

	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1)	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 97.060	Entwurf	Einsprüche bis 2005-10-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06
Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Begriffe und Prüfbedingungen (IEC 42/188/CD:2005) High voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements (IEC 42/188/CD:2005) Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf 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 106 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

– Entwurf –

E DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):2005-09

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 42/188/CD:2005 „High voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements“ (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 mit aufgenommenen englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 42 „High-voltage testing techniques“ 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 den vorliegenden Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 124 „Hochspannungs-Prüftechnik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Fremdschichtprüfungen werden nicht mehr detailliert beschrieben, sondern es wird auf IEC 60507 verwiesen. Die dazugehörigen Bilder sind ebenfalls entfallen.
- b) Bei den atmosphärischen Korrekturfaktoren für die Durchschlagspannung sind Änderungen in Form der Änderung der Koeffizienten zur Luftdichte und Luftfeuchtekorrektur vorgenommen worden.
- c) Bei den Wechselspannungsprüfungen werden ebenfalls nicht mehr die Anforderungen an den Transformatorprüfkreis bei Verschmutzungsprüfungen erwähnt, sondern auf IEC 60507 verwiesen.
- d) Bei den Wechselspannungsprüfungen wird die Kalibrierung einer Messeinrichtung mit einer nach IEC 60060 zulässigen Messeinrichtung nicht mehr erwähnt, sondern es wird auf IEC 60060-2 verwiesen. Das dazugehörige Bild ist ebenfalls entfallen.
- e) Bei den Prüfungen mit Blitzstoßspannung wird ein Prüfspannungsfaktor eingeführt, der zur Bestimmung der Prüfspannung bei Blitzstoßspannungen mit Oszillationen im Scheitelpunkt notwendig ist. Damit wird die bisherige scharfe Grenze von 500 kHz bei der Bestimmung des Wertes der Prüfspannung der Schwingungen im Scheitel der Blitzstoßspannung eliminiert und durch eine frequenzabhängige Funktion ersetzt. Im neuen Anhang C wird das Verfahren detailliert beschrieben.
- f) Bei den Prüfungen mit Schaltstoßspannung wird eine neue Bestimmung der Scheitelzeit eingeführt, indem analog zur Bestimmung der Stirnzeit der Blitzstoßspannung die Zeitdauer zwischen 30% und 90% des Scheitelwertes ermittelt und diese mit dem Faktor 2,4 multipliziert wird, um die Scheitelzeit zu erhalten. Mit dem Faktor 2,4 ergeben sich etwa gleiche Zeiten für die Scheitelzeit wie beim früheren Auswerteverfahren.
- g) Der Abschnitt Stoßstrom ist nicht mehr enthalten, da eine neue IEC Publikation Hochstrom-Prüftechnik in Arbeit ist.

- h) Im Anhang A " Statistische Bearbeitung von Prüfergebnissen" sind zwei Bilder zum Verlauf der Gruppe 1: Spannungssteigerungsprüfungen und Gruppe 2: Auf-und-Ab-Verfahren ergänzt worden.
- i) Der Anhang B "Verschmutzungsprüfverfahren" ist nicht mehr enthalten, da für Verschmutzungsprüfverfahren auf die IEC 60507 verwiesen wird.
- j) Der Anhang C "Kalibrierung einer Messeinrichtung mit einer Stabfunkenstrecke" ist nicht mehr enthalten, da die Messung mit Stabfunkenstrecken in DIN EN 60052 integriert worden ist.
- k) Im neuen Anhang B "Beregnungsprüfungsdüsen" sind die Bilder der verschiedenen Beregnungsdüsen aufgeführt, die in der bisherigen Norm zum Hauptabschnitt "Allgemeine Festlegungen für Prüfverfahren und Prüflinge" gehörten.

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 60060-2:1994	IEC 60060-2:1994	DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2):1996-03	VDE 0432-1
prEN 60060-3:2004	IEC 42/185/CDV:2004	E DIN EN 60060-3 (VDE 0432-3):2005-03	VDE 0432-3
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):1996-07	VDE 0111-1
EN 60270:2001	IEC 60270:2000	DIN EN 60270 (VDE 0434):2001-08	VDE 0434
—	—	DIN EN 60270 Berichtigung 1 (VDE 0434 Berichtigung 1):2002-11	VDE 0434 Berichtigung 1
EN 60507:1993	IEC 60507:1991	DIN EN 60507 (VDE 0448-1):1994-04	VDE 0448-1

Nationaler Anhang NB
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2), *Hochspannungs-Prüftechnik - Teil 2: Messsysteme (IEC 60060-2:1994); Deutsche Fassung EN 60060-2:1994.*

DIN EN 60060-3 (VDE 0432-3), *Hochspannungs-Prüftechnik - Teil 3: Begriffe und Anforderungen für Vor-Ort-Prüfungen (IEC 42/185/CDV:2004); Deutsche Fassung prEN 60060-3:2004.*

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1), *Isolationskoordination - Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:1993); Deutsche Fassung EN 60071-1:1995.*

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

DIN EN 60270 Berichtigung 1 (VDE 0434 Berichtigung 1), *Berichtigungen zu DIN EN 60270 (VDE 0434).*

DIN EN 60507 (VDE 0448-1), *Fremdschichtprüfungen an Hochspannungs-Isolatoren zur Anwendung in Wechselspannungssystemen (IEC 60507:1991); Deutsche Fassung EN 60507:1993.*

Hochspannungs-Prüftechnik Teil 1: Allgemeine Begriffe und Prüfbedingungen

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	7
2 Zweck	7
3 Normative Verweisungen	7
4 Allgemeine Begriffe	8
5 Allgemeine Festlegungen	10
5.1 Allgemeine Festlegungen für Prüfverfahren	10
5.2 Grundsätzliche Anordnung des Prüflings	11
5.3 Atmosphärische Bedingungen	11
5.4 Regenprüfungen	14
5.5 Fremdschichtprüfungen	16
6 Prüfungen mit Gleichspannung	16
6.1 Begriffe für Gleichspannungsprüfungen	16
6.2 Prüfspannung	16
6.2.2 Erzeugung der Prüfspannung	17
6.2.3 Messung der Prüfspannung	17
6.2.4 Messung des Prüfstromes	17
6.3 Prüfverfahren	18
7 Prüfungen mit Wechselspannung	18
7.1 Begriffe für Wechselspannungsprüfungen	18
7.2 Prüfspannung	19
7.3 Prüfverfahren	21
8 Prüfungen mit Blitzstoßspannung	22
8.1 Begriffe für Blitzstoßspannungsprüfungen	22
8.2 Stoßkennlinien	25
8.3 Prüfspannung	25
8.4 Prüfverfahren	26
9 Prüfungen mit Schaltstoßspannung	28
9.1 Begriffe für Schaltstoßspannungsprüfungen	28
9.2 Prüfspannung	28
10 Kombinierte Spannungs- und Mischspannungsprüfungen	30
10.1 Kombinierte Spannungsprüfung	30
10.2 Mischspannungsprüfungen	31
Anhang A Statistische Bearbeitung von Prüfergebnissen	32
Anhang B Beregnungsprüfungsdüsen	37
Anhang C (normativ) Verfahren zur Bestimmung der Parameter einer genormten Blitzstoßspannung mit Überschwängen	38

Bild 1 – Kleinster Zwischenraum D zwischen spannungsführenden oder geerdeten Teilen und der an Spannung liegenden Elektrode eines Prüflings während einer Prüfung mit Wechselspannung oder positiver Schaltstoßspannung in Abhängigkeit der höchsten Prüfspannung U	40
Bild 2 – k als Funktion vom Verhältnis der absoluten Luftfeuchte h zur relativen Luftfeuchte δ	41
Bild 3a) – Werte des Exponenten m zur Luftdichtekorrektur als Funktion des Parameters g ; siehe Abschnitt 5.3.2.3	42
Bild 3b) – Werte des Exponenten w zur Luftdichtekorrektur als Funktion des Parameters g ; siehe Abschnitt 5.3.2.3	42
Bild 4 – Absolute Luftfeuchte als Funktion der Anzeige von Feucht- und Trockenthermometer; siehe Abschnitt 5.3.3. Die Kurven der relativen Luftfeuchte sind ebenfalls anzugeben.	43
Bild 5a) – Düsentyp I	43
Bild 5b) – Düsentyp II	44
Bild 5c) – Düsentyp III (nur Einzelheiten der Düsenöffnung)	44
Bild 5d) – Düsentyp IV (amerikanische Ausführung)	45
Bild 6 – Vollständiger Blitzimpuls	45
Bild 7 – In der Stirn abgeschnittener Blitzimpuls.....	46
Bild 8 – Im Rücken abgeschnittener Blitzimpuls	46
Bild 9 – Abgeschnittener Keilimpuls.....	47
Bild 10 – Spannungsfaktor Kurve $k(f) = \frac{1}{1 + 2,2 f^2}$, mit f in MHz.....	47
Bild 11 – Stoßkennlinie für Impulsspannungen mit gleichem unbeeinflusstem Verlauf	48
Bild 12 – Vollständiger Schaltimpuls	48
Bild 13a) – Beispiel eines Prüfkreises zur Durchführung von kombinierten Spannungsprüfungen	49
Bild 13b) – Beispiel des Spannungsverlaufs bei einer kombinierten Spannungsprüfung zur Festlegung des Wertes der Prüfspannung U	49
Bild 14 – Definition der Verzögerungszeit Δt	50
a) Kombination von zwei Stoßspannungen	50
b) Kombination einer Stoßspannung mit einer Wechselspannung.....	50
Bild 15 – Beispiel einer Spannungssteigerungsprüfung (Gruppe 1)	51
Bild 16 – Beispiele einer abnehmenden (a) und zunehmenden (b) Spannungsprüfung nach dem Auf-und-Ab-Verfahren (Gruppe 2) zur Bestimmung der 90 % bzw. der 10 % Durchschlagwahrscheinlichkeit.....	52
Bild 17 – Beispiele einer Prüfung mit steigender Beanspruchung (Gruppe 3) mit kontinuierlicher (a) und stufenförmiger (b) Spannungssteigerung	53

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für:

- dielektrische Prüfungen mit Gleichspannung;
- dielektrische Prüfungen mit Wechselspannung;
- dielektrische Prüfungen mit Stoßspannung;
- Prüfungen mit Kombinationen der oben angegebenen Spannungen.

Diese Norm gilt nur für Prüfungen an Geräten mit einer höchsten Betriebsspannung U_m über 1 kV bis zu einer in den entsprechenden Normen, z. B. in IEC 60071, festgelegten maximalen Spannung.

ANMERKUNG Die Vor-Ort-Prüfung wird in IEC 60060-3 behandelt.

2 Zweck

Zweck dieser Norm ist:

- die Festlegung allgemein und speziell anwendbarer Begriffe;
- die Einführung allgemeiner Anforderungen bezüglich Prüfling und Prüfverfahren;
- die Beschreibung der Verfahren zur Erzeugung und Messung von Prüfspannungen;
- die Beschreibung der Prüfverfahren;
- die Beschreibung der Verfahren zur Bewertung der Prüfergebnisse und die Festlegung von Kriterien zur Annahme oder Ablehnung.

Begriffe und Anforderungen bezüglich anerkannter Messeinrichtungen und Kontrollverfahren sind in IEC 60060-2: Hochspannungs-Prüftechnik – Messeinrichtungen festgelegt.

Abweichende Prüfverfahren können erforderlich sein, um reproduzierbare und aussagefähige Ergebnisse zu erhalten. Die Auswahl eines geeigneten Prüfverfahrens sollte vom zuständigen Technischen Komitee vorgenommen werden.

3 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 60060-2:1994, *High-Voltage Test Techniques – Part 2: Measuring systems*.

IEC 60060-3:2005, *High-Voltage Test Techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*.

IEC 60071-1:1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*.

