Isolierung beruht auf den Werten der Bedingung A in Tabelle F.2 von IEC 60664-1 unter Auswahl von einer um eine Stufe höheren Steh-Stoßspannung (Vorzugswerte).

^{N7)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit F.2 anstelle von F.7 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

Tabelle 3 – Beispiel 2 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.7a in IEC 60664-1, zeitweilige Überspannungen nach to 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1 ($U_n + 1\ 200\ V$)

Bei- spie l 2	Art der Isolierung	Steh- Stoß- spannung kV	Zeitweilige Überspannung / Arbeitsspannung ^{b)} V	Luftstrecke (Tabelle F.2 in IEC 60664-1) (Steh-Stoß- spannung) mm	Luftstrecke (Tabelle F.7a in IEC 60664-1) (Zeitweilige Überspannung / Arbeits- spannung) mm	Luft- strecke ^{a)} mm
a	Funktion	4,0 ^{N8)}	n.a. / 325 (Spitze)	3,0	n.a. / 0,01	3,0 ^{N9)}
b	Basis	4,0	1 430 (Effektiv) / 325 (Spitze)	3,0	1,3 ^{N10)} / 0,01	3,0
c	Funktion	4,0 ^{N11)}	n.a. / 325 (d.c.)	3,0	n.a. / 0,01	3,0 ^{N12)}
d	Verstärkt	6,0	2 860 (Effektiv) / 325 (Spitze)	5,5	3,9 ^{N13)} / 0,01	5,5
e	Basis	0,5	n.a. / 5 (d.c.)	0,2	n.a. / 0,001	0,2
f	Funktion	0,5	n.a. / 5 (d.c.)	0,2	n.a. / 0,001	0,2

a) Es ist zu beachten, dass die Bemessung entsprechend Tabelle F.7 in IEC 60664-1 mit der nach Tabelle F.2 in IEC 60664-1 unter Berücksichtigung des Verschmutzungsgrads zu vergleichen ist. Die größere Luftstrecke ist zu wählen.

b) Wenn das Isoliersystem in Bezug auf die Arbeitsspannung bewertet wird, dann müssen periodische Spitzen berücksichtigt werden. In diesen Beispielen werden die periodischen Spitzen als vernachlässigbar angesehen. Lediglich der Spitzenwert der sinusförmigen Netzspannung wird berücksichtigt.

N8) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 4,0 anstelle von 2,5 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

N9) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,0 anstelle von 1,5 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

N10) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 1,3 anstelle von 0,68 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

N11) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 4,0 anstelle von 1,5 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

N12) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,0 anstelle von 0,68 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

N13) Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,9 anstelle von 2,23 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

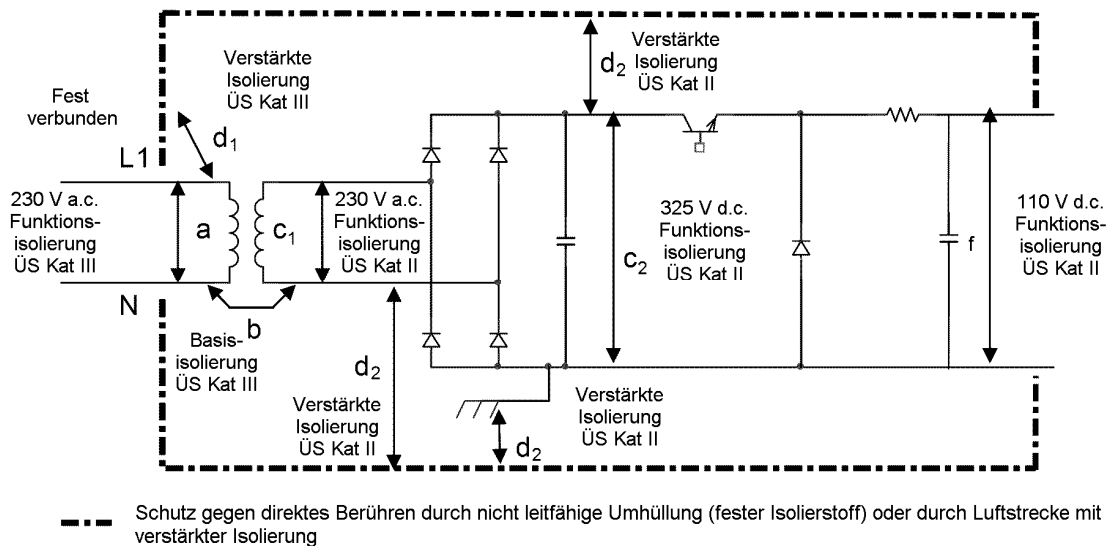


Bild 5.3 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken (Betriebsmittel der Klasse II)

Tabelle 4 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.2 in IEC 60664-1 (Verschmutzungsgrad 2)

Beispiel 3	Art der Isolierung	Steh-Stoßspannung kV	Luftstrecke mm
a	Funktion	4,0	3,0
b	Basis	4,0	3,0
c ₁ ¹⁾	Funktion	2,5	1,5
c ₂ ¹⁾	Funktion	2,5	1,5
d ₁	Verstärkt	6,0	5,5
d ₂ ²⁾	Verstärkt	4,0	3,0
f ¹⁾	Funktion	2,5	1,5

¹⁾ Die Luftstrecke beruht auf der Netzspannung und der Überspannungskategorie (230 V a.c. ÜS Kat III) und ist nach dem Transformator um eine Kategorie niedriger. Der tatsächliche Gleichspannungspegel nach der Gleichrichtung beeinflusst nicht die für die Bemessung des Isoliersystems verwendete Stoßspannung.

²⁾ Die Luftstrecke für verstärkte Isolierung beruht auf der Netzspannung und der Überspannungskategorie (230 V a.c. ÜS Kat III) und ist nach dem Transformator um eine Kategorie niedriger.

Tabelle 5 – Beispiel 3 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle F.7a in IEC 60664-1, zeitweilige Überspannungen nach to 5.3.3.2.3 in IEC 60664-1 ($U_n + 1\ 200\text{ V}$)

Bei- spiel 3	Art der Isolierung	Steh-Stoß- spannung kV	Zeitweilige Überspannung / Arbeitsspannung ^{b)} V	Luftstrecke (Tabelle F.2 in IEC 60664- 1) (Steh-Stoß- spannung) mm	Luftstrecke (Tabelle F.7a in IEC 60664-1) (Zeitweilige Überspannung / Arbeitsspan- nung) mm	Luft- strecke ^{a)} mm
a	Funktion	4,0	n.a. / 325 (Spitze)	3,0	n.a. / 0,01	3,0
b	Basis	4,0	1 430 (Effektiv) / 325 (Spitze)	3,0	1,3 ^{N14)} / 0,01	3,0
c ₁	Funktion	2,5	n.a. / 325 (Spitze)	1,5	n.a. / 0,01	1,5
c ₂	Funktion	2,5	n.a. / 325 (d.c.)	1,5	n.a. / 0,01	1,5
d ₁	Verstärkt	6,0	2 860 (Effektiv) / 325 (Spitze)	5,5	3,9 ^{N15)} / 0,01	5,5
d ₂	Verstärkt	4,0	2 860 (Effektiv) / 325 (Spitze)	3,0	3,9 ^{N16)} / 0,01	3,9 ^{N17)}
f	Funktion	2,5	n.a. / 110 (d.c.)	1,5	n.a. / 0,004	1,5 ^{N18)}
a) Es ist zu beachten, dass die Bemessung entsprechend Tabelle F.7 in IEC 60664-1 mit der nach Tabelle F.2 in IEC 60664-1 unter Berücksichtigung des Verschmutzungsgrads zu vergleichen ist. Die größere Luftstrecke ist zu wählen. b) Wenn das Isoliersystem in Bezug auf die Arbeitsspannung bewertet wird, dann müssen periodische Spitzen berücksichtigt werden. In diesen Beispielen werden die periodischen Spitzen als vernachlässigbar angesehen. Lediglich der Spitzenwert der sinusförmigen Netzspannung wird berücksichtigt.						

^{N14)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 1,3 anstelle von 0,68 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N15)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,9 anstelle von 2,23 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N16)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,9 anstelle von 2,23 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N17)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 3,9 anstelle von 3,0 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N18)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit 1,5 anstelle von 2,5 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

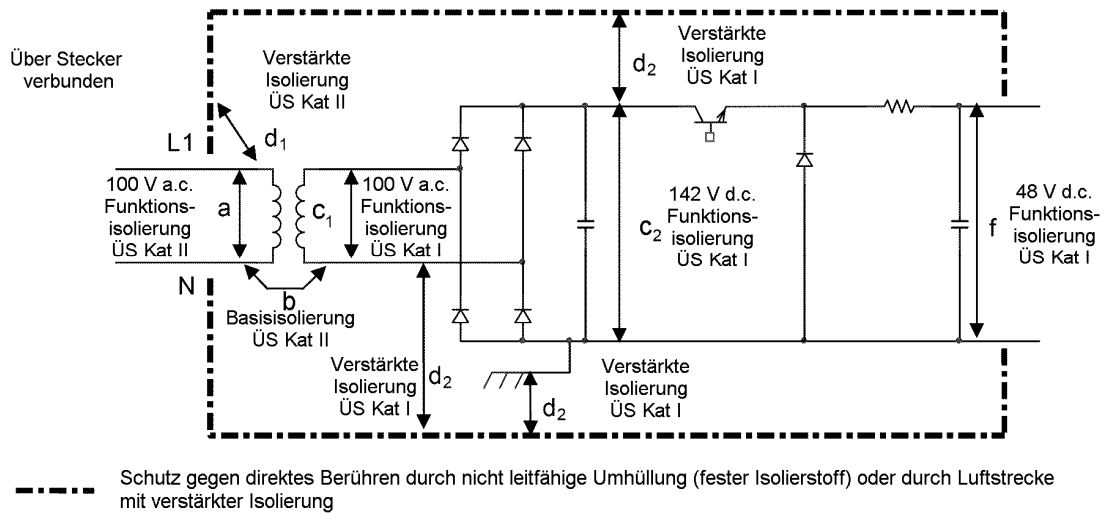


Bild 5.4 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken (Betriebsmittel der Klasse II)

Tabelle 6 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle 2 in IEC 60664-5

Beispiel 4	Art der Isolierung	Steh-Stoßspannung kV	Luftstrecke mm
a	Funktion	0,8	0,1
b	Basis	0,8	0,1
c ₁	Funktion	0,5	0,04
c ₂	Funktion	0,5	0,04
d ₁	Verstärkt	1,5	0,5
d ₂	Verstärkt	0,8	0,1
f	Funktion	0,5	0,04

**Tabelle 7 – Beispiel 4 für die Bemessung der Luftstrecken entsprechend Tabelle 3
in IEC 60664-5**

Bei- spiel 4	Art der Isolierung	Steh-Stoß- spannung kV	Zeitweilige Überspannung / Arbeitsspannung ^{b)} V	Luftstrecke (Tabelle 2 in IEC 60664-5) (Steh-Stoß- spannung) mm	Luftstrecke (Tabelle 3a in IEC 60664-5) (Zeitweilige Überspannung / Arbeitsspan- nung) mm	Luft- strecke ^{a)} mm
a	Funktion	800	n.a. / 141 (Spitze)	0,1	n.a. / 0,01	0,1
b	Basis	800	1 300 (Effektiv) / 141 (Spitze)	0,1	1,1 ^{c)} / 0,01	1,1
c ₁	Funktion	500	n.a. / 141 (Spitze)	0,04	n.a. / 0,01	0,04
c ₂	Funktion	500	n.a. / 141 (Spitze)	0,04	n.a. / 0,01	0,04
d ₁	Verstärkt	1,5	2 600 (Effektiv) / 141 (Spitze)	0,5	3,4 ^{c)} / 0,01	3,4
d ₂	Verstärkt	800	2 600 (Effektiv) / 141 (Spitze)	0,1	3,4 ^{c)} / 0,01	3,4
f	Funktion	500	n.a. / 48 (Spitze)	0,04	n.a. / 0,01	0,04
a) Es ist zu beachten, dass die Bemessung entsprechend Tabelle 2 ^{N19)} in IEC 60664-5 mit der nach Tabelle 3 ^{N20)} in IEC 60664-5 unter Berücksichtigung des Verschmutzungsgrads zu vergleichen ist. Die größere Luftstrecke ist zu wählen. b) Wenn das Isoliersystem in Bezug auf die Arbeitsspannung bewertet wird, dann müssen periodische Spitzen berücksichtigt werden. In diesen Beispielen werden die periodischen Spitzen als vernachlässigbar angesehen. Lediglich der Spitzenwert der sinusförmigen Netzspannung wird berücksichtigt. c) Ermittelt durch lineare Interpolation der Werte in Tabelle 3 von IEC 60664-5 (Inhomogenes Feld ^{N21)}).						

Die Luftstrecke beruht auf der Netzspannung und der Überspannungskategorie (230 V a.c. ÜS Kat III) und ist nach dem Transformator um eine Kategorie niedriger. Der tatsächliche Gleichspannungspegel nach der Gleichrichtung beeinflusst nicht die für die Bemessung des Isoliersystems verwendete Stoßspannung.

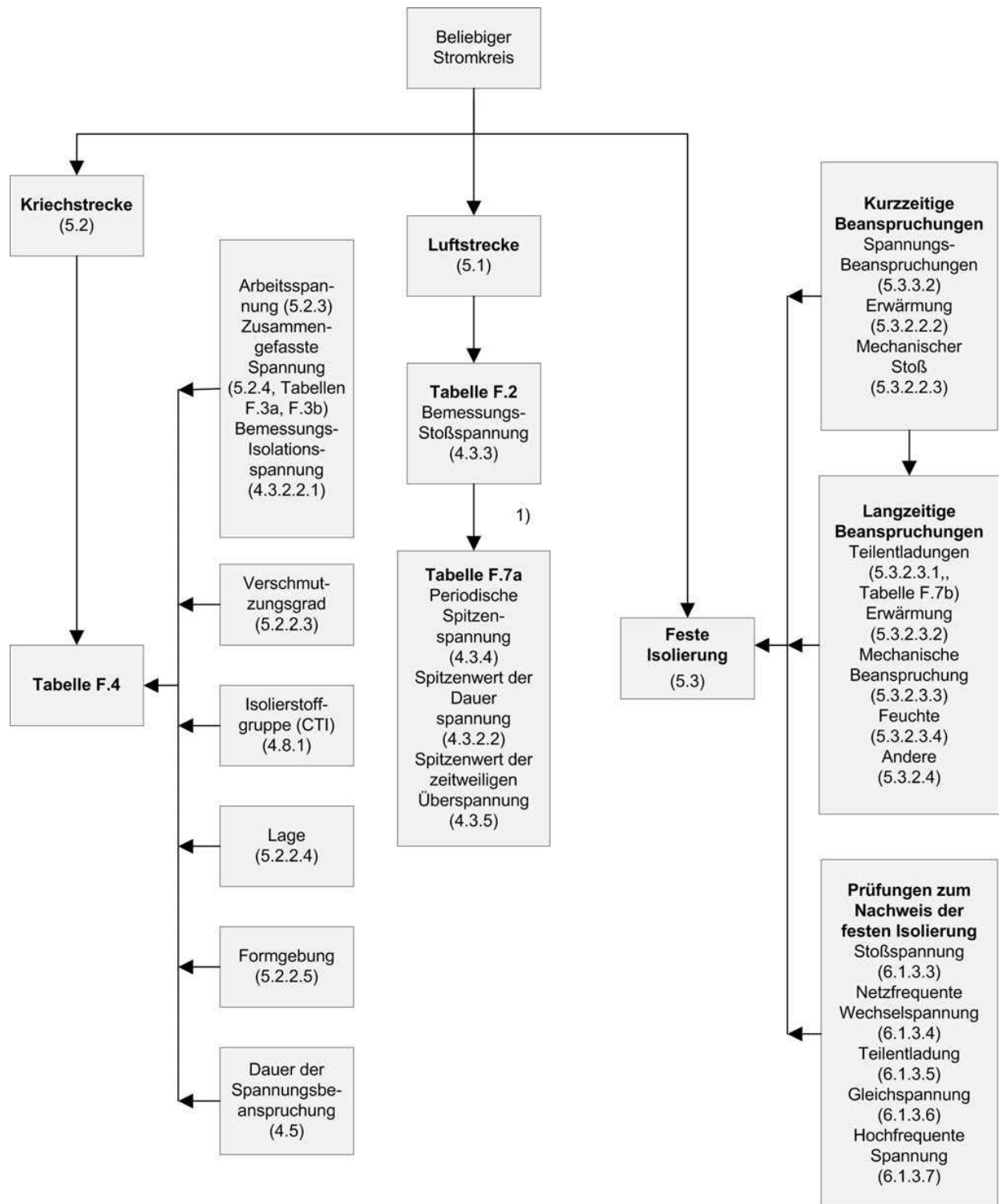
Die Luftstrecke für verstärkte Isolierung beruht auf der Netzspannung und der Überspannungskategorie (230 V a.c. ÜS Kat III) und ist nach dem Transformator um eine Kategorie niedriger.

^{N19)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit Tabelle 2 in IEC 60664-5 anstelle von Tabelle F.7 in IEC 60664-1 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N20)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit Tabelle 3 in IEC 60664-5 anstelle von Tabelle F.2 in IEC 60664-1 berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

^{N21)} Der Fehler im englischen Manuskript wurde mit „Inhomogenes Feld“ anstelle von „Homogenes Feld“ berichtigt, und in der deutschen Stellungnahme wird um entsprechende Änderung gebeten.

6 Allgemeines Bemessungsdiagramm



ANMERKUNG Die Luftstrecke ist der größere der aus Tabelle F.2 oder Tabelle F.7a in IEC 60664-1 ermittelten Werte.

Bild 6 – Diagramm zur Bemessung der Luft- und Kriechstrecken und Berücksichtigung der festen Isolierung für Niederspannungsbetriebsmittel (bis zu 2 000 m) nach IEC 60664-1

7 Anwendung der Normenreihe IEC 60664 in bestimmten Beispielen

7.1 Bemessung und Prüfung von Funktionsisolierung im Vergleich zur Basisisolierung

Die Bemessung der festen Isolierung sollte nach den gleichen Grundsätzen und mit den gleichen Prüfungen wie in der Normenreihe IEC 60664 für Basisisolierung festgelegt erfolgen.

Die erforderliche Stehspannung einer Luftstrecke der Funktionsisolierung ist die höchste Stoßspannung oder Dauerspannung (bezogen auf Tabelle F.7 in IEC 60664-1) oder periodische Spitzenspannung (bezogen auf Tabelle F.7 in IEC 60664-1), die an dieser innerhalb der Bemessungsdaten des Betriebsmittel und zwar insbesondere der Bemessungsspannung und der Bemessungsstoßspannung (bezogen auf Tabelle F.2 in IEC 60664-1) zu erwarten ist.

Die Kriechstrecken der Funktionsisolierung müssen entsprechend der an der betrachteten Kriechstrecke liegenden Arbeitsspannung, so wie dies in Tabelle F.4 in IEC 60664-1 festgelegt ist, bemessen werden.

Wenn IEC 60664-5 angewandt wird, dann müssen die Kriechstrecken der Funktionsisolierung in Bezug auf die Kriechwegbildung entsprechend der Arbeitsspannung und der Tabelle 4 in IEC 60664-5 und zur Vermeidung des Überschlags entsprechend der höchsten Spitzenspannung und der Tabelle 5 in IEC 60664-5 bemessen werden, wobei der höhere Wert gilt.

Wenn die Arbeitsspannung für die Bemessung verwendet wird, dann ist die Interpolation für dazwischen liegende Spannungswerte erlaubt. Dabei muss linear interpoliert werden und die Werte sind mit der gleichen Stellenzahl zu runden wie die entsprechenden Tabellenwerte.

In Betriebsmitteln die nur für kurze Zeit an Spannung liegen, dürfen die Kriechstrecken der Funktionsisolierung kleiner bemessen werden, zum Beispiel eine Spannungsstufe niedriger als in Tabelle F.4 von IEC 60664-1 festgelegt.

Die Prüfung der Funktionsisolierung erfolgt nach den gleichen Verfahren wie in 6.1 von IEC 60664-1 festgelegt. Die Prüfspannungen können jedoch von den für die Basisisolierung geforderten Werten abweichen.

7.2 Prüfung der Luft- und Kriechstrecken in vollständigen Geräten, wenn Bauteile die Basisisolierung überbrücken

Das Betriebsmittel wird zunächst dahingehend vorbereitet, dass nach 6.1.4.1 in IEC 60664-1 alle Bauteile, die die Basisisolierung überbrücken, wie z. B. Überspannungsbegrenzende Einrichtungen, entfernt werden. Die Prüfung wird dann in Übereinstimmung mit 6.1.4 von IEC 60664-1 unter den in der Produktnorm festgelegten Bedingungen oder Beschränkungen durchgeführt.

Es muss dann sichergestellt werden, dass die Bauteile, die die Basisisolierung überbrücken und die während der Stossspannungsprüfung zur Prüfung der Basisisolierung entfernt worden sind, nicht die Sicherheit oder das Verhalten der Basisisolierung im normalen Gebrauch des Betriebsmittels beeinflussen.

Die zuvor entfernten Bauteile werden daher wieder verbunden und das Betriebsmittel wird wie folgt einer Wechsel- oder Gleichspannungsprüfung zwecks Überprüfung unterzogen, dass die Bauteile, die die Basisisolierung überbrücken, nicht die Sicherheit in Bezug auf die kurzzeitigen zeitweiligen Überspannungen beeinträchtigen.

Prüfspannung ist eine 50/60-Hz-Wechselspannung. Für Basisisolierung beträgt der Effektivwert der Prüfspannung $1\,200\text{ V} + U_n$. Dabei ist U_n der Nennwert der Spannung zwischen Leiter und Neutraleiter. Zur Prüfdauer siehe 6.1.3.4.1 in IEC 60664-1.

ANMERKUNG 1 Hierzu folgendes Beispiel: Für ein Betriebsmittel mit einer Nennspannung von $U_n = 250\text{ V}$ ist der Wert der Prüfwechselspannung für Basisisolierung $1\,200\text{ V} + 250\text{ V}$. Das heißt, der Effektivwert der Prüfwechselspannung beträgt $1\,450\text{ V}$.

ANMERKUNG 2 Für den Fall, dass die Durchführung der Wechselspannungsprüfung nicht möglich ist, darf eine Gleichspannungsprüfung mit einer Prüfspannung gleich oder größer als der Scheitelwert der Wechselspannung in Betracht gezogen werden.

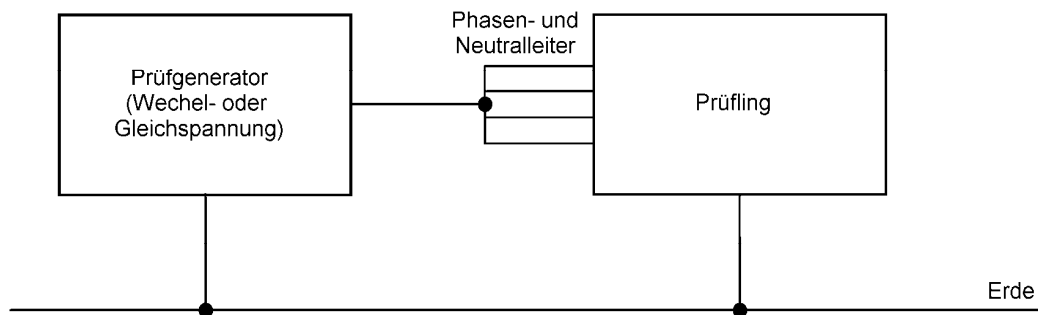


Bild 7 – Anordnung zur Wechselspannungsprüfung (oder Gleichspannungsprüfung)

Die Prüfspannung wird allmählich für die in 6.1.3.4.1 von IEC 60664-1 festgelegte Zeit angelegt.

Prüfkriterium: Das Betriebsmittel wird einer Sichtprüfung unterzogen; kein Bauteil, das die Basisisolierung überbrückt, sollte eine sichtbare Veränderung aufweisen. Danach wird das Betriebsmittel entsprechend den Angaben des Herstellers mit dem Netz verbunden. Das Betriebsmittel sollte dann bestimmungsgemäß arbeiten.

ANMERKUNG 3 Wenn vor dem Anschluss an das Netz eine Sicherung ausgewechselt werden muss, ist das nicht zu beanstanden. Wenn eine zum Schutz eines Überspannungsableiters vorgesehene Sicherung auslöst, ist es auch nicht zu beanstanden, wenn der Überspannungsableiter mit ausgewechselt wird.

7.3 Prüfung der Luft- und Kriechstrecken (IEC 60664-5) in vollständigen Geräten, wenn Bauteile die Basisisolierung überbrücken

Wenn das Betriebsmittel Bauteile enthält, die die Funktionsisolierung zwischen spannungsführenden Teilen, die mit dem Netz verbunden sind, überbrücken, wird die Stoßspannungsprüfung wie folgt durchgeführt.

ANMERKUNG Zur Prüfung vollständiger Betriebsmittel sind nur Generatoren mit niedriger Impedanz geeignet (z. B. 2 Ω).

7.3.1 Prüfung der Luft- und Kriechstrecken (IEC 60664-5)

Das Betriebsmittel wird zunächst dahingehend vorbereitet, dass nach 6.1.4.1 in IEC 60664-1 alle Bauteile, die die Basisisolierung überbrücken, wie z. B. Überspannungsbegrenzende Einrichtungen, entfernt werden. Die Prüfung wird dann in Übereinstimmung mit 6.1.4 von IEC 60664-1 unter den in der Produktnorm festgelegten Bedingungen oder Beschränkungen durchgeführt.

7.3.2 Prüfung der Bauteile

Um die Sicherheit der zuvor entfernten Bauteile nachzuweisen, werden diese wieder verbunden, und das Betriebsmittel wird unter den gleichen Bedingungen geprüft.