

	DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4)	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 Ersatz für DIN VDE 0110-1 Beiblatt 2 (VDE 0110-1 Beiblatt 2):1998-08 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Isulationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 4: Berücksichtigung von hochfrequenten Spannungsbeanspruchungen (IEC 60664-4:2005); Deutsche Fassung EN 60664-4:2006 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress (IEC 60664-4:2005); German version EN 60664-4:2006 Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 4: Considérations sur les contraintes de tension à haute fréquence (CEI 60664-4:2005); Version allemande EN 60664-4:2006 Gesamtumfang 63 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2005-10-01 angenommene EN 60664-4 gilt als DIN-Norm ab 2006-06-01.

Daneben darf **DIN VDE 0110-1 Bbl 2 (VDE 0110-1 Bbl 2):1998-08** noch bis 2008-10-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60664-4 (VDE 0110-4):2002-10.

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

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 109 „Insulation co-ordination for low-voltage equipment“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Diese Norm hat den Status einer Sicherheits-Grundnorm in Übereinstimmung mit dem IEC Guide 104. Sie muss zusammen mit IEC 60664-1 oder IEC 60664-5 benutzt werden.

Diese zweite Ausgabe der IEC 60664-4 ersetzt die erste Ausgabe, die im Jahre 1997 als Technischer Fachbericht herausgegeben worden war. Diese stellt eine technische Überarbeitung dar und hat nun den Status einer Internationalen Norm.

Reihe IEC 60664 mit dem Obertitel *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems* besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Principles, requirements and tests
- Teil 2: Application guide
- Teil 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution
- Teil 4: Consideration of high-frequency voltage stress
- Teil 5: A comprehensive method for determining clearances and creepage distances equal to or less than 2 mm

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0110-1 Bbl 2 (VDE 0110-1 Bbl 2):1998-08** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einbeziehung von neueren Informationen über das Stehvermögen von Isolierungen bei hochfrequenter Spannungsbeanspruchung (siehe die Anhänge A, B und C);
- b) Einbeziehung von Anforderungen für die Bemessung der Luftstrecken bei hochfrequenter Spannungsbeanspruchung (siehe Abschnitt 4);
- c) Einbeziehung von Anforderungen für die Bemessung der Kriechstrecken bei hochfrequenter Spannungsbeanspruchung (siehe Abschnitt 5);
- d) Einbeziehung von Anforderungen für die Bemessung der festen Isolierungen bei hochfrequenter Spannungsbeanspruchung (siehe Abschnitt 6);
- e) Einbeziehung von Diagrammen zur Anleitung bei der Bemessung in Bezug auf die hochfrequente Spannungsbeanspruchung (siehe Anhang F);

- f) Festlegung von Prüfungen in Bezug auf die hochfrequente Spannungsbeanspruchung (siehe Abschnitt 7);
- g) Einbeziehung von Prüfkreisen für Stehspannungsprüfungen und Teilentladungsprüfungen mit hochfrequenten Spannungen (siehe D.1 und D.2.1);
- h) Einbeziehung von Bemessungsregeln für Teilentladungsprüfkreise mit hochfrequenten Prüfspannungen (siehe D.2.2);
- i) Einbeziehung von Regeln für die Behandlung nicht sinusförmiger Spannungsbeanspruchungen (siehe Abschnitt 8 und Anhang E).

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0110-1 Bbl 2 (VDE 0110-1 Bbl 2): 1998-08

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 nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60112:2003	IEC 60112:2003	DIN EN 60112 (VDE 0303-11):2003-11	VDE 0303-11
EN 60270:2001	IEC 60270:2000	DIN EN 60270 VDE (0434):2001-08	VDE 0434
EN 60664-1:2003	IEC 60664-1:1992 + A1:2000 + A2:2002	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2003-11	VDE 0110-1
EN 60664-5:2003	IEC 60664-5:2003	DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2004-04	VDE 0110-5
—	IEC Guide 104:1997	—	—

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN 60270 (VDE 0434):2001, Hochspannungs-Prüftechnik - Teilentladungsmessungen (IEC 60270:2000); Deutsche Fassung EN 60270:2001.

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2003-11, Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (IEC 60664-1:1992 + A1:2000 + A2:2002); Deutsche Fassung EN 60664-1:2003.

DIN EN 60664-5 (VDE 0110-5):2004-04, 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 60664-5:2003); Deutsche Fassung EN 60664-5:2003.

Isulationskoordination für elektrische Betriebsmittel in
Niederspannungsanlagen
Teil 4: Berücksichtigung von hochfrequenten Spannungsbeanspruchungen
(IEC 60664-4:2005)

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

Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension
Partie 4: Considérations sur les contraintes de tension à haute fréquence
(CEI 60664-4:2005)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2005-10-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, 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: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60664-4:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 109/51/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60664-4, ausgearbeitet von dem IEC/TC 109 „Insulation co-ordination for low-voltage equipment“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2005-10-01 als EN 60664-4 angenommen.

Diese Europäische Norm muss in Verbindung mit EN 60664-1 oder EN 60664-5 angewendet werden.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2006-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2008-10-01

Diese Europäische Norm verweist auf Internationale Normen. Wenn eine in Bezug genommene Internationale Norm als Europäische Norm anerkannt (übernommen) wurde oder wenn eine rein Europäische Norm existiert, so muss stattdessen die Europäische Norm angewandt werden. Die Webseite des CENELEC nennt entsprechende Informationen.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60664-4:2005 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Luftstrecken	8
4.1 Allgemeine Bedingungen.....	8
4.2 Grundlegende Angaben	9
4.3 Homogene und angenähert homogene Feldverteilung	9
4.4 Inhomogene Feldverteilung	10
5 Kriechstrecken	12
5.1 Versuchsergebnisse	12
5.2 Bemessung der Kriechstrecken.....	12
6 Feste Isolierungen	14
6.1 Allgemeine Betrachtung	14
6.2 Einflussgrößen.....	14
6.3 Bemessung der festen Isolierungen	15
7 Prüfungen mit hochfrequenten Spannungen.....	16
7.1 Grundlegende Anforderungen	16
7.2 Prüfspannungsquelle.....	17
7.3 Vorbehandlung	17
7.4 Hochfrequente Durchschlagprüfung.....	17
7.5 Hochfrequente Teilentladungsprüfung	17
7.6 Beispiele von Prüfergebnissen	20
8 Nicht sinusförmige Spannungen	20
8.1 Allgemeine Betrachtung	20
8.2 Periodische Impulsspannungen	20
8.3 Harmonische Analyse.....	21
8.4 Bemessungsverfahren und Prüfung	21
Anhang A (informativ) Isolationsverhalten von Luftstrecken bei hochfrequenten Spannungen.....	22
Anhang B (informativ) Isolationsverhalten von Kriechstrecken bei hochfrequenten Spannungen.....	29
Anhang C (informativ) Isolationsverhalten der festen Isolierung bei hochfrequenten Spannungen	32
Anhang D (normativ) Prüfung der Isolierungen mit hochfrequenten Spannungen	39
Anhang E (informativ) Beanspruchung der Isolierungen mit nicht sinusförmigen hochfrequenten Spannungen	51
Anhang F (informativ) Bemessungsdiagramme	56
Literaturhinweise	58

Bild 1 – Bemessung von inhomogenen Luftstrecken bei atmosphärischem Druck (Spitze-Platte-Elektroden, 5 µm Radius) zur Vermeidung von TE (Luftstrecke ≥ 1 mm) oder Durchschlag (Luftstrecke < 1 mm)	11
Bild 2 – Bemessung der Kriechstrecken zur Vermeidung von Teilentladungen (Kriechstrecke ≥ 1 mm) oder Durchschlag (Kriechstrecke < 1 mm)	13
Bild 3 – Zulässige Feldstärke bei Bemessung der festen Isolierung nach Gleichung (3)	16
Bild 4 – Periodische Impulsspannung (siehe Teil 1)	20
Bild A.1 – Durchschlag bei Hochfrequenz in Luft bei Atmosphärendruck, homogene Feldverteilung, Frequenzbereich 50 Hz bis 25 MHz [3]	23
Bild A.2 – Durchschlag bei Hochfrequenz in Luft bei Atmosphärendruck, homogene Feldverteilung, Frequenzbereich 50 Hz bis 2,5 MHz [4]	24
Bild A.3 – Nadelspitze nach (obere) und vor (untere) dem Durchschlag	25
Bild A.4 – TE-Einsatzspannung in Luft bei Atmosphärendruck für $f = 100$ kHz, Spitze-Platte-Elektroden mit unterschiedlichem Spitzenradius [6]	26
Bild A.5 – TE-Aussetzspannung und Durchschlagspannung in Luft bei Atmosphärendruck für $f = 460$ kHz, Spitze-Platte-Elektroden mit BB-Nadeln [6]	27
Bild A.6 – TE-Aussetzspannung und Durchschlagspannung in Luft bei Atmosphärendruck bei $f = 1$ MHz, Spitze-Platte-Elektroden mit BB-Nadeln [6]	28
Bild B.1 – Prüflinge zur Messung der TE-Spannungen und der Stehspannungen von Kriechstrecken bis zu 6,3 mm	29
Bild B.2 – Versuchsergebnisse der TE-Aussetzspannung U_e von Kriechstrecken bis zu 6,3 mm [6]	31
Bild B.3 – Versuchsergebnisse der Durchschlagspannung U_b von Kriechstrecken bis zu 6,3 mm [6]	31
Bild C.1 – Stehvermögen von Beschichtungen gegenüber TE; konstante Prüfspannung U_t ($f = 50$ Hz) [12]	33
Bild C.2 – Stehvermögen von Beschichtungen gegenüber TE; linear ansteigende Prüfspannung U_t ($f = 50$ Hz) [12]	33
Bild C.3 – Durchschlag bei Hochfrequenz, feste Isolierung; $d = 0,75$ mm [15]	35
Bild C.4 – Durchschlag bei Hochfrequenz, feste Isolierung, Einfluss der Luftfeuchtigkeit; Vorbehandlung bei 50 °C; #1: Phenolharz mit Glimmerfüllung, $d = 0,75$ mm; #2: Silikon-Glasgewebe, $d = 1,5$ mm [19]	36
Bild C.5 – Durchschlag bei Hochfrequenz, Isolierfolien; #1: Cellulose-Acetobutyrat; #2: Polycarbonat; #3: Cellulose-Triacetat [20]	37
Bild C.6 – Durchschlag bei Hochfrequenz, Isolierfolien; #1: Polystyrol; $d = 80$ µm; #2: Polyäthylen, $d = 50$ µm [20]	38
Bild D.1 – Hochfrequenz-Resonanzübertrager; Einfluss der Windungszahl der Sekundärspule N_2 auf die Ausgangsspannung U_2 ; $N_1 = 20$; $N_2 = 210/280/350/420/560$ [22]	39
Bild D.2 – Hochfrequenz-Leistungssoszillator [5] und [6]	40
Bild D.3 – TE-Prüfschaltung für hochfrequente Spannungsprüfungen [22]	41
Bild D.4 – Blockschaltbild des Prüfkreises [5] und [6]	42
Bild D.5 – TE-Impulswiedergabe bei einer angenommenen Folgefrequenz der TE-Impulse von 2 MHz für verschiedene obere Grenzfrequenzen f_c des Prüfkreises; eingeschlossen ist ein Bandsperrfilter 3. Ordnung mit $f_{\text{Mitte}} = 1$ MHz [5] und [6]	43
Bild D.6 – Ersatzschaltung eines TE-Prüfkreises mit konzentrierten Bauelementen [5]	44
Bild D.7 – Übertragungseigenschaften von TE-Prüfkreisen für eine TE-Impulsspannungsquelle bzw. für eine TE-Impulsstromquelle [5]	45

Bild D.8 – Eingangssignal U_{ein} und Messsignal U_{m} abhängig von der Kapazität des Kopplungskondensators C_k (Kapazität des Prüflings $C_3 = 10 \text{ pF}$) [5]	47
Bild D.9 – TE-Prüfung von Optokopplern mit hochfrequenter Spannung [30].....	48
Bild D.10 – TE-Prüfung von Impulstransformatoren; Einfluss der Frequenz der Spannung [30].....	49
Bild D.11 – TE-Prüfung von beschichteten Leiterplatten; U_i , $d = 0,2 \text{ mm}$ [30]	49
Bild D.12 – Lebensdauer t von Kupfer-Lackdrähten (verdillte Drähte) bei hochfrequenter Spannung; die Beanspruchung liegt 10 % über der TE-Einsatzspannung [31]	50
Bild E.1 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform.....	52
Bild E.2 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform; Spektrum	52
Bild E.3 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit Überschwngen (siehe Bild 4).....	53
Bild E.4 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit Überschwngen; Spektrum	53
Bild E.5 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit Schwingung (1 MHz)	54
Bild E.6 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit Schwingung (1 MHz); Spektrum.....	54
Bild E.7 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit hohem Überschwngen	55
Bild E.8 – Periodische Impulsspannung, Rechteckform mit hohem Überschwngen; Spektrum	55
Bild F.1 – Bemessungsdiagramm für Luftstrecken.....	56
Bild F.2 – Bemessungsdiagramm für Kriechstrecken.....	57
 Tabelle 1 – Mindestluftstrecken bei atmosphärischem Druck für inhomogene Feldverteilung	 12
Tabelle 2 – Mindestkriechstrecken d für verschiedene Frequenzbereiche	14
Tabelle B.1 – In die Untersuchungen einbezogene Isolierstoffe	30
Tabelle D.1 – Daten der Prüfspannungsquelle [5] und [6].....	40

Einleitung

Hohe elektrische Beanspruchungen treten auch in Niederspannungsbetriebsmitteln auf. Die Frequenz liegt dort in der Regel bei 50/60 Hz, jedoch können bei einigen Anwendungen höhere (400 Hz) oder niedrigere Frequenzen (16 2/3 Hz) oder Gleichspannung auftreten. Eine besondere Situation besteht bei leistungsstarken Hochfrequenzsendern. Die Entwicklung derartiger Anlagen war seinerzeit auch Anlass zu Forschungsarbeiten über das Stehvermögen von Isolierungen bei Rundfunkfrequenzen. Danach wurde dem Gesichtspunkt der hochfrequenten Spannungsbeanspruchung nur geringe Beachtung geschenkt.

Inzwischen treten in Geräten der Niederspannungstechnik häufig hochfrequente Arbeitsspannungen mit Frequenzen über 30 kHz auf. Es ist auch damit zu rechnen, dass in absehbarer Zeit der MHz-Bereich erreicht sein wird. Ein großer Teil der Spannungsformen ist nicht sinusförmig. Kleine Abmessungen sind zur Miniaturisierung und zur Erzielung hoher Wirkungsgrade zum Beispiel in Hochfrequenzübertragern notwendig, so dass sich für die festen Isolierungen sehr hohe Beanspruchungen ergeben.

Bei der Erhöhung der Frequenz nimmt die schädigende Wirkung der Teilentladungen ungefähr proportional mit der Frequenz zu. Im Vergleich zur Netzfrequenz ist die Bedeutung der Teilentladungen für die Bemessung daher wesentlich größer.

Da voraussichtlich die Abstände bei gleichzeitiger Erhöhung der Frequenzen abnehmen werden, ist in Zukunft eine Verschärfung dieser Situation zu erwarten. In Bezug auf die Sicherheit von Personen und die Zuverlässigkeit der Betriebsmittel muss daher der Gesichtspunkt der hochfrequenten Beanspruchung bis zu 100 MHz bei der Isolationskoordination für Niederspannungsbetriebsmittel berücksichtigt werden (siehe hierzu die Anmerkung 2 im Anwendungsbereich von Teil 1).

In dieser Norm sind die wichtigsten verfügbaren Daten bezüglich der Hochfrequenzbeanspruchung von Isolierungen zusammengefasst und es wird gezeigt, wie die Isolierungen und deren Bemessung dadurch beeinflusst werden. Es werden Daten für die Bemessung der Luftstrecken, Kriechstrecken und der festen Isolierungen festgelegt. Diese Norm beschreibt auch, wie Prüfungen in Bezug auf diese Beanspruchung durchgeführt werden können.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60664 behandelt Basisisolierung, zusätzliche und verstärkte Isolierung in Niederspannungsbetriebsmitteln, die mit hochfrequenten Spannungen beansprucht werden. Die Bemessungswerte gelten unmittelbar für die Basisisolierung, für die verstärkte Isolierung gelten die zusätzlichen Anforderungen gemäß Teil 1 der Serie 60664. Dieser Teil 4 gilt für die Bemessung der Luftstrecken, der Kriechstrecken und der festen Isolierungen, die mit periodischen Spannungen beliebiger Art mit einer Grundfrequenz höher als 30 kHz und bis zu 10 MHz beansprucht werden.

Dieser Teil von IEC 60664 kann nur zusammen mit IEC 60664-1 oder mit IEC 60664-5 (in dieser Norm Teil 1 oder Teil 5 genannt) verwendet werden. Durch Anwendung von Teil 1 oder Teil 5 zusammen mit diesem Teil wird die Frequenzgrenze von Teil 1 oder Teil 5 auf Frequenzen über 30 kHz ausgedehnt.

Bei Frequenzen über 30 kHz und für den Schutz vom Typ 1 gilt dieser Teil auch für Teil 3. Für den Schutz vom Typ 2 ist diese Frage in Beratung.

ANMERKUNG 1 Bemessungswerte für Frequenzen größer als 10 MHz sind in Beratung.

ANMERKUNG 2 Diese Norm behandelt nicht die hochfrequenten Aussendungen in das Netz. Es wird angenommen, dass im normalen Betrieb des Gerätes die Beeinflussung durch hochfrequente, in das Netz ausgesandte Spannungen in Bezug auf die Beanspruchung der Isolierungen vernachlässigbar klein ist. Diese muss daher nicht berücksichtigt werden.

Dieser Teil gilt für Betriebsmittel mit einer Aufstellungshöhe von bis zu 2000 m über Meeresspiegel mit einer Bemessungs-Wechselspannung von bis zu 1000 V.

Dieser Teil legt die Anforderungen für Luftstrecken, Kriechstrecken und feste Isolierungen für Betriebsmittel auf der Grundlage deren Stehvermögens fest. Eingeschlossen sind elektrische Prüfverfahren für die Isolationskoordination.

Die in diesem Teil festgelegten Mindestluftstrecken gelten nicht, wenn ionisierte Gase vorhanden sind. Für solche Fälle können entsprechend der Entscheidung des betreffenden Technischen Komitees besondere Anforderungen festgelegt werden.

Dieser Teil behandelt nicht die Abstände

- durch flüssige Isolierstoffe,
- durch andere Gase als Luft,
- durch komprimierte Luft.

ANMERKUNG 3 In inneren Stromkreisen des Betriebsmittels können höhere Spannungen auftreten.

ANMERKUNG 4 Anforderungen für Aufstellungshöhen über 2000 m können aus Tabelle A.2 im Anhang A von Teil 1 abgeleitet werden.

Die Zielsetzung dieser Norm ist es, den für die verschiedenen Betriebsmittel zuständigen Technischen Komitees Anleitung zu geben, damit diese die Anforderungen an die Bemessung von Luftstrecken, Kriechstrecken und der festen Isolierung in den Betriebsmitteln so abstimmen, dass die Isolationskoordination erreicht wird.

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).

IEC 60112:2003, *Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions*

IEC 60664-1:1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

Amendment 1 (2000)

Amendment 2 (2002)

IEC 60664-5:2003, *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 Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe und Definitionen aus **Teil 1** und die folgenden Definitionen:

3.1

angenähert homogene Feldverteilung

Verteilung des Feldes bei Frequenzen über 30 kHz, bei der das Feld als angenähert homogen angesehen wird, wenn der Verrundungsradius der leitenden Teile größer oder gleich 20 % der Luftstrecke ist

3.2

inhomogene Feldverteilung

Verteilung des Feldes bei Frequenzen über 30 kHz, bei der das Feld als inhomogen angesehen wird, wenn der Verrundungsradius der leitenden Teile kleiner als 20 % der Luftstrecke ist

3.3

U_{Spitze}

Spitzenwert beliebiger periodischer Spitzenspannungen, die an der Isolierung anliegen

3.4

f_{crit}

kritische Frequenz, bei der die Absenkung der Durchschlagspannung einer Luftstrecke beginnt

3.5

f_{min}

Frequenz, bei der die maximale Absenkung der Durchschlagspannung einer Luftstrecke auftritt

3.6

TE-Spannung

allgemeiner Begriff sowohl für die Teilentladungseinsetzspannung U_i als auch für die Teilentladungsaussetzspannung U_e

3.7

elektrische Feldstärke E

Spannungsabfall je Längeneinheit, normalerweise in kV/mm ausgedrückt

4 Luftstrecken

4.1 Allgemeine Bedingungen

Dieser Abschnitt gilt für Abstände in Luft. Die Bemessungswerte gelten für eine maximale Aufstellungshöhe von 2000 m über Meeresspiegel. Für größere Aufstellungshöhen gelten die Höhenkorrekturfaktoren der **Tabelle A.2 in Teil 1**.

4.2 Grundlegende Angaben

Entsprechend den in A.1 enthaltenen grundlegenden Angaben wird das Stehvermögen der Luftstrecken nur dann durch die Frequenz der Spannung beeinflusst, wenn es sich um periodische Spannungen handelt (siehe 3.1.1.2 in Teil 1 oder Teil 5). Für transiente Überspannungen ist die Bemessung entsprechend 3.1.1.1 in Teil 1 oder Teil 5 ausreichend.

4.3 Homogene und angenähert homogene Feldverteilung

4.3.1 Bedingung für angenähert homogene Feldverteilung

Bei Frequenzen über 30 kHz wird das Feld dann als angenähert homogen angesehen, wenn der Krümmungsradius der leitenden Teile größer oder gleich 20 % der Luftstrecke ist.

4.3.2 Versuchsergebnisse über das Stehvermögen

Als Schlussfolgerung aus A.2.1 ergibt sich für die kritische Frequenz f_{crit} , bei der die Verminderung des Stehvermögens auftritt, die folgende Abhängigkeit von der Größe der Luftstrecke:

$$f_{\text{crit}} \approx \frac{0,2}{d / \text{mm}} \text{ MHz} \quad (1)$$

mit der Luftstrecke d .

Die in A.2.1 für homogene Feldverteilung angegebenen Versuchsergebnisse zeigen, dass die maximale Absenkung der Durchschlagsspannung mit der Frequenz 20 % bezogen auf die Werte bei 50/60 Hz beträgt. Die Frequenz, bei der die maximale Absenkung auftritt, wird als f_{min} bezeichnet.

ANMERKUNG Innerhalb dieser Norm beträgt f_{min} , wie aus Bild A.1 ersichtlich ist, 3 MHz.

4.3.3 Bemessung der Luftstrecken bei homogener und angenähert homogener Feldverteilung

Das Isoliervermögen von homogenen Luftstrecken bei Atmosphärendruck kann in Bezug auf die Frequenz zusammenfassend wie folgt beschrieben werden:

- Oberhalb von f_{crit} fällt die Durchschlagsspannung mit steigender Frequenz ab. Die maximale Absenkung der Durchschlagsspannung beträgt etwa 20 %.
- Die Durchschlagsspannung besitzt ein Minimum bei der Frequenz f_{min} . Bei höheren Frequenzen steigt die Durchschlagsspannung wieder an und kann den Wert bei Netzfrequenz übersteigen.

Es wird angenommen, dass dieses Verhalten auch für angenähert homogene Feldverteilung zutrifft.

Die Bemessung für homogene Feldverteilung beruht auf den Werten für Bedingung B der Tabelle 7 in Teil 1 oder der Tabelle 3 in Teil 5. Bei Verwendung dieser Werte ist eine Stehspannungsprüfung gemäß 4.1.1 in Teil 1 oder Teil 5 erforderlich.

Die Bemessung für angenähert homogene Feldverteilung beruht auf den Werten für Bedingung A der Tabelle 7 in Teil 1 oder der Tabelle 3 in Teil 5. Es ist keine Stehspannungsprüfung erforderlich. Jedoch muss der Krümmungsradius der leitenden Teile größer oder gleich 20 % der Luftstrecke sein.

Es gibt zwei Bemessungsverfahren:

1. Wenn keine detaillierte Auswertung gewünscht wird, dann muss die Luftstrecke innerhalb des Frequenzbereichs dieser Norm für 125 % der erforderlichen Stehspannung nach Tabelle 7 in Teil 1 oder Tabelle 3 in Teil 5 bemessen werden.

2. Wenn eine detaillierte Auswertung gewünscht wird, dann gilt Folgendes:

- Für Frequenzen unterhalb von f_{crit} (siehe Gleichung (1)) muss die Luftstrecke für 100 % der erforderlichen Stehspannung nach **Tabelle 7 in Teil 1** oder **Tabelle 3 in Teil 5** bemessen werden.
- Für Frequenzen oberhalb von f_{min} muss die Luftstrecke für 125 % der erforderlichen Stehspannung nach **Tabelle 7 in Teil 1** oder **Tabelle 3 in Teil 5** bemessen werden.
- Für Frequenzen zwischen f_{crit} und f_{min} muss die Luftstrecke für

$$100 \% + \frac{f - f_{\text{crit}}}{f_{\text{min}} - f_{\text{crit}}} \cdot 25 \% \quad (2)$$

der erforderlichen Stehspannung nach **Tabelle 7 in Teil 1** oder **Tabelle 3 in Teil 5** bemessen werden.

Zur Bestimmung der kritischen Frequenz wird in einem ersten Schritt die Luftstrecke entsprechend 100 % der erforderlichen Stehspannung nach **Tabelle 7 in Teil 1** oder **Tabelle 3 in Teil 5** angenommen. Dann muss entschieden werden, ob die Bedingung 2a, 2b oder 2c zutrifft. Da diese Auswertung durch das erhaltene Ergebnis (Luftstrecke) beeinflusst werden kann, kann eine zweite Iteration notwendig werden.

ANMERKUNG Weitere Bemessungshinweise sind in **Anhang F** enthalten.

4.4 Inhomogene Feldverteilung

4.4.1 Bedingung für inhomogene Feldverteilung

Bei Frequenzen über 30 kHz wird das Feld dann als inhomogen angesehen, wenn der Krümmungsradius der leitenden Teile kleiner als 20 % der Luftstrecke ist.

4.4.2 Versuchsergebnisse über das Teilentladungsverhalten und über das Stehvermögen

Für inhomogene Feldverteilung erhält man f_{crit} ebenfalls näherungsweise aus Gleichung (1). Oberhalb von f_{crit} ist der Einfluss der Frequenz auf die Durchschlagspannung wesentlich stärker ausgeprägt als bei homogener Feldverteilung. Die Absenkung der Durchschlagspannung bezogen auf die Werte bei Netzfrequenz kann höher als 50 % sein.

Bei inhomogener Feldverteilung muss bei Spannungen unterhalb der Durchschlagspannung mit dem Auftreten von Teilentladungen (Korona) gerechnet werden. Wegen der großen Gefahr der Schädigung durch solche Entladungsimpulse mit hoher Folgefrequenz muss bei der Bemessung das Auftreten von Teilentladungen (TE) unbedingt vermieden werden.

Die Versuchsergebnisse sind in **A.2.2** dargestellt.

4.4.3 Bemessung der Luftstrecken bei inhomogener Feldverteilung

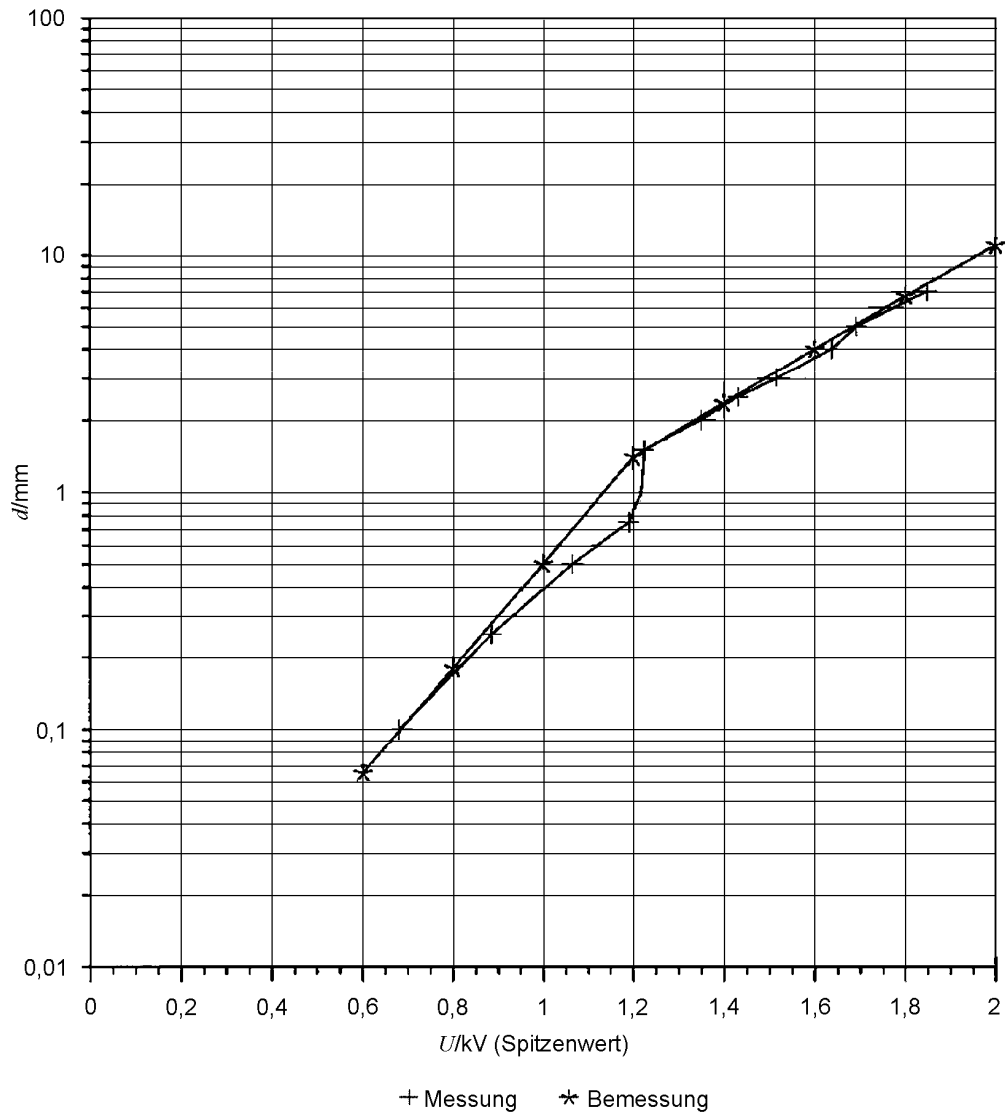
Bei Frequenzen unterhalb von f_{crit} (siehe Gleichung (1)) muss die Luftstrecke für 100 % der erforderlichen Stehspannung nach **Tabelle 7 in Teil 1** oder **Tabelle 3 in Teil 5** bemessen werden.

Bei Frequenzen größer oder gleich f_{crit} muss die Frequenz der Spannung bei der Bemessung berücksichtigt werden. Da TE durch transiente Überspannungen ausgelöst werden kann und nicht durch Dauerspannungen beliebiger Art aufrechterhalten werden darf (siehe **4.1.2.4 in Teil 1**), muss die TE-Aussetzspannung der Bemessung zugrunde gelegt werden. Die entsprechenden Daten (siehe Anmerkung 1) sind in **Bild 1** (Messung) zusammen mit einer Grenzkurve (Bemessung) angegeben.

ANMERKUNG 1 Für die Bemessung gelten die Daten aus **A.2.2**, die bei Luftstrecken bis zu 0,75 mm für die Durchschlagspannung und darüber für die TE-Aussetzspannung bei 1 MHz erhalten wurden.

Die Bemessungswerte für inhomogene Feldverteilung sind in [Tabelle 1](#) zusammengefasst. Diese Werte gelten dann, wenn kleine Krümmungsradien der leitenden Teile auftreten. In der praktischen Anwendung ist diese Bedingung erfüllt, wenn der Krümmungsradius der leitenden Teile kleiner als 20 % der Luftstrecke ist.

ANMERKUNG 2 Weitere Bemessungshinweise sind in [Anhang F](#) enthalten.



Legende

d Luftstrecke

Bild 1 – Bemessung von inhomogenen Luftstrecken bei atmosphärischem Druck (Spitze-Platten-Elektroden, 5 μm Radius) zur Vermeidung von TE (Luftstrecke ≥ 1 mm) oder Durchschlag (Luftstrecke < 1 mm)

Tabelle 1 – Mindestluftstrecken bei atmosphärischem Druck für inhomogene Feldverteilung

Spannung U_{Spitze} kV	Luftstrecke mm
bis zu 0,6 a) b)	0,065
0,8 a)	0,18
1,0 a)	0,5
1,2 a)	1,4
1,4 a)	2,35
1,6 a)	4,0
1,8 a)	6,7
2,0 a)	11,0
a) Für zwischen den Tabellenwerten liegende Spannungswerte ist die Interpolation zulässig.	
b) Für Spannungen U_{Spitze} von weniger als 0,6 kV sind keine Daten verfügbar.	

5 Kriechstrecken

5.1 Versuchsergebnisse

Der Einfluss der Frequenz auf die Durchschlagspannung von Kriechstrecken wird entsprechend der in [Anhang B](#) enthaltenen Daten berücksichtigt.

Die Versuchsbedingungen und die bei den Untersuchungen berücksichtigten Isolierstoffe sind in [B.2](#) dargestellt.

Die Versuchsergebnisse sind in [B.3](#) dargestellt. Sowohl die TE-Spannungen als auch die Durchschlagspannungen werden wesentlich durch die Frequenz der Spannung beeinflusst.

5.2 Bemessung der Kriechstrecken

Die Messdaten für drei Frequenzbereiche von bis zu 100 kHz, bis zu 1 MHz und bis zu 3 MHz sind in [Bild 2](#) (Messwerte) zusammen mit Grenzkurven (Bemessung) dargestellt. Die Bemessungswerte für Kriechstrecken sind in [Tabelle 2](#) zusammengefasst. Die Daten für zusätzliche Frequenzen sind durch lineare Interpolation bestimmt worden. Die Daten gelten für Verschmutzungsgrad 1.

ANMERKUNG 1 Für die Bemessung der Kriechstrecken gelten die Daten für die TE-Aussetzspannung aus [B.3](#), da TE bei hochfrequenten Spannungen, wenn diese über einen längeren Zeitraum auftreten, eine Schädigung des Basismaterials hervorrufen.

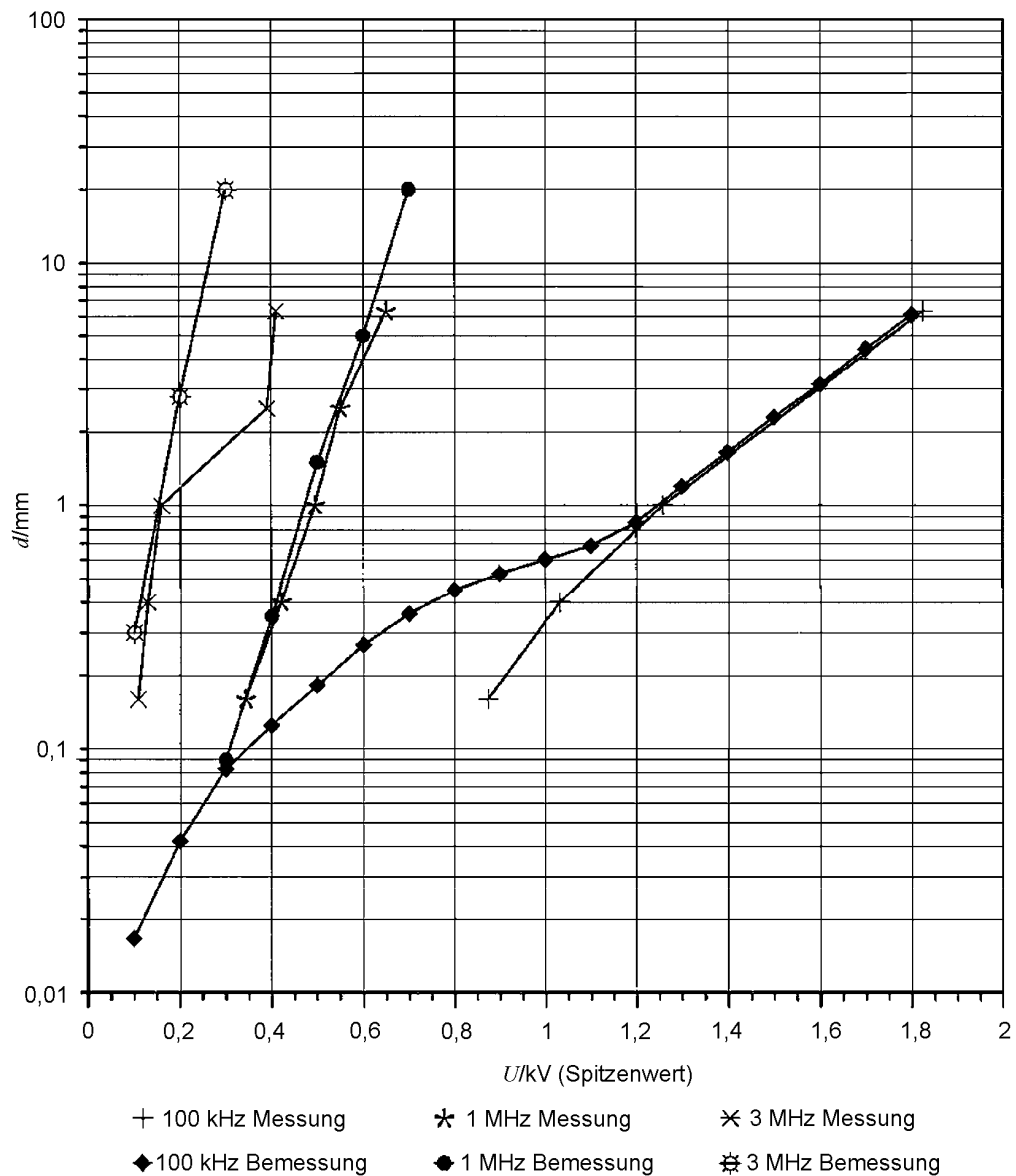
Versuche haben gezeigt [\[5\]](#)¹, dass Kriechstrecken für die Verschmutzungsgrade 2 und 3 aus den für Verschmutzungsgrad 1 bestimmten Werten durch Anwendung eines Multiplikationsfaktors bestimmt werden können. Für Verschmutzungsgrad 2 beträgt der Multiplikationsfaktor 1,2 und für Verschmutzungsgrad 3 beträgt der Multiplikationsfaktor 1,4.

¹ Ziffern in rechteckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

Die in [Tabelle 2](#) angegebenen Werte berücksichtigen nicht den Einfluss der Kriechspurbildung. Dazu muss [Teil 1](#) oder [Teil 5](#) von IEC 60664 berücksichtigt werden. Falls daher die Werte aus der [Tabelle 2](#) in dieser Norm kleiner als die entsprechenden Werte aus [Tabelle 4 in Teil 1](#) oder [Teil 5](#) sind, dann gelten die Letzteren.

Diese Bemessungswerte gelten für alle Isolierstoffe, die durch thermische Effekte geschädigt werden können. Bei Isolierstoffen, bei denen eine solche Schädigung nicht angenommen werden muss (zum Beispiel Keramik), ist die Bemessung für Luftstrecken nach [Abschnitt 4](#) dieser Norm ausreichend.

ANMERKUNG 2 Weitere Bemessungshinweise sind in [Anhang F](#) enthalten.



Legende

d Kriechstrecke

Bild 2 – Bemessung der Kriechstrecken zur Vermeidung von Teilentladungen (Kriechstrecke ≥ 1 mm) oder Durchschlag (Kriechstrecke < 1 mm)

Tabelle 2 – Mindestkriechstrecken d für verschiedene Frequenzbereiche

Spannung U_{Spitze} kV	Kriechstrecke a)						
	mm						
	für $30 \text{ kHz} < f \leq 100 \text{ kHz}$	für $f \leq 0,2 \text{ MHz}^b)$	für $f \leq 0,4 \text{ MHz}^b)$	für $f \leq 0,7 \text{ MHz}^b)$	für $f \leq 1 \text{ MHz}^b)$	für $f \leq 2 \text{ MHz}^b)$	für $f \leq 3 \text{ MHz}^b)$
0,1	0,0167						0,3
0,2	0,042					0,15	2,8
0,3	0,083	0,09	0,09	0,09	0,09	0,8	20
0,4	0,125	0,13	0,15	0,19	0,35	4,5	
0,5	0,183	0,19	0,25	0,4	1,5	20	
0,6	0,267	0,27	0,4	0,85	5		
0,7	0,358	0,38	0,68	1,9	20		
0,8	0,45	0,55	1,1	3,8			
0,9	0,525	0,82	1,9	8,7			
1	0,6	1,15	3	18			
1,1	0,683	1,7	5				
1,2	0,85	2,4	8,2				
1,3	1,2	3,5					
1,4	1,65	5					
1,5	2,3	7,3					
1,6	3,15						
1,7	4,4						
1,8	6,1						
a) Die Werte für die Kriechstrecken in der Tabelle gelten für Verschmutzungsgrad 1. Für Verschmutzungsgrad 2 müssen die Werte mit einem Faktor von 1,2 und für Verschmutzungsgrad 3 mit einem Faktor von 1,4 multipliziert werden.							
b) Zwischen den Spalten ist die Interpolation zulässig.							

6 Feste Isolierungen

6.1 Allgemeine Betrachtung

Im Vergleich zu den Luftstrecken kann die Durchschlagfeldstärke der festen Isolierungen um mindestens eine Größenordnung höher liegen. Im praktischen Einsatz kann die hohe Durchschlagfeldstärke der festen Isolierung jedoch bei weitem nicht ausgenutzt werden.

ANMERKUNG Die Vorgänge, die schon bei viel niedrigeren Feldstärken für eine Schädigung und schließlich den Durchschlag maßgebend sind, werden ausführlich in [C.1](#) beschrieben.

6.2 Einflussgrößen

Bei einer Frequenz von 1 MHz kann die Kurzzeit-Durchschlagfeldstärke nur noch 10 % des Wertes bei Netzfrequenz betragen. Selbst bei Frequenzen von 100 MHz scheint die Durchschlagfeldstärke noch keinen unteren Grenzwert erreicht zu haben.

ANMERKUNG Das Durchschlagverhalten bei Hochfrequenz ist in [C.2](#) dargestellt.

Die Durchschlagfestigkeit der festen Isolierung allgemein und insbesondere bei hochfrequenten Spannungen wird durch den Einfluss von Luftfeuchtigkeit und Temperatur weiter herabgesetzt. Dieser Einfluss wird durch die Vorbehandlung vor der Prüfung nach 7.3 berücksichtigt.

Entsprechend diesen Eigenschaften dürfen feste Isolierungen, die für Anwendungen bei Hochfrequenz bestimmt sind, nicht für einen längeren Zeitraum Umgebungsbedingungen mit mehr als 92 % relativer Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden. Einige Isolierstoffe, wie zum Beispiel Glas oder verschiedene keramische Materialien, werden nicht durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst und unterliegen daher nicht diesem Grenzwert von 92 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Durchschlagfestigkeit der festen Isolierungen hängt von der Isolierstoffdicke ab. Sehr dünne Isolierstofffolien können daher Durchschlagfeldstärken aufweisen, die bis zu einer Größenordnung über denen der Prüflinge mit 0,75 mm Dicke liegen. Jede Bemessung der festen Isolierung entsprechend der Isolierstoffdicke muss daher diese Abhängigkeit der Durchschlagfeldstärke von der Isolierstoffdicke berücksichtigen.

Der Einfluss der Temperatur auf die Durchschlagspannung kann aus C.2 entnommen werden. Deshalb ist die Temperatur eine wichtige Einflussgröße, die bei der Bemessung und bei der Prüfung berücksichtigt werden muss.

Teilentladungen bei hochfrequenten Spannungen werden mit hohen TE-Impulsfolgefrequenzen entsprechend der Frequenz der Spannung auftreten. Beim Auftreten von Teilentladungen kann daher keine brauchbare Lebensdauer der festen Isolierung erwartet werden.

6.3 Bemessung der festen Isolierungen

Das folgende Bemessungsverfahren kann anstelle der Hochfrequenzprüfung nach Abschnitt 7 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 (3) beziehungsweise Bild 3 festgelegten Werte nicht überschreitet und keine Hohlräume oder Luftspalte innerhalb bzw. zwischen der festen Isolierung vorhanden sind. Wenn diese Bedingungen nicht eingehalten werden können, dann sind Prüfungen mit hochfrequenter Spannung nach Abschnitt 7 erforderlich.

Bemessung kann dann angewandt werden, wenn das elektrische Feld ungefähr gleichförmig ist (siehe Anmerkung). Bei relativ dicken Schichten der festen Isolierung mit $d_1 \geq 0,75$ mm muss der Spitzenwert der Feldstärke E 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 (3) interpoliert werden:

$$E = \left(\frac{0,25}{d} + 1,667 \right) \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \quad (3)$$

ANMERKUNG In diesem Zusammenhang wird das elektrische Feld dann als ungefähr gleichförmig angesehen, wenn die Abweichungen weniger als ± 20 % vom Mittelwert der Feldstärke betragen.