IEC 60270:2000, *Partial discharge measurements*.

IEC 60507:1991, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*.

4 Allgemeine Begriffe

4.1

Eigenschaften bezüglich Durchschlag und Prüfspannungen

4.1.1

Durchschlag

Der Begriff „Durchschlag“ (manchmal auch als „elektrischer Durchschlag“ bezeichnet) beschreibt die Vorgänge beim Versagen einer Isolierung unter elektrischer Beanspruchung, bei denen der Durchschlag die zu prüfende Isolierung vollständig überbrückt und die Spannung zwischen den Elektroden praktisch auf Null vermindert. Dieses bezieht sich auf den elektrischen Durchschlag in festen, flüssigen und gasförmigen Isolierstoffen und deren Kombinationen.

Nichtanhaltende Durchschläge, in denen der Prüfling durch einen Funken oder Lichtbogen vorübergehend überbrückt wird, können auftreten. Während dieser Vorgänge wird die Spannung über dem Prüfling vorübergehend auf Null oder einen sehr kleinen Wert vermindert. Abhängig von den Eigenschaften des Prüfkreises und des Prüflings kann eine Wiederverfestigung eintreten und sogar das Erreichen einer höheren Prüfspannungen zulassen. Ein solches Ereignis sollte als Durchschlag bezeichnet werden, wenn es nicht anders vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt ist.

Nicht zerstörende Durchschläge zwischen Leitern oder Zwischenelektroden können ebenfalls auftreten, ohne dass die Prüfspannung auf Null vermindert wird. Ein solches Ereignis sollte nicht als Durchschlag bezeichnet werden, wenn es nicht anders vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt ist.

Einige Formen nicht zerstörender Durchschläge werden mit „Teilentladungen“ bezeichnet und in IEC 60270: Teilentladungsmessung behandelt.

Der Begriff „Funkenüberschlag“ wird benutzt, wenn ein Durchschlag in einem gasförmigen oder flüssigen Medium erfolgt.

Der Begriff „Oberflächenüberschlag“ wird benutzt, wenn ein Durchschlag über die Oberfläche eines Isolierstoffes in einem gasförmigen oder flüssigen Medium erfolgt.

Der Begriff „Festkörperdurchschlag“ wird benutzt, wenn ein Durchschlag in einem festen Medium erfolgt.

Der Durchschlag in einem festen Isolierstoff bewirkt den dauerhaften Verlust der elektrischen Festigkeit; in einem flüssigen oder gasförmigen Isolierstoff kann dieses zeitlich begrenzt sein.

4.2

Eigenschaften der Prüfspannung

die in dieser Norm festgelegten Eigenschaften zur Beschreibung der Art der Spannung und der Bestimmung der Prüfspannung

4.2.1

Vorgegebene Eigenschaften der Prüfspannung

Eigenschaften, die ohne Durchschlag aufgetreten wären. Wenn die vorgegebenen Eigenschaften verwendet werden, muss dieses immer erwähnt werden

4.2.2

Tatsächliche Eigenschaften der Prüfspannung

Eigenschaften, die während der Prüfung an den Anschlüssen des Prüflings auftreten

4.2.3

Wert der Prüfspannung

ist in den entsprechenden Abschnitten dieser Norm festgelegt

4.3

Grenzabweichung

gibt die erlaubte Differenz zwischen dem gemessenen Wert und dem festgelegten Wert an. Diese Differenz sollte von Messfehlern unterschieden werden, die die Differenz zwischen den gemessenen und den wahren Werten darstellen.

ANMERKUNG 1 Die gemessene Prüfspannung sollte innerhalb der angegebenen Grenzabweichungen des festgelegten Prüfwertes liegen. Prüfwerte sind vom zuständigen Technischen Komitee festzulegen. Der wahre, aber unbekannte Prüf-

spannungswert kann außerhalb der Grenzabweichung liegen, insbesondere wenn die gemessene Spannung sehr dicht an einer der Grenzen der Grenzabweichung liegt.

ANMERKUNG 2 Der gemessene Wert ist der angezeigte Wert multipliziert mit dem Maßstabsfaktor. Der wahre Wert ist unbekannt und wäre der Mittelwert einer unendlich großen Anzahl identischer Messungen.

4.4

Durchschlagspannungswert eines Prüflings

Wert der Prüfspannung, die einen Durchschlag verursacht, wie er für die verschiedenen Prüfungen in den zuständigen Abschnitten dieser Norm festgelegt ist

4.5

Statistische Kenngrößen der Durchschlagspannungswerte

Durchschlagspannungen sind von zufälligen Änderungen beeinflusst und erfordern in der Regel eine Zahl von Beobachtungen, um einen statistisch aussagefähigen Wert der Spannung zu erhalten. Die in dieser Norm beschriebenen Prüfverfahren basieren grundsätzlich auf statistischen Überlegungen. Informationen über die statistische Auswertung der Prüfergebnisse sind in Anhang A dargestellt.

4.5.1

Durchschlagwahrscheinlichkeit p eines Prüflings

die Wahrscheinlichkeit, dass eine einmalige Anwendung eines bestimmten Wertes einer vorgegebenen Spannung mit einem gegebenen Verlauf zu einem Durchschlag im Prüfling führt. Die Größe p darf in Prozent oder in Bruchteilen angegeben werden.

4.5.2

Stehwahrscheinlichkeit q eines Prüflings

die Wahrscheinlichkeit, dass eine einmalige Anwendung eines bestimmten Wertes einer vorgegebenen Spannung mit einem gegebenen Verlauf zu keinem Durchschlag im Prüfling führt. Wenn die Durchschlagwahrscheinlichkeit p beträgt, dann berechnet sich die Stehwahrscheinlichkeit q zu $(1-p)$.

4.5.3

p % Durchschlagspannung U_p eines Prüflings

der Wert der vorgegebenen Spannung, die mit einer Wahrscheinlichkeit von p % zu einem Durchschlag im Prüfling führt.

ANMERKUNG Die p % Durchschlagspannung ist mathematisch das Quantil der Größe p (oder p Quantil) der Durchschlagspannung.

4.5.4

50 % Durchschlagspannung U_{50} eines Prüflings

der Wert der vorgegebenen Spannung, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % zu einem Durchschlag im Prüfling führt.

4.5.5

Standardabweichung der Durchschlagspannung eines Prüflings

ein Maß für die Streuung der Durchschlagspannung, abgeschätzt durch folgende Gleichung

$$s = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - U_m)^2 \right)^{1/2}$$

dabei ist:

U_i die i -te gemessene Durchschlagspannung und

U_m der arithmetische Mittelwert der Durchschlagspannungen (in den meisten Fällen identisch mit dem Wert U_{50}).

Der Wert kann auch durch die Differenz zwischen den 50 % und 16 % (beziehungsweise den 84 % und 50 %) Durchschlagspannungen ermittelt werden. Er wird häufig als bezogene Größe oder als Prozentwert der 50 % Durchschlagspannung angegeben.

E DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):2005-09

ANMERKUNG Für aufeinanderfolgende Durchschlagprüfungen ist die Standardabweichung s durch die angegebene Gleichung definiert, für Auf-und-Ab-Verfahren mit verschiedenen Spannungspegeln durch die Differenz der Quantile. Beide Begriffe korrespondieren miteinander, da zwischen $p = 16 \%$ und $p = 84 \%$ alle Verteilungsfunktionen nahezu identisch sind.

4.6

Stehspannung eines Prüflings

festgelegter Wert der vorgegebenen Spannung, der die Isolation des Prüflings im Hinblick auf die Stehspannungsprüfung kennzeichnet

Falls nicht besonders festgelegt, beziehen sich die Stehspannungen auf Normalbedingungen der Umgebung (siehe Abschnitt 5.3.1).

4.7

Gesicherte Durchschlagspannung eines Prüflings

festgelegter Wert der vorgegebenen Spannung, der seine Fähigkeit bezüglich der Durchschlagprüfung kennzeichnet

4.8

Einteilung der Isolierung in Prüflingen

Isoliersysteme von Geräten und Hochspannungseinrichtungen müssen grundsätzlich in selbstheilende und nichtselbstheilende Isolierungen eingeteilt werden und können aus einer äußeren und/oder inneren Isolierung bestehen

4.8.1

Äußere Isolierung

Abstände in atmosphärischer Luft und Oberflächen von festen Isolierungen in Kontakt mit atmosphärischer Luft, die elektrischen Beanspruchungen und atmosphärischen Wirkungen und anderen äußeren Bedingungen wie Verunreinigung, Feuchtigkeit, Insekten usw. ausgesetzt sind (IEC 60071-1:1993, 3.2)

4.8.2

Innere Isolierung

innere feste, flüssige oder gasförmige Isolierungen, die gegen atmosphärische Wirkungen und andere äußere Bedingungen geschützt sind (IEC 60071-1:1993, 3.4, modifiziert)

4.8.3

Selbstheilende Isolierung

Isolierungen, die ihre Isoliereigenschaften nach einem bei der Prüfung verursachten Durchschlag nach einer bestimmten Zeit vollständig zurückgewinnen (IEC 60071-1:1993, 3.4, modifiziert)

4.8.4

Nichtselbstheilende Isolierung

Isolierungen, die nach einem bei der Prüfung verursachten Durchschlag ihre Isoliereigenschaften nicht oder nur unvollständig zurückgewinnen (IEC 60071-1:1993, 3.5, modifiziert)

ANMERKUNG In Hochspannungsgeräten finden sich grundsätzlich Kombinationen aus selbstheilenden und nichtselbstheilenden Isolierungen und einzelne Teile können deshalb durch wiederholte oder dauernde Spannungsbeanspruchung geschädigt werden. Das Verhalten der Isolierung unter diesem Gesichtspunkt sollte bei der Festlegung der Prüfverfahren vom zuständigen Technischen Komitee berücksichtigt werden.

5 Allgemeine Festlegungen

5.1 Allgemeine Festlegungen für Prüfverfahren

Die bei bestimmten Arten von Prüflingen anzuwendenden Prüfverfahren, z. B. die verwendete Polarität, die bevorzugte Reihenfolge, wenn beide Polaritäten verwendet werden, die Zahl der Anwendungen und der Zeitraum zwischen den Anwendungen muss vom zuständigen Technischen Komitee unter Beachtung folgender Gesichtspunkten bestimmt werden:

- die erforderliche Genauigkeit der Prüfergebnisse;

- den zufälligen Einflüssen auf die beobachteten Vorgänge und jeglicher Polaritätsabhängigkeit der gemessenen Eigenschaften;
- der Möglichkeit einer fortschreitenden Schädigung bei wiederholter Spannungsbeanspruchung.

5.2 Grundsätzliche Anordnung des Prüflings

Zum Zeitpunkt der Prüfung muss der Prüfling in allen wichtigen Details vollständig sein und er sollte in einem für vergleichbare Einrichtungen normalen Herstellungsverfahren gefertigt worden sein.

Zum Zeitpunkt der Prüfung sollte sich der Prüfling den atmosphärischen Umgebungsbedingungen des Prüffeldes angepasst haben. Die Zeit bis zum Erreichen des Beharrungszustands muss festgehalten und im Prüfbericht angegeben werden.

Das Durchschlagverhalten eines Prüflings kann durch seine Aufstellung beeinflusst werden (z. B. von seinem Abstand zu andern unter Spannung stehenden oder geerdeten Teilen, seiner Höhe über dem Erdboden und der Anordnung seiner Hochspannungszuführungen). Die grundsätzliche Anordnung sollte vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Bei einem Abstand zu benachbarten Teilen von nicht weniger als dem 1,5fachen der Länge der kürzesten Durchschlagstrecke am Prüfling sind üblicherweise Beeinflussungen durch Näherung vernachlässigbar. Bei Prüfungen mit Beregnung oder Verschmutzung oder wenn die Spannungsverteilung entlang des Prüflings und das elektrische Feld in der Umgebung der Hochspannungselektrode genügend unabhängig von äußeren Einflüssen sind, können geringere Abstände zugelassen werden, wenn keine Entladungen zu benachbarten Teilen auftreten.

ANMERKUNG 2 Im Fall von Prüfungen mit Wechselspannung oder positiver Schaltstoßspannung über 750 kV (Scheitelwert) darf der Einfluss eines benachbarten Teiles vernachlässigt werden, wenn der Abstand von der Hochspannungselektrode nicht kleiner ist als die Höhe der Elektrode über dem Erdboden. Ein Hinweis für den empfohlenen geringsten Abstand in Abhängigkeit der höchsten Prüfspannung ist in Bild 1 gegeben. Geringere Abstände mögen in Einzelfällen angemessen sein.

Falls nicht anders durch das zuständige Technische Komitee festgelegt, sollte die Prüfung bei atmosphärischen Umgebungsbedingungen im Prüffeld ohne Niederschlag und Verschmutzung stattfinden. Die Spannungsanwendung muss gemäß den entsprechenden Abschnitten dieser Norm erfolgen.

5.3 Atmosphärische Bedingungen

5.3.1 Norm-Bezugsatmosphäre

Die Norm-Bezugsatmosphäre ist:

Temperatur $t_0 = 20\text{ °C}$

Druck $b_0 = 101,3\text{ hPa (1013 mbar)}$

absolute Feuchte $h_0 = 11\text{ g/m}^3$

ANMERKUNG 1 Ein Druck von 1013 hPa entspricht der Höhe von 760 mm in einem Quecksilberbarometer bei 0 °C. Wenn die Barometerhöhe H mm Quecksilber beträgt, gilt für den atmosphärischen Druck näherungsweise:

$$b = 1,333 \times H \text{ hPa}$$

Der Einfluss der Temperatur im Hinblick auf die Höhe der Quecksilbersäule wird als vernachlässigbar betrachtet.

ANMERKUNG 2 Instrumente mit automatischer Korrektur des Druckes auf Meeresniveau sind nicht geeignet.

5.3.2 Atmosphärische Korrekturfaktoren für Luftstrecken

Der Durchschlag der äußeren Isolierung hängt von den atmosphärischen Bedingungen ab. Üblicherweise erhöht sich die Durchschlagsspannung für eine gegebene Luftstrecke mit Erhöhung der Luftdichte oder Luftfeuchte. Übersteigt jedoch die relative Luftfeuchte etwa 80 %, so verhält sich die Durchschlagsspannung unregelmäßig, insbesondere bei Überschlügen an einer Isolierstoffoberfläche.

ANMERKUNG Atmosphärische Korrekturen sind nicht anwendbar auf die elektrische Oberflächenfestigkeit, wenn die Festigkeit durch die Oberflächenbedingungen bestimmt wird.

Durch Anwendung der Korrekturfaktoren darf die Durchschlagsspannung, die unter gegebenen Prüfbedingungen (Temperatur t , Druck b , Luftfeuchte h) gemessen wurde, auf den Wert umgerechnet werden, der unter Norm-Bezugsatmosphäre Bedingungen (t_0 , b_0 , h_0) erreicht worden wäre.

Umgekehrt darf eine für Bezugsbedingungen festgelegte Prüfspannung in den entsprechenden Wert unter Prüfbedingungen durch ein in Abschnitt 5.3.2.4 beschriebenes iteratives Verfahren umgerechnet werden.

Die Durchschlagsspannung ist proportional zum atmosphärischen Korrekturfaktor K_t , der aus dem Produkt zweier Korrekturfaktoren gebildet wird:

- Luftdichte-Korrekturfaktor k_1 (siehe 5.3.2.1)
- Luftfeuchte-Korrekturfaktor k_2 (siehe 5.3.2.2)

$$K_t = k_1 k_2$$

Unter gegebenen Prüfbedingungen gemessene Durchschlagsspannungen U werden auf Norm-Bezugsatmosphäre Bedingungen bezogene Spannungen U_0 durch Division durch den Faktor K_t korrigiert:

$$U_0 = U/K_t$$

Das Prüfprotokoll muss immer die tatsächlichen atmosphärischen Bedingungen während der Prüfung und die verwendeten Korrekturfaktoren enthalten.

5.3.2.1 Luftdichte-Korrekturfaktor k_1

Der Luftdichte-Korrekturfaktor beruht auf der relativen Luftdichte δ und kann allgemein beschrieben werden mit:

$$k_1 = \delta^m$$

wobei der Wert für m aus 5.3.2.3 entnommen werden kann.

Wenn die Temperaturen t und t_0 in Grad Celsius und die atmosphärischen Drücke b und b_0 in der gleichen Einheit (hPa oder mbar) angegeben werden, ergibt sich die relative Luftdichte zu:

$$\delta = \frac{b}{b_0} \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

Die Korrektur wird als zuverlässig betrachtet für Werte von $0,8 < k_1 < 1,05$.

5.3.2.2 Luftfeuchte-Korrekturfaktor k_2

Der Luftfeuchte-Korrekturfaktor darf geschrieben werden als:

$$k_2 = k^w$$

wobei der Wert des Exponenten w aus 5.3.2.3 entnommen werden kann und k ein Parameter ist, der von der Art der Prüfspannung abhängt und als Funktion des Verhältnisses der absoluten Luftfeuchte h zu der relativen Luftdichte δ nach den folgenden Gleichungen ermittelt werden kann:

Gleichspannung: $w = 1 + 0,014 (h/\delta - 1) - 0,0003 (h/\delta - 1)^2$ für $1 < h/\delta < 15 \text{ g/m}^3$

Wechselspannung: $w = 1 + 0,012 (h/\delta - 1)$ für $1 < h/\delta < 15 \text{ g/m}^3$

Stossspannung: $w = 1 + 0,01 (h/\delta - 1)$ für $1 < h/\delta < 25 \text{ g/m}^3$

Für Systemspannungen unterhalb 72,5 kV (oder bei Schlagweiten kleiner 0,5 m) muss keine Luftfeuchte-Korrektur erfolgen, d. h. $w = 0$.

5.3.2.3 Exponenten m und w

Die Abhängigkeit der Korrekturfaktoren von der Art der Vorentladungen kann mit dem folgenden Parameter erfasst werden:

$$g = \frac{U}{500L\delta k}$$

Dabei ist U die 50%-Durchschlagspannung (gemessen oder geschätzt) unter den tatsächlichen atmosphärischen Bedingungen in kV, L der kürzeste Entladungsweg in Meter, δ der aktuelle Wert der relativen Luftdichte und k der aktuelle Wert dieses Parameters. Im Fall einer Stehspannungsprüfung, bei der die 50%-Durchschlagspannung nicht geschätzt werden kann, wird für U das 1,1fache der Prüfspannung angenommen.

Die Exponenten m und w können mit den folgenden Gleichungen für die jeweiligen Bereiche bestimmt werden:

g	m	w
0,2 bis 1,0	$g(g-0,2)/0,8$	$g(g-0,2)/0,8$
1,0 bis 1,2	1,0	1,0
1,2 bis 2,0	1	$(2,2-g)(2-g)/0,8$
> 2,0	1	0

Die Werte sind in Bild 3 grafisch dargestellt.

5.3.2.4 Umkehr-Verfahren

Wenn nicht durch die relevanten Technischen Komitees anders festgelegt, wird die für eine Prüfung der äußeren Isolierung anzuwendende Spannung U durch Multiplikation der festgelegten Prüfspannung U_0 mit dem Faktor K_t bestimmt nach

$$U = U_0 K_t$$

Da U in die Berechnung von K_t eingeht, ist ein iteratives Verfahren anzuwenden.

ANMERKUNG Die Kontrolle für die korrekte Wahl von U zur Berechnung von K_t ist die Anwendung der Gleichung $U_0 = U/K_t$. Wenn das Ergebnis die festgelegte Prüfspannung ergibt, dann wurde U richtig gewählt. Wenn U_0 zu hoch ist, dann ist U zu verringern, wenn U_0 zu niedrig ist, dann ist U zu erhöhen.

5.3.3 Messung der Luftfeuchte

Die Luftfeuchte muss vorzugsweise mit einem Gerät ermittelt werden, das die absolute Luftfeuchte direkt mit einem absoluten Fehler von nicht größer als 1g/m^3 misst. Eine Messung der relativen Luftfeuchte in Verbindung mit einer Temperaturmessung erlaubt ebenfalls die Bestimmung der absoluten Luftfeuchte und kann eingesetzt werden, wenn sicher gestellt ist, dass die Genauigkeit der Bestimmung der absoluten Luftfeuchte dem oben geforderten Wert entspricht.

ANMERKUNG Diese Messung darf auch mit einem belüfteten Feucht- und Trockenkolben-Hygrometer durchgeführt werden. Die absolute Feuchte als Funktion der Thermometeranzeigen ist in Bild 4 angegeben, aus dem auch die relative Luftfeuchte ermittelt werden kann. Es ist wichtig, durch einen angemessenen Luftstrom einen eingeschwungenen Zustand zu erreichen und die Thermometer sorgfältig abzulesen, um übermäßige Fehler bei der Bestimmung der Luftfeuchte zu vermeiden.

5.3.4 Widersprüchliche Anforderungen an die Prüfung der inneren und äußeren Isolierung

Da Stehspannungspegel für atmosphärische Standardbedingungen festgelegt sind, wird es Anwendungsfälle geben, bei denen die Anwendung atmosphärischer Korrekturfaktoren (aufgrund der Höhenlage des Prüffeldes oder extremer klimatischer Bedingungen) zu Stehspannungen für die innere Isolierung führen, die nennenswert über den Werten für die beteiligte äußere Isolierung liegen. In diesen Fällen müssen Maßnahmen getroffen werden, um den Stehspannungspegel der äußeren Isolierung anzuheben, damit die richtige Prüfspannung an die innere Isolierung angelegt werden kann. Diese Maßnahmen schließen das Eintauchen der äußeren Isolierung in Flüssigkeiten oder Druckgase ein und sollten vom zuständigen Technischen Komitee unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen bestimmter Gerätegruppen festgelegt werden.

Falls die Prüfspannung für die äußere Isolierung höher ist als für die innere Isolierung kann die äußere Isolierung nur dann richtig geprüft werden, wenn die innere Isolierung für eine höhere Festigkeit bemessen ist. Falls dies nicht der Fall ist, sollte die innere Isolierung mit der Bemessungsspannung und die äußere Isolierung unter Benutzung von Attrappen geprüft werden, wenn nicht durch das zuständige Technische Komitee anderweitig das zu benutzende Prüfverfahren festgelegt ist.

5.4 Regenprüfungen

Das bevorzugte Regenprüfverfahren, beschrieben in 5.4.1, dient zur Nachbildung der Auswirkungen des natürlichen Regens auf die äußere Isolierung. Es wird für alle Arten von Prüfspannungen und alle Arten von Einrichtungen empfohlen, aber auch eines der unten angegebenen Prüfverfahren ist zulässig, wenn es vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt ist.

Zwei frühere Prüfverfahren, die nicht der Nachbildung des natürlichen Regens dienten, sind in 5.4.2 beschrieben. Sie wurden über viele Jahre zur Wechselladungsprüfung von Einrichtungen mit einer Betriebsspannung U_m bis 420 kV eingesetzt und es liegen viele Prüfergebnisse mit diesen Prüfmethoden vor.

Für die Regenprüfungen muss eine Luftdichtekorrektur, aber keine Luftfeuchtekorrektur vorgenommen werden.

Das zuständige Technische Komitee muss die Anordnung des Prüflings während des Prüfverfahrens festlegen.

5.4.1 Standard-Regenprüfung

Der Prüfling muss mit Wasser einer bestimmten Leitfähigkeit und Temperatur (siehe Tabelle 1) besprüht werden, das in Tropfen herabfällt (zur Vermeidung von Nebel und Dunst), die so gerichtet sind, dass der senkrechte und waagerechte Anteil der Beregnung gleich ist. Die Stärke der Beregnung wird mit einem geteilten Sammelbehälter gemessen, der Öffnungen von 100 cm^2 bis 750 cm^2 in waagerechter und senkrechter Richtung hat, wobei die senkrechte Öffnung der Beregnungseinrichtung zugewandt sein muss.

Die Lage des Prüflings bezüglich des waagerechten und senkrechten Anteils des Regens muss vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden.

Im Allgemeinen ist die Wiederholbarkeit von Ergebnissen der Regenprüfungen schlechter als bei anderen Hochspannungsprüfungen oder Stehspannungsprüfungen. Um die Streuung klein zu halten, müssen folgende Vorkehrungen getroffen werden:

- Der Sammelbehälter muss nahe am Prüfling angeordnet werden, jedoch dürfen keine Tropfen vom oder Spritzer vom Prüfling aufgefangen werden. Während der Messung sollte der Sammelbehälter langsam entlang der berechneten Isolatoroberfläche bewegt werden. Die Berechnungsrate sollte innerhalb der in Tabelle 1 gegebenen Werte liegen.
- Die Isolatoroberflächen des Prüflings müssen normalen Herstellungsbedingungen entsprechen (siehe 5.2)
- Die Streuung der Ergebnisse kann durch örtliche abweichende (hoch oder tief) Berechnungsmengen beeinflusst werden. Es wird empfohlen, diese durch gezielte Messungen festzustellen und die Gleichmäßigkeit der Berechnung, falls notwendig, zu verbessern.

Die Berechnungseinrichtung muss einstellbar sein, um die Berechnungsbedingungen am Prüfling gemäß den Angaben in Tabelle 1 innerhalb der festgelegten Grenzen zu erreichen.

Jede Art von Düse ist erlaubt, die die Berechnungsbedingungen nach Tabelle 1 erreicht.

Geeignete Düsen sind im Anhang B dargestellt.

Tabelle 1 – Berechnungsbedingungen für Standard-Prüfverfahren

Mittlere Niederschlagstärke für alle Messungen		
– senkrechter Anteil	mm/min	$2,0 \pm 1,0$
– waagerechter Anteil	mm/min	$2,0 \pm 1,0$
Temperatur des Wassers	°C	Umgebungstemperatur ± 15
Leitfähigkeit des Wassers	$\mu\text{S/cm}$	100 ± 15

Die Wassertemperatur und Leitfähigkeit müssen an einer Probe gemessen werden, die dem Wasser unmittelbar vor Erreichen des Prüflings entnommen wurde. Sie dürfen auch an anderen Stellen gemessen werden (z. B. im Vorratsbehälter), wenn durch eine Kontrolle sichergestellt ist, dass keine wesentlichen Veränderungen auftreten, bis das Wasser den Prüfling erreicht.

Der Prüfling muss unter den oben aufgeführten Bedingungen für mindestens 15 min vorberechnet werden und diese Bedingungen müssen dann innerhalb der festgelegten Grenzen für die Prüfzeit ohne Unterbrechung der Berechnung erhalten bleiben. Die Vorberechnungszeit darf die zur Einstellung der Berechnungseinrichtung erforderliche Zeit nicht enthalten. Es ist auch möglich, eine Vorberechnung mit unbehandeltem Leitungswasser für 15 min durchzuführen, gefolgt ohne Unterbrechung der Berechnung von einer zweiten Vorberechnung über mindestens 2 min Dauer vor Beginn der Prüfung, wenn das verwendete Wasser allen Berechnungsbedingungen entspricht, die unmittelbar vor Beginn der Prüfung gemessen werden sollten.

Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, muss das Prüfverfahren für Regenprüfungen das gleiche wie für entsprechende Trockenprüfungen sein. Die Prüfdauer für eine Wechselspannungsprüfung beträgt 60 s, falls nicht anders festgelegt. Im Allgemeinen wird für Stehspannungsprüfungen mit Wechsel- und Gleichspannung empfohlen, dass ein Überschlag zugelassen wird, wenn in der Wiederholungsprüfung kein weiterer Überschlag erfolgt.

5.4.2 Herkömmliche Verfahren für Regenprüfungen unter Wechselspannung

Für Wechselspannungsprüfungen werden zwei weitere Verfahren eingesetzt, deren Einzelheiten in Tabelle 2 angegeben sind. Sie weichen vom Standardprüfverfahren ab, 5.4.1, insbesondere darin, dass die Regenmengen höher sind und die geringste Vorberechnungszeit nur 1 min beträgt. Es ist nur der senkrechte Anteil des Regens festgelegt; die Bestimmung des waagerechten Anteils wird ersetzt durch eine visuelle Abschätzung des Sprühwinkels, der näherungsweise 45° betragen sollte.

Tabelle 2 – Berechnungsbedingungen für die herkömmlichen Verfahren unter Wechselspannung

Merkmale		Europäische Bedingungen	Bedingungen in den U.S.A.
Mittlere Niederschlagstärke für alle Messungen – senkrechter Anteil	mm/min	$3,0 \pm 0,75$	$5,0 \pm 1,25$
Temperatur des Wassers	°C	Umgebungstemperatur ± 15	
Leitfähigkeit des Wassers	$\mu\text{S/cm}$	100 ± 15	57 ± 9
Dauer der Stehspannungsprüfung bei Regen	σ	60	10

5.5 Fremdschichtprüfungen

Fremdschichtprüfungen dienen zur Information über das Verhalten der äußeren Isolierung unter Bedingungen, die Verschmutzungen im Betrieb entsprechen, obwohl sie nicht notwendigerweise irgendeine besondere Betriebsbedingung nachbilden. Sie sind in IEC 60507 beschrieben.

6 Prüfungen mit Gleichspannung

6.1 Begriffe für Gleichspannungsprüfungen

6.1.1

Wert der Prüfspannung

ist der arithmetische Mittelwert

6.1.2

Welligkeit

ist die periodische Abweichung vom arithmetischen Mittelwert der Prüfspannung

6.1.3

Wert der Welligkeit

ist festgelegt als die Hälfte der Differenz zwischen dem größten und kleinsten Wert.

ANMERKUNG In der Praxis ist auch die Multiplikation des wahren Effektivwertes mit dem Faktor 1,4 zur Bestimmung des Wertes der Welligkeit zulässig.

6.1.4

Welligkeitsfaktor

ist das Verhältnis des Wertes der Welligkeit zum Wert der Prüfspannung

6.2 Prüfspannung

6.2.1 Anforderungen an die Prüfspannung

6.2.1.1 Spannungsform

Die an den Prüfling angelegte Prüfspannung sollte eine Gleichspannung mit einem Welligkeitsfaktor nicht größer als 3 % sein, außer es ist vom zuständigen Technischen Komitee anders festgelegt. Es ist zu berücksichtigen, dass der Welligkeitsfaktor von der Anwesenheit des Prüflings und von den Prüfbedingungen beeinflusst werden kann.

ANMERKUNG Die Zunahme des Welligkeitsfaktors ist unmittelbar verbunden mit der Zunahme des resistiven Laststromes. Dielektrische Prüfungen mit starken Streamerentladungen können eine übermäßige Welligkeit hervorrufen. Regenprüfungen und Verschmutzungsprüfungen erfordern daher geeignete Spannungsquellen für hohe resistive Ströme, siehe IEC 60507.

6.2.1.2 Grenzabweichungen

Für Prüfdauern von höchstens 60 s müssen die gemessenen Werte der Prüfspannung während der Prüfung innerhalb von $\pm 1\%$ des festgelegten Wertes liegen. Für Prüfdauern über 60 s muss der gemessene Wert der Prüfspannung während der Prüfung innerhalb von $\pm 3\%$ des festgelegten Wertes liegen.

6.2.2 Erzeugung der Prüfspannung

Die Prüfspannung wird im allgemeinen mit Hilfe von Gleichrichtern erzeugt. Die Anforderungen an die Prüfspannungsquelle hängen wesentlich von der Art der zu prüfenden Geräte und von den Prüfbedingungen ab. Diese Anforderungen werden hauptsächlich durch den Wert und die Art des zu liefernden Prüfstromes bestimmt, dessen wichtige Merkmale in Abschnitt 6.2.4 beschrieben sind.

Die Eigenschaften der Quelle sollten die Aufladung der Kapazität des Prüflings in einer vertretbaren kurzen Zeit erlauben. Die Quelle einschließlich ihrer Speicherkapazitäten sollte außerdem in der Lage sein, die transienten Entladungsströme des Prüflings bei Spannungseinbrüchen kleiner als 10 % zu liefern.

6.2.3 Messung der Prüfspannung

Die Messung des arithmetischen Mittelwertes, des Maximalwertes, des Welligkeitsfaktors und aller transienten Spannungseinbrüche muss mit einem anerkannten Messsystem erfolgen (siehe IEC 60060-2).

Besonders zu beachten sind die Anforderungen an das Übertragungsverhalten des Gerätes bei Messung der Welligkeit, der transienten Vorgänge oder der Spannungsstabilität.

6.2.4 Messung des Prüfstromes

Wenn Messungen des Prüfstromes durch den Prüfling durchgeführt werden, können mehrere verschiedene Stromkomponenten erfasst werden. Diese unterscheiden sich voneinander bei gleichem Prüfling und gleicher Prüfspannung um mehrere Größenordnungen. Es sind:

- der kapazitive Strom durch das erste Anlegen der Prüfspannung, durch die Welligkeit und durch andere eingeprägte Schwankungen;
- der dielektrische Polarisationsstrom durch langsame Ladungsträgerverschiebung innerhalb der Isolierung, der für die Dauer von einigen Sekunden bis zu einigen Stunden anhält. Dieser Vorgang ist teilweise umkehrbar. Ströme der entgegengesetzten Polarität treten auf, wenn der Prüfling entladen und kurzgeschlossen wird;
- der ständige Ableitstrom, der bei konstanter Spannungsbeanspruchung nach dem Abklingen der oben genannten Anteile als stationärer Gleichstrom fließt;
- Teilentladungsströme.

Die Messung der ersten drei Anteile erfordert den Einsatz von Messgeräten, die einen großen Amplitudenbereich des Stromes abdecken. Es ist wichtig sicherzustellen, dass das Messgerät oder die Messung jedes Stromanteiles nicht durch die anderen Anteile entgegengesetzt beeinflusst wird. Informationen über den Zustand der Isolierung können in einigen Fällen durch Beobachtung der Stromänderungen über der Zeit bei nichtzerstörenden Prüfungen gewonnen werden.

Die relative Größe und die Bedeutung jedes Stromanteiles hängt ab von der Art und dem Zustand des Prüflings, der Zielsetzung der Prüfung und der Prüfdauer. Folglich sollte das zuständige Technische Komitee die Messverfahren festlegen, insbesondere wenn es erforderlich ist, einen einzelnen Anteil zu erkennen.

Messungen von impulsförmigen Teilentladungsströmen werden mit besonderen Messgeräten durchgeführt, die in IEC 60270: Teilentladungsmessungen aufgeführt sind.

ANMERKUNG Spannungsschutzeinrichtungen sollten bei Gleichstrommessungen immer eingesetzt werden, da im Falle eines Durchschlages Ströme auftreten können, die sehr viel größer sind als die normalen Ströme.

6.3 Prüfverfahren

6.3.1 Stehspannungsprüfung

Die Spannung muss mit einem hinreichend kleinen Wert an den Prüfling gelegt werden, so dass ein Auftreten von Überspannungen durch Schaltaktionen vermieden wird. Sie sollte hinreichend langsam gesteigert werden, um das Ablesen der Instrumente zu gestatten, aber nicht so langsam, dass eine unnötige Verlängerung der Prüflingsbeanspruchung im Bereich der Prüfspannung U eintritt. Diese Bedingungen werden im allgemeinen erfüllt, wenn für eine angelegte Spannung über 75 % von U die Spannungssteigerung etwa 2 % von U je Sekunde beträgt. Die Prüfspannung muss während der festgelegten Zeit aufrechterhalten und danach durch Entladen der Prüfkreiskapazität einschließlich des Prüflings über einen angemessenen Widerstand verringert werden.

Die Prüfdauer muss vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden, wobei zu beachten ist, dass die Zeit bis zum Erreichen einer stationären Spannungsverteilung von den Widerständen und Kapazitäten der Prüflingkomponenten abhängt. Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, beträgt die Dauer der Stehspannungsprüfung 60 s.

Das zuständige Technische Komitee muss die Polarität der Spannung oder die Reihenfolge, in der Spannungen jeder Polarität angelegt werden, und jede erforderliche Abweichung von den oben aufgeführten Vorschriften festlegen.

Die Anforderungen der Prüfung sind erfüllt, wenn kein Durchschlag am Prüfling auftritt.

6.3.2 Durchschlagspannungs-Prüfungen

Die Spannung muss angelegt und kontinuierlich gesteigert werden, bis ein Durchschlag am Prüfling auftritt. Der Wert der Spannung im Moment des Durchschlages muss aufgezeichnet werden.

Das zuständige Technische Komitee muss die Geschwindigkeit der Spannungssteigerung, die Anzahl der Spannungsbeanspruchungen und das Verfahren zur Auswertung der Prüfergebnisse festlegen (siehe Anhang A).

6.3.3 Gesicherte Durchschlagspannungs-Prüfungen

Die Spannung muss angelegt und kontinuierlich gesteigert werden, bis ein Durchschlag am Prüfling auftritt. Der Wert der Spannung im Moment des Durchschlages muss aufgezeichnet werden.

Die Anforderungen der Prüfung sind im allgemeinen erfüllt, wenn diese Spannung die gesicherte Durchschlagspannung bei einer festgelegten Anzahl von Spannungsbeanspruchungen nicht überschreitet.

Das zuständige Technische Komitee muss die Anzahl der Spannungsbeanspruchungen und die Geschwindigkeit der Spannungssteigerung festlegen.

7 Prüfungen mit Wechselspannung

7.1 Begriffe für Wechselspannungsprüfungen

7.1.1

Scheitel-Scheitel Wert

ist die Summe der Werte der positiven und negativen Scheitelwerte

7.1.2

Wert der Prüfspannung

ist festgelegt als die Hälfte ihres Scheitel-Scheitel Wertes geteilt durch $\sqrt{2}$.

ANMERKUNG 1 Das zuständige Technische Komitee darf die Messung des Effektivwertes der Prüfspannung anstelle des Scheitelwertes für die Fälle fordern, bei denen der Effektivwert von Bedeutung ist, z. B. wenn thermische Effekte mitwirken.

ANMERKUNG 2 In vielen Fällen werden Messinstrumente eingesetzt, die nur den Scheitelwert einer Polarität messen. In diesen kann der einzige Scheitelwert akzeptiert werden, wenn sichergestellt ist, dass die Symmetrie der Prüfspannung innerhalb der in Abschnitt 7.2.1.1 festgelegten Grenzen liegt.

7.1.3

Effektivwert

ist die Quadratwurzel des Mittelwertes der Quadrate aller Spannungswerte während einer vollständigen Schwingung.

7.2 Prüfspannung

7.2.1 Anforderungen an die Prüfspannung

7.2.1.1 Spannungsformen

Die Prüfspannung muss eine Wechselspannung mit einer Frequenz zwischen 45 Hz und 65 Hz sein, die üblicherweise als netzfrequente Prüfspannung bezeichnet wird. Besondere Prüfungen können bei Frequenzen unterhalb oder oberhalb des angegebenen Bereiches gemäß den Festlegungen des zuständigen Technischen Komitees erforderlich werden.

Die Kurvenform muss annähernd sinusförmig sein, indem die Differenz zwischen positiven und negativen Scheitelwerten kleiner als 2 % ist.

Es wird angenommen, dass die Ergebnisse einer Hochspannungsprüfung durch kleine Abweichungen vom sinusförmigen Verlauf nicht beeinflusst werden, wenn der Effektivwert der harmonischen Oberschwingungen 5 % des Effektivwertes der Grundschiwingung nicht überschreitet.

Für einige Prüflinge, niederinduktive Transformatorenwicklungen oder nicht lineare Spannungsableiter müssen größere Abweichungen akzeptiert werden.

ANMERKUNG Es kann allgemein angenommen werden, dass die oben aufgeführten Anforderungen an die Abweichungen von der Sinusform erfüllt sind, wenn das Verhältnis der Prüfspannung zum Effektivwert gleich $1 \pm 5 \%$ ist.

7.2.1.2 Grenzabweichungen

Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anderweitig festgelegt, müssen die gemessenen Werte der Prüfspannung während der Prüfung innerhalb von $\pm 1 \%$ des festgelegten Wertes liegen. Für Prüfdauern über 60 s muss der gemessene Wert der Prüfspannung während der Prüfung innerhalb von $\pm 3 \%$ des festgelegten Wertes liegen.

ANMERKUNG Es wird ausdrücklich betont, dass die Grenzabweichung den zugelassenen Unterschied zwischen dem festgelegten und dem aktuell gemessenen Wert der Prüfspannung darstellt. Dieser Unterschied sollte vom Messfehler unterschieden werden, der den Unterschied zwischen gemessenem Wert und wahren Wert beschreibt.

7.2.2 Erzeugung der Prüfspannung

7.2.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Prüfspannung wird im allgemeinen mit einem Transformator erzeugt. Alternativ können ein Serienresonanzkreis oder ein Parallelresonanzkreis eingesetzt werden.

Die Spannung im Prüfkreis muss so stabil sein, dass sie durch Änderungen der Leckströme praktisch nicht beeinflusst wird. Vorentladungen im Prüfling dürfen die Prüfspannung nicht in einem Ausmaß und nicht für eine solche Zeit vermindern, dass die gemessene Durchschlagsspannung des Prüflings wesentlich beeinflusst wird.

E DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):2005-09

Falls vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, wird beim Auftreten von Vorentladungen eine Stehspannungsprüfung als bestanden angesehen, wenn gezeigt werden kann, dass der Scheitelwert der Prüfspannung um nicht mehr als 5 % bei aufeinanderfolgenden Schwingungen abweicht und dass der augenblickliche Spannungseinbruch während einer Vorentladung nicht größer als 20 % des Scheitelwertes ist. Die Eigenschaften des Prüfkreises, die erforderlich sind, um die oben aufgeführten Anforderungen zu erfüllen, hängen von der Art der Prüfung (trocken, feucht, usw.), dem Prüfspannungswert und dem Verhalten des Prüflings ab.

ANMERKUNG Besondere Aufmerksamkeit gilt der Möglichkeit, dass solche Vorentladungen ein großes Überspringen der Spannung zwischen den Anschlüssen des Prüflings verursachen. Diese Erscheinung kann das Versagen des Prüflings oder der Spannungsquelle verursachen. Das Einfügen eines Widerstandes in den Hochspannungskreis kann solche transienten Überspringungen dämpfen, aber der Widerstandswert muss hinreichend klein sein, um die dem Prüfling zugeführte Prüfspannung nicht zu beeinträchtigen.

7.2.2.2 Anforderungen an den Transformatorprüfkreis

Um eine von den Änderungen praktisch unbeeinflusste Prüfspannung zu erhalten, sollte der Kurzschlussstrom, den der Transformator bei Prüfspannung mit kurzgeschlossenem Prüfling liefert, groß genug sein, im Vergleich zu den Leckströmen bei Netzfrequenz und in jedem Fall den folgenden Richtlinien entsprechen:

- für Trockenprüfungen an kleinen Prüflingen mit fester oder flüssiger Isolierung oder mit einer Kombination aus beiden ist ein Kurzschlussstrom mit dem Wert von 0,1 A (Effektivwert) angemessen;
- für Prüfungen an äußeren, selbstheilenden Isolierungen (Isolatoren, Trennschalter, usw.) ist ein Kurzschlussstrom nicht kleiner als 0,1 A (Effektivwert) für Trockenprüfungen und nicht kleiner als 0,5 A (Effektivwert) für Beregnungsprüfungen angemessen; Allerdings kann für Beregnungsprüfungen an Prüflingen mit großen Abmessungen, die zu hohen Leckströmen führen, ein Kurzschlussstrom bis zu 1 A notwendig werden.

ANMERKUNG 1 Wenn der Prüfkreis aus einem rotierenden Generator versorgt wird, sollte der transiente Kurzschlussstrom (siehe IEC 60034-4) betrachtet werden.

Die Gesamtkapazität des Prüflings und aller zusätzlichen Kondensatoren sollte ausreichend sein, um sicherzustellen, dass die gemessene Durchschlagspannung nicht von Teilentladungen oder Vorentladungen beeinflusst wird. Eine Kapazität in der Größenordnung von 0,5 bis 1,0 nF ist im allgemeinen ausreichend.

ANMERKUNG 2 Wenn ein außerhalb des Prüftransformators angeordneter Schutzwiderstand einen Wert von 10 k Ω nicht überschreitet, kann die Eingangskapazität des Transformators parallel zum Prüfling angenommen werden.

ANMERKUNG 3 Hohe Werte des Schutzwiderstandes können die angelegte Prüfspannung beträchtlich beeinflussen.

ANMERKUNG 4 Verschmutzungsprüfungen erfordern Quellen mit hohem Strom/hocher Kurzschlussleistung. Transformatoren für dielektrische Prüfungen sind normalerweise nicht für diese Anwendung geeignet (siehe IEC 60507).

Die Spannungsstabilität kann durch direkte Aufzeichnung der am Prüfling anliegenden Spannung geprüft werden, z. B. mit einem geeigneten Hochspannungsmesssystem.

7.2.2.3 Reihenresonanzkreis

Der Reihenresonanzkreis besteht grundsätzlich aus einer Reihenschaltung einer Spule mit einem kapazitiven Prüfling oder einer kapazitiven Last, die an eine Mittelspannungsquelle angeschlossen ist. Alternativ kann er aus einer Reihenschaltung eines Kondensators mit einer induktiven Last bestehen. Durch Änderung der Prüfkreisparameter oder der Frequenz der Einspeisung kann der Kreis auf Resonanz abgestimmt werden, und dann wird der Prüfling mit einer wesentlich höheren Spannung als die Versorgungsspannung mit grundsätzlich sinusförmigen Verlauf beansprucht.

Die Stabilität der Resonanzbedingungen und der Prüfspannung hängen von der Stabilität der Versorgungsfrequenz, den Eigenschaften des Prüfkreises und vom Gütefaktor „Q“ des Systems ab.

Wenn ein Durchschlag eintritt, entladen sich die Kapazitäten des Prüfkreises augenblicklich und die Versorgungseinrichtung liefert einen relativ kleinen Folgestrom. Der begrenzte Folgestrom führt im allgemeinen zu geringeren Zerstörungen des Prüflings.

Der Reihenresonanzkreis ist besonders nützlich bei der Prüfung von kapazitiven Prüflingen, bei denen die Leckströme über die äußere Isolierung klein sind im Verhältnis zu den kapazitiven Strömen durch den Prüfling oder bei denen die zum Durchschlag erforderliche Energie klein ist. Ein Reihenresonanzkreis kann höhere Leckströme liefern, wenn eine zusätzliche Kapazität zum Prüfkreis hinzugefügt wird. Ein Reihenresonanzkreis ist darüber hinaus nützlich für die Prüfung von Drosselspulen mit ausreichender Kapazität.

Der Reihenresonanzkreis kann für Prüfungen äußerer Isolierungen in feuchtem oder verschmutztem Zustand ungeeignet sein, wenn nicht die Anforderungen in 7.2.2.1 erfüllt werden. Im allgemeinen können Beregnungsprüfungen mit zusätzlichen hinreichend vorgeladenen Kapazitäten durchgeführt werden.

7.2.3 Messung der Prüfspannung

7.2.3.1 Messung mit anerkannten Einrichtungen nach IEC 60060-2

Die Messung des Wertes der Prüfspannung, des Effektivwertes, der Abweichung vom sinusförmigen Verlauf und der transienten Spannungseinbrüche muss mit einem anerkannten Messsystem erfolgen (siehe IEC 60060-2).

7.2.4 Messung des Prüfstromes

Der Strom wird gewöhnlich mit einem konventionellen Stromwandler gemessen, der in die Erdverbindung des Prüflings eingeschleift ist. Der Strom kann auch in der Hochspannungsverbindung zum Prüfling gemessen werden.

7.3 Prüfverfahren

7.3.1 Stehspannungsprüfungen

Die Spannung muss mit einem hinreichend kleinen Wert an den Prüfling gelegt werden, so dass ein Auftreten von Überspannungen durch Schalthandlungen vermieden wird. Sie sollte hinreichend langsam gesteigert werden, um das Ablesen der Instrumente zu gestatten, aber nicht so langsam, dass eine unnötige Verlängerung der Prüflingsbeanspruchung im Bereich der Prüfspannung U eintritt. Diese Bedingungen werden im allgemeinen erfüllt, wenn für eine angelegte Spannung über 75 % von U die Spannungssteigerung etwa 2 % von U je Sekunde beträgt. Die Prüfspannung muss während der festgelegten Zeit aufrechterhalten und danach schnell abgesenkt, aber nicht plötzlich abgeschaltet werden, da dies Überspannungen hervorrufen kann, die Schaden oder verfälschte Prüfergebnisse verursachen können.

Die Prüfdauer muss vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden und unabhängig von der Frequenz innerhalb des Bereichs von 45 Hz bis 65 Hz sein. Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, beträgt die Dauer einer Stehspannungsprüfung 60 s. Die Anforderungen an die Prüfung sind erfüllt, wenn kein Durchschlag am Prüfling erfolgt.

7.3.2 Durchschlagspannungsprüfung

Die Spannung muss angelegt und kontinuierlich gesteigert werden, bis ein Durchschlag am Prüfling auftritt. Der Wert der Spannung im Moment des Durchschlages muss aufgezeichnet werden. Das zuständige Technische Komitee muss die Geschwindigkeit der Spannungssteigerung, die Anzahl der Spannungsbeanspruchungen und das Verfahren zur Auswertung der Prüfergebnisse festlegen (siehe Anhang A).

7.3.3 Gesicherte Durchschlagspannungs-Prüfungen

Die Spannung muss angelegt und kontinuierlich gesteigert werden, bis ein Durchschlag am Prüfling auftritt. Der Wert der Spannung im Moment des Durchschlages muss aufgezeichnet werden.

E DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):2005-09

Die Anforderungen der Prüfung sind im allgemeinen erfüllt, wenn diese Spannung die gesicherte Durchschlagsspannung bei einer festgelegten Anzahl von Spannungsbeanspruchungen nicht überschreitet.

Das zuständige Technische Komitee muss die Anzahl der Spannungsbeanspruchungen und die Geschwindigkeit der Spannungssteigerung festlegen.

8 Prüfungen mit Blitzstoßspannung

8.1 Begriffe für Blitzstoßspannungsprüfungen

8.1.1

Impulsspannung

ist eine absichtlich angelegte aperiodische transiente Spannung, die üblicherweise schnell bis zum Scheitelpunkt ansteigt und dann langsamer auf Null abfällt

Für besondere Anwendungen werden Impulse mit annähernd linearem Anstieg oder mit transienten Schwingungen oder annähernd rechteckförmigen Verlauf eingesetzt.

ANMERKUNG Der Begriff „Impuls“ ist zu unterscheiden vom Begriff „Welle“, der sich auf transiente Vorgänge in elektrischen Einrichtungen oder Netze bezieht.

8.1.2

Blitzstoßspannung

ist ein Spannungsimpuls mit einer Stirnzeit bis zu 20 µs

8.1.3

volle Blitzstoßspannung

ist eine Blitzstoßspannung, die nicht durch einen Durchschlag unterbrochen wird (siehe Bild 6)

ANMERKUNG Diese Impulsform kann am einfachsten durch einen doppelt-exponentiellen Verlauf beschrieben werden.

8.1.4

Überschwingung

ist die Erhöhung der Amplitude einer vollen Blitzstoßspannung infolge einer Schwingung im Bereich des Scheitels. Diese Schwingung wird üblicherweise durch die Induktivität des Prüfkreises verursacht und kann manchmal bei großen Prüfkreisen nicht verhindert werden. Verfahren zur Auswertung der Überschwingung sind in Anhang C aufgeführt.

8.1.5

aufgezeichnete Kurve

ist eine graphische oder digitale Darstellung der Prüfdaten einer Impulsspannung

8.1.6

Basiswert

ist der Wert einer Aufzeichnung eines Impulsmesssystems, wenn am Eingang des Aufzeichnungsgerätes der Wert Null anliegt

8.1.7

Grundkurve

ist die Abschätzung einer vollen Blitzstoßspannung ohne Überschwingen. Verfahren zur Auswertung der Grundkurve sind in Anhang C aufgeführt

8.1.8

Differenz Kurve

ist die Differenz zwischen der aufgezeichneten Kurve und der Grundkurve

8.1.9

Prüfspannungsfaktor

ist eine Amplitude-Frequenz Funktion, die die Antwort der Isolierung auf einen Impuls mit Überschwingen festgelegt. Er ist gegeben durch:

$$k(f) = \frac{1}{1 + 2,2f^2}$$

wenn f die Frequenz in MHz ist. Die Funktion ist in Bild 10 dargestellt.

8.1.10

Prüfspannungskurve

ist die Summe der Basiskurve und der Differenzkurve, nachdem diese mit einem Filter bearbeitet wurde, dessen Übertragungsverhalten durch den Prüfspannungsfaktor festgelegt ist

Wenn keine Überschwingung auftritt, ist die Prüfspannungskurve die aufgezeichnete Kurve.

8.1.11

Wert der Überschwingung

ist die Differenz der Scheitelwerte der aufgezeichneten Kurve und der Grundkurve

8.1.12

Wert der Prüfspannung

ist der Scheitelwert der Prüfspannungskurve

8.1.13

Extremwert eines Impulses (U_c)

ist der höchste Wert der aufgezeichneten Kurve

8.1.14

Extremwert der Unterschwingung eines abgeschnittenen Impulses

ist der höchste Wert, gemessen vom Basiswert, in entgegengesetzter Richtung des angelegten Impulses

8.1.15

wahrer Beginn, O

eine Blitzstoßspannung ist der Punkt, an dem die aufgezeichnete Kurve beginnt linear anzusteigen (oder abzufallen). Für diesen Begriff bleiben die Schwingungen in der Stirn unberücksichtigt

ANMERKUNG Für digitale Systeme kann dies durch Betrachtung der Standard-Rauschabweichung beim Basiswert bewertet werden.

8.1.16

virtueller Beginn, O_1

einer Blitzstoßspannung ist der Punkt, der um $0,3 T_1$ vor dem Punkt A der Prüfspannungskurve (siehe Bild 6-9) liegt. Für Aufzeichnungen mit linearen Zeitachsen ist dies der Schnittpunkt einer Geraden durch die Referenzpunkte A und B mit der Zeitachse.

8.1.17

Stirnzeit T_1

einer Blitzstoßspannung ist ein virtueller Parameter, der festgelegt ist als das 1,67fache der Zeitdauer T zwischen den Punkten, wenn der Impuls 30 % und 90 % des Scheitelwertes der Prüfspannungskurve durchläuft (Punkte A und B in den Bildern 6-9).

8.1.18

Rückenhalbwertzeit T_2

einer Blitzstoßspannung ist ein virtueller Parameter, der festgelegt ist als der Zeitraum zwischen dem virtuellen Beginn O_1 und dem Punkt, wenn die Prüfspannungskurve auf die Hälfte des Scheitelwertes abgefallen ist

8.1.19

abgeschnittene Blitzstoßspannung

ist eine Blitzstoßspannung, bei der durch einen Durchschlag ein plötzlicher Zusammenbruch der Spannung praktisch bis auf Null verursacht wird. Der Durchschlag kann in der Stirn, im Bereich des Scheitelwertes oder im Rücken erfolgen

Für eine abgeschnittene Blitzstoßspannung ist die Prüfspannungskurve die aufgezeichnete Kurve.

ANMERKUNG 1 Das Abschneiden kann durch eine externe Abschneidfunkkenstrecke ausgeführt werden oder kann sich durch einen Durchschlag in der inneren oder äußeren Isolierung des Prüflings ereignen.

ANMERKUNG 2 In Verbindung mit manchen Prüflingen oder Prüfaufbauten kann vor dem endgültigen Zusammenbruch der Spannung eine Abflachung des Scheitels oder eine Verrundung der Spannung auftreten. Ähnliche Erscheinungen können durch Mängel im Messsystem hervorgerufen werden. Die genaue Bestimmung der Parameter von abgeschnittenen Impulsen (siehe Abschnitt 8.1.2.2 – 8.1.2.5) erfordert eine scharfe Unterbrechung und ein besonderes Messsystem. Andere Fälle bleiben dem zuständigen Technischen Komitee zur Beurteilung vorbehalten.

8.1.20

Abschneidezeitpunkt

ist der, bei dem der schnelle Zusammenbruch der Spannung, der das Abschneiden kennzeichnet, zuerst auftritt. Es ist die Extrapolation der Geraden zwischen dem 70 %- und dem 10 %-Punkt des Spannungszusammenbruchs zum Pegel unmittelbar vor dem Spannungszusammenbruch.

8.1.21

Abschneidezeit T_c

ist ein virtueller Parameter, der festgelegt ist als die Zeit zwischen dem virtuellen Beginn O_1 und dem Abschneidezeitpunkt.

8.1.22

Kenngößen des Spannungszusammenbruchs beim Abschneiden

die virtuellen Eigenschaften des Spannungszusammenbruchs beim Abschneiden sind durch die Punkte C und D mit 70 % und 10 % der Spannung im geschätzten Zeitpunkt des Spannungszusammenbruchs festgelegt. Die Dauer des Spannungszusammenbruchs ist das 1,67fache der Zeitdauer zwischen den Punkten C und D. Die Steilheit des Spannungszusammenbruchs ist das Verhältnis der Spannung im Abschneidezeitpunkt zur Dauer des Spannungszusammenbruchs.

ANMERKUNG Die Benutzung der Punkte C und D dient nur zur Definition; es ist dabei nicht inbegriffen, dass die Dauer und die Steilheit des Abschneidens mit einer bestimmten Genauigkeit mit einem herkömmlichen Messsystem gemessen werden kann.

8.1.23

Spannungs-Zeit Intervall T_λ

Zeitintervall, in dem die aufgezeichnete Kurve oberhalb des Wertes λV_g liegt, mit $0 < \lambda < 1$

8.1.24

Spannungsintegral

Integral der aufgezeichneten Kurve über der Zeit innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls

8.1.25

Keilstoßspannung

ist eine Spannung, die mit einer annähernd konstanten Steilheit ansteigt, bis sie durch einen Durchschlag abgeschnitten wird

Zur Festlegung eines solchen Impulses wird die beste Näherungsgerade durch den Teil der Stirn zwischen 30 % und 90 % des Scheitelwertes gelegt; die Schnittpunkte dieser Geraden mit den Werten bei 30 % und 90 % werden als Punkte E und F gekennzeichnet (siehe Bild 9).

Der Impuls ist festgelegt durch:

- Scheitelwert der Spannung U ,

- Stirnzeit T_1
- virtuelle Steilheit S :

$$S = U / T_1$$

Dies ist der Anstieg einer Geraden durch die Punkte E und F, üblicherweise ausgedrückt in kV/ μ s.

Der abgeschnittene Impuls wird als annähernd linear steigend angesehen, wenn die Stirn von 30 % des Scheitelwertes bis zum Zeitpunkt des Abschneidens vollständig von zwei Linien parallel zur Geraden EF eingeschlossen wird, die um einen Zeitraum von $\pm 0,05 T_1$ verschoben sind (siehe Bild 9).

ANMERKUNG Der Wert und die Grenzen der virtuellen Steilheit S müssen vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden.

8.2 Stoßkennlinien

8.2.1

Stoßkennlinie für Keilstoßspannung

ist die Kurve, die den Scheitelwert der Spannung mit der Stirnzeit T_1 verbindet. Die Kurve wird durch Anwendung von Impulsspannungen unterschiedlicher Steilheit erhalten.

8.2.2

Stoßkennlinie für Impulsspannungen mit gleichbleibenden Verlauf

ist die Kurve, die die Durchschlagsspannung des Prüflings mit der Abschneidezeit verbindet, wobei das Abschneiden in der Stirn, im Bereich des Scheitels oder im Rücken erfolgen kann. Die Kurve wird durch Anwendung von Impulsspannungen unterschiedlicher vorgegebener Scheitelwerte erhalten (siehe Bild 11).

8.3 Prüfspannung

8.3.1 Genormte Blitzstoßspannung

Die genormte Blitzstoßspannung ist eine vollständige Blitzstoßspannung mit einer Frontzeit von 1,2 μ s und einer Rückenhalbwertzeit von 50 μ s. Sie wird als 1,2/50 Impuls bezeichnet.

8.3.2 Grenzabweichungen

Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, werden folgende Unterschiede zwischen den festgelegten Werten für die genormte Blitzstoßspannung und den tatsächlich aufgezeichneten Werten zugelassen:

Scheitelwert	$\pm 3 \%$
Stirnzeit	$\pm 30 \%$
Rückenhalbwertzeit	$\pm 20 \%$
Maximaler Wert der Überschwings	15 %

8.3.3 Genormte abgeschnittene Blitzstoßspannung

Die genormte abgeschnittene Blitzstoßspannung ist eine genormte Blitzstoßspannung, die mit einer äußeren Funkenstrecke nach 2 bis 5 ms abgeschnitten wird. Andere Abschneidezeiten können vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden. Die Dauer des Spannungszusammenbruchs wurde wegen messtechnischer Schwierigkeiten nicht festgelegt.

8.3.4 Besondere Blitzstoßspannungen

In einigen Fällen dürfen schwingende Blitzstoßspannungen verwendet werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, Stoßspannungen mit kürzeren Stirnzeiten zu erzeugen oder mit Scheitelwerten, die einem Ausnutzungsgrad des Generators größer als 1 entsprechen.

8.3.5 Erzeugung der Prüfspannung

Die Stoßspannung wird üblicherweise mit einem Stoßspannungsgenerator erzeugt, der im wesentlichen aus einer Anzahl Kondensatoren besteht, die parallel von einer Gleichspannungsquelle aufgeladen und dann in einer Reihenschaltung in einen die Welle formenden Prüfkreis, der den Prüfling einschließt, entladen werden.

8.3.6 Messung der Prüfspannung und Ermittlung der Stoßspannungsform

8.3.6.1 Messung mit anerkannten Einrichtungen nach IEC 60060-2

Die Messung des Scheitelwertes, der Zeitparameter und der Überschwungung oder Schwingungen muss mit anerkannten Messsystemen erfolgen (siehe IEC 60060-2). Die Messung muss mit dem Prüfling im Prüfkreis erfolgen und im allgemeinen muss die Impulsform für jeden Prüfling geprüft werden. Werden eine Anzahl von Prüflingen mit dem gleichen Design und der gleichen Größe unter identischen Bedingungen geprüft, braucht die Impulsform nur einmal geprüft zu werden.

ANMERKUNG Die Ermittlung der Impulsform aus den Prüfkreisparametern wird als nicht ausreichend angesehen.

8.3.7 Strommessung während der Stoßspannungsprüfung

Das zuständige Technische Komitee muss die Kenngrößen des Stromes durch den Prüfling festlegen, die während der Stoßspannungsprüfung gemessen werden sollten. Wenn diese Messung für Vergleiche verwendet wird, ist die Impulsform von Bedeutung, während die Messung des Absolutwertes des Stromes als weniger wichtig angesehen werden darf.

8.4 Prüfverfahren

8.4.1 Stehspannungsprüfungen

Das empfohlene Prüfverfahren hängt von der Art des Prüflings ab, wie in Abschnitt 5 beschrieben. Das zuständige Technische Komitee muss das anzuwendende Prüfverfahren festlegen. In den Verfahren A, B und C wird nur die festgelegte Stehspannung an den Prüfling gelegt, während im Verfahren D verschiedene Spannungspegel verwendet werden. Alle Methoden führen zu einer etwa gleichen Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Prüfung mit einer angenommenen Durchschlagwahrscheinlichkeit von 10 %.

8.4.1.1 Stehspannungsprüfverfahren A

Der Prüfling wird mit drei Impulsen mit der festgelegten Impulsform und Polarität mit Bemessungsstehspannungspegel beansprucht. Die Anforderungen der Prüfung sind erfüllt, wenn bei Verwendung des vom zuständigen Technischen Komitees festgelegten Nachweisverfahren keine Anzeichen eines Versagens festgestellt werden können.

ANMERKUNG Diese Verfahren werden für zerstörungsgefährdete oder nichtselbstheilende Isolierungen empfohlen.

8.4.1.2 Stehspannungsprüfverfahren B

Der Prüfling wird mit fünfzehn Impulsen mit der festgelegten Impulsform und Polarität mit Stehspannungspegel beansprucht. Die Anforderungen der Prüfung sind erfüllt, wenn nicht mehr als zwei Durchschläge im selbstheilenden Teil der Isolierungen auftreten und wenn bei Verwendung des vom zuständigen Technischen Komitees festgelegten Nachweisverfahren keine Anzeichen eines Versagens in der nichtselbstheilenden Isolierung festgestellt werden können. Am Ende einer Serie müssen mindestens fünf Impulse ohne Durchschlag sein. Falls erforderlich, können mehr als fünfzehn bis zu maximal 20 Impulsen angelegt werden.

ANMERKUNG Falls nicht vom zuständigen Technischen Komitee anderweitig festgelegt, kann als Hinweis dafür gelten, dass sich kein Fehler in der nichtselbstheilenden Isolierung ereignet hat, wenn die letzten fünf Impulse nicht zu einem Durchschlag führten. Im Fall eines Durchschlags eines der Impulse von Nummer elf bis fünfzehn können bis zu fünf weitere Impulse angelegt werden (maximal zwanzig). Wenn kein weiterer Durchschlag erfolgt, hat der Prüfling die Prüfung bestanden.

8.4.1.3 Stehspannungsprüfverfahren C

Der Prüfling wird mit drei Impulsen mit der festgelegten Impulsform und Polarität mit Stehspannungspegel beansprucht. Wenn kein Durchschlag erfolgt, hat der Prüfling die Prüfung bestanden. Wenn mehr als ein Durchschlag erfolgt, hat der Prüfling die Prüfung nicht bestanden. Falls ein Durchschlag im selbstheilenden Teil der Isolierung erfolgt, dann werden neun zusätzliche Impulse angelegt und wenn dabei kein Durchschlag erfolgt, hat der Prüfling die Prüfung bestanden.

Falls ein Versagen im nichtselbstheilenden Teil der Isolierung mit einem vom zuständigen Technischen Komitee festgelegten Nachweisverfahren zu irgendeinem Zeitpunkt der Prüfung festgestellt wird, hat der Prüfling die Prüfung nicht bestanden.

8.4.1.4 Stehspannungsprüfverfahren D

Für selbstheilende Isolierungen kann die 10-% Impuls-Durchschlagsspannung U_{10} mit statistischen Prüfverfahren nach Anhang A ermittelt werden.

Diese Prüfverfahren erlauben entweder die unmittelbare Bestimmung von U_{10} und U_{50} oder die mittelbare Bestimmung von U_{10} .

Im letzteren Fall wird U_{10} vom U_{50} Wert mit folgender Beziehung abgeleitet:

$$U_{10} = U_{50} (1 - 1,3 s)$$

Das zuständige Technische Komitee muss festlegen, welcher Wert für die Streuung s der Durchschlagsspannung anzunehmen ist. Für Trockenprüfungen an Luftisolierungen ohne Mitwirkung anderer Isolierungen kann der bezogene Wert $s = 0,03$ verwendet werden.

Der Prüfling wird als zufriedenstellend angesehen, wenn U_{10} nicht kleiner als die festgelegte Impulsstehstoßspannung ist.

Die folgenden Prüfverfahren können zur Ermittlung von U_{50} benutzt werden:

- a) das Spannungssteigerungsverfahren (siehe A.1.1) mit $n \geq 4$ Spannungsstufen und $m \geq 10$ Impulsen je Spannungsstufe;
- b) das Auf-und-Ab-Verfahren (siehe A.1.2) mit $m = 1$ Impuls je Gruppe und $n \geq 20$ brauchbaren Gruppen.

Zur Ermittlung von U_{10} kann das Auf-und-Ab-Verfahren mit $m = 7$ Impulsen je Gruppe und mindestens 8 brauchbaren Gruppen verwendet werden.

In allen Fällen sollte der Spannungsunterschied zwischen zwei Spannungsstufen ΔU zwischen 1,5 und 3 % des erwarteten Wertes von U_{50} liegen.

8.4.2 Verfahren für gesicherte Durchschlagsspannungsprüfung

Die Verfahren für eine gesicherte Durchschlagsspannungsprüfung sind ähnlich denen in Abschnitt 8.3.1 beschrieben mit den entsprechenden Änderungen zwischen Durchschlag- und Nichtdurchschlagbedingungen.

Das zuständige Technische Komitee darf auch andere Prüfverfahren für besondere Prüflinge festlegen.

9 Prüfungen mit Schaltstoßspannung

9.1 Begriffe für Schaltstoßspannungsprüfungen

9.1.1

Schaltstoßspannung

ist ein Spannungsimpuls mit einer Stirnzeit länger als 20 µs

9.1.2

Wert der Prüfspannung

ist der Scheitelwert der Prüfspannung, falls nicht anderweitig vom zuständigen technischen Komitee festgelegt

9.1.3

Scheitelzeit T_p

Zeitraum zwischen dem tatsächlichen Beginn und dem Punkt, wenn die Impulsspannung ihren Scheitelwert erreicht hat, festgelegt als das 2,4fache der Zeitdauer T zwischen den Punkten, wenn die Impulsspannung 30 % und 90 % des Scheitelwertes erreicht hat

9.1.4

Rückenhalbwertzeit T_2

einer Schaltstoßspannung ist der Zeitraum zwischen dem tatsächlichen Beginn und dem Punkt, wenn die Spannung zum ersten Mal auf die Hälfte des Scheitelwertes abgefallen ist

9.1.5

Scheiteldauer (90 %) T_d

einer Schaltstoßspannung ist der Zeitraum während die Impulsspannung 90 % ihres Scheitelwertes übersteigt

9.1.6

Nulldurchgangszeit T_0

einer Schaltstoßspannung ist der Zeitraum zwischen dem tatsächlichen Beginn und dem ersten Nulldurchgang der Spannung

ANMERKUNG Die Festlegung der Scheiteldauer und der Nulldurchgangszeit anstelle der Rückenhalbwertzeit wurde z. B. dort für nützlich befunden, wo der Verlauf der Spannung durch Sättigungserscheinungen im Prüfling oder im Prüfkreis bestimmt wird oder wo die Anforderung an die Prüfung von wichtigen Teilen der inneren Isolierung als besonders abhängig von diesen Parametern angesehen wird. Bei der Festlegung einer Schaltstoßspannung ist im allgemeinen nur ein Parametersatz zur Beschreibung der Kurvenform gegeben. Die einzelnen Zeitparameter sollten deutlich mit einem Hinweis angegeben werden, z. B. T_p/T_2 oder $T_p/T_d/T_0$ Impulse.

Zusätzliche Parameter können durch das zuständige Technische Komitee für besondere Prüfungen festgelegt werden.

9.2 Prüfspannung

9.2.1 Genormte Schaltstoßspannung

Die genormte Schaltstoßspannung ist eine Schaltstoßspannung mit einer Scheitelzeit T_p von 250 µs und einer Rückenhalbwertzeit von 2500 µs. Sie wird als 250/2500 Impuls bezeichnet.

9.2.2 Grenzabweichungen

Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt, werden folgende Unterschiede zwischen den festgelegten Werten und den tatsächlich aufgezeichneten Werten sowohl bei genormten als auch besonderen Schaltstoßspannungen zugelassen:

Scheitelwert $\pm 3 \%$

Stirnzeit	$\pm 20 \%$
Rückenhalfwertzeit	$\pm 60 \%$

In bestimmten Fällen, z. B. bei Prüflingen mit kleiner Impedanz, kann es schwierig sein, die Form der Stoßspannung innerhalb der empfohlenen Grenzabweichungen einzustellen. In diesen Fällen darf das zuständige Technische Komitee andere Grenzabweichungen oder andere Impulsformen festlegen.

ANMERKUNG Die Durchschlagspannung langer Funkenstrecken kann von der Scheitelzeit und von der Rückenhalfwertzeit einer Schaltstoßspannung beeinflusst werden. Es wird daher bei solchen Prüflingen empfohlen, die angelegte Schaltstoßspannung durch ihre tatsächlichen Zeitparameter zu kennzeichnen. Größere Grenzabweichungen in der erwarteten Rückenhalfwertzeit können zugelassen werden, wenn der Durchschlag vor oder im Scheitelwert stattfindet.

9.2.3 Besondere Schaltstoßspannungen

In besonderen Anwendungsfällen, wenn die Anwendung der genormten Schaltstoßspannung nicht zufriedenstellend oder zweckmäßig erscheint, können von dem zuständigen Technischen Komitee besondere Schaltstoßspannungen mit aperiodischem oder schwingendem Verlauf vorgeschrieben werden.

9.2.4 Erzeugung der Prüfspannung

Schaltstoßspannungen werden üblicherweise mit einem gewöhnlichen Stoßspannungsgenerator erzeugt. Sie können auch erzeugt werden, indem ein Spannungsimpuls auf die Niederspannungsseite eines Prüftransformators (oder des zu prüfenden Transformators) geschaltet wird.

Die Elemente des Kreises zur Erzeugung einer Schaltstoßspannung sollten so gewählt werden, dass übermäßige Störungen der Impulsform durch Vorentladungsströme im Prüfling vermieden werden. Solche Ströme können recht große Werte annehmen, insbesondere bei Verschmutzungsprüfungen von äußeren Isolierungen mit hohen Spannungen. In Prüfkreisen mit hohem Innenwiderstand können sie erhebliche Störungen der Spannung verursachen oder sogar einen Durchschlag verhindern.

9.2.5 Messung der Prüfspannung und Bestimmung der Impulsform

Die Messung der Prüfspannung und die Bestimmung der Impulsform sollten nach 8.3.6.1 erfolgen.

9.3 Prüfverfahren

Die Prüfverfahren sind im allgemeinen die gleichen wie für Blitzstoßspannung und ähnliche statistische Überlegungen gelten auch hier (siehe Abschnitt 8.4 und Anhang A9). Wenn vom zuständigen Technischen Komitee nicht anders festgelegt kann die Streuung der Durchschlagspannung für Trocken- und Beregnungsprüfungen einer Luftisolierung ohne Beteiligung einer anderen Isolierung, angenommen werden zu:

$$s = 0,06$$

Entsprechend größere Spannungsintervalle ΔU dürfen gewählt werden, wenn das Spannungssteigerungs- oder das Auf-und-Ab-Verfahren verwendet werden.

ANMERKUNG Bei Schaltstoßspannungen treten häufig Durchschläge zu zufälligen Zeiten vor dem Scheitelwert auf. Bei der Darstellung von Ergebnissen aus Durchschlagprüfungen, die in gemäß Abschnitt 8.4.1.4 durchgeführt wurden, wird der Zusammenhang zwischen Durchschlagwahrscheinlichkeit und Spannung im allgemeinen unter Verwendung des erwarteten Scheitelwertes ausgedrückt. Allerdings ist auch ein anderes Verfahren gebräuchlich, bei dem die tatsächliche Durchschlagspannung für jeden Impuls gemessen wird; die Wahrscheinlichkeitsverteilung der gemessenen Durchschlagspannung wird dann mit dem in Anhang A für Prüfungen der Gruppe 3 beschriebenen Verfahren bestimmt.

10 Kombinierte Spannungs- und Mischspannungsprüfungen

10.1 Kombinierte Spannungsprüfung

Bei einer kombinierten Spannungsprüfung werden zwei verschiedene Spannungsquellen, die jeweils eine Spannung gegen Erde erzeugen, mit zwei verschiedenen Anschlüssen des Prüflings verbunden, (z. B. ein offener Leistungsschalter, siehe Bild 13 a). Bei einer solchen Prüfung können alle Kombinationen von Blitzstoß-, Schaltstoß-, Gleich- oder Wechselspannungen auftreten.

Die Prüfspannung wird durch ihre Amplitude, den Zeitverzug Δt zwischen den Scheitelwerten und die Kurvenform, den Scheitelwert und die Polarität jeder einzelnen Spannungskomponente gekennzeichnet.

Wenn kombinierte Spannungsprüfungen an einem Prüfling mit zwei Spannungsanschlüssen durchgeführt werden, dann sollen sie den Zustand nachbilden, bei dem an einem Anschluss des offenen Schalters die festgelegte netzfrequente Spannung anliegt und der andere Anschluss mit einer Blitzstoß- oder Schaltstoßspannung beansprucht wird. Der Prüfkreis muss diese Situation für die innere und äußere Isolierung nachbilden. In besonderen Fällen kann das zuständige Technische Komitee zulassen, die netzfrequente Spannung durch eine Schaltstoßspannung mit geeigneter Form nachzubilden.

10.1.1 Wert der Prüfspannung, U

Der Wert der Prüfspannung U ist der größte Spannungsunterschied zwischen den an Spannung liegenden Anschlüssen des Prüflings (siehe Bild 13b).

10.1.2 Verzögerungszeit Δt

Die Verzögerungszeit Δt einer kombinierten Spannung ist der Zeitraum zwischen den Punkten, an denen die einzelnen Spannungskomponenten ihren Scheitelwert erreichen, gemessen vom Zeitpunkt eines Scheitelwertes an (siehe Bild 14). Die Grenzabweichung beträgt $0,05 T_{pmax}$, wobei T_p die Zeit bis zum Scheitelwert oder die Stirnzeit bei Stoßspannung oder eine Viertelperiode bei Wechselspannung beschreibt, und T_{pmax} der größere der Werte T_p der beiden Spannungskomponenten ist.

Zwei Spannungen einer kombinierten Spannungsprüfung werden als gleichzeitig angesehen, wenn ihre Verzögerungszeit Δt unter Beachtung der beschriebenen Grenzabweichung gleich Null ist.

10.1.3 Tatsächliche Spannungsform

Wegen der gegenseitigen Beeinflussung der beiden Erzeugersysteme weichen die Kurvenformen und die Werte der beiden Anteile der kombinierten Spannung von denen ab, die mit denselben Spannungsquellen einzeln erzeugt werden. Die beiden Spannungsanteile müssen daher während der kombinierten Spannungsprüfung vorzugsweise gegen Erde mit geeigneten Messsystemen gemessen werden.

Jedes Messsystem muss für die Messung der Kurvenform jeder der beiden Spannungskomponenten geeignet sein, um Fehler bei der gegenseitigen Beeinflussung zu vermeiden.

Die größten zulässigen Abweichungen von der vorgeschriebenen Spannungsform müssen vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden.

ANMERKUNG Es sollte beachtet werden, dass bei einem Durchschlag während der kombinierten Spannungsprüfung beide Spannungsquellen direkt miteinander verbunden sind, wenn keine zusätzlichen Schutzelemente (z. B. Widerstände oder Schutzfunkenstrecken) im Prüfkreis vorhanden sind. In jedem Fall wird sich die Spannungsaufteilung zwischen den beiden Spannungsquellen vollständig ändern, wenn ein Durchschlag auftritt.

10.1.4 Anordnung des Prüflings

Die Anordnung des Prüflings insbesondere unter Berücksichtigung geerdeter Teile, muss vom zuständigen Technischen Komitee festgelegt werden.

10.1.5 Atmosphärische Korrekturfaktoren

In einer kombinierten Spannungsprüfung muss der für den höchsten Spannungsanteil gültige atmosphärische Korrekturfaktor auf den Wert der Prüfspannung angewendet werden.

10.2 Mischspannungsprüfungen

Eine Mischspannung ist eine Spannung, die von zwei verschiedenen Spannungsquellen erzeugt wird, wenn diese zwischen einem Punkt des Prüflings und Erde angeschlossen werden.

Die Festlegung ihrer Kenngrößen wird dem zuständigen Technischen Komitee überlassen.

ANMERKUNG Mischprüfungen dürfen auch durch Anschluss von Stoßspannungs- und Stoßstromquellen am Prüfling durchgeführt werden.

Anhang A

Statistische Bearbeitung von Prüfergebnissen

A.1 Klassifizierung von Prüfungen

Durchschlagprüfungen können für die statistische Bewertung in drei Gruppen eingeteilt werden.

A.1.1 Gruppe 1: Spannungssteigerungsprüfungen (Bild 15)

In Prüfungen der Gruppe 1 werden n_i Spannungsbeanspruchungen (z. B. Blitzstoßspannungsimpulse) bei jedem der m Spannungspegel U_i ($i = 1, 2, \dots, m$) mit der Spannungsdifferenz $\Delta U = U_{j+1} - U_j$ ausgeführt. Obwohl dieses Verfahren üblicherweise bei Stoßspannungsprüfungen eingesetzt wird, fallen auch Wechselspannungsprüfungen und Gleichspannungsprüfungen mit vorgegebener Beanspruchungszeit in diese Gruppe.

ANMERKUNG Die Kenngrößen sollten wie folgt gewählt werden: $m \geq 5$, $n \geq 10$; $\Delta U = (0,01 \dots 0,06) U_{50}$

Die Prüfergebnisse bestehen aus den n Zahlen m_i der Spannungsbeanspruchungen und der entsprechenden Zahlen d_i der Durchschläge bei jedem Spannungspegel U_i .

A.1.2 Gruppe 2: Auf-und-Ab-Verfahren (Bild 16)

In Prüfungen der Gruppe 2 werden m im wesentlichen gleiche Spannungsbeanspruchungen bei verschiedenen Spannungspegeln U_i ausgeführt. Der Spannungspegel für jede nachfolgende Gruppe von Spannungsbeanspruchungen wird um einen kleinen Betrag ΔU erhöht oder gesenkt, entsprechend dem Ergebnis der vorangegangenen Gruppe von Spannungsbeanspruchungen.

Zwei Prüfverfahren werden üblicherweise benutzt. Das Nichtüberschlagverfahren mit dem Ziel, Spannungspegel mit kleiner Durchschlagwahrscheinlichkeit zu finden und das Durchschlagverfahren mit der Ermittlung der Spannungspegel mit hoher Durchschlagwahrscheinlichkeit. Im Nichtdurchschlagverfahren wird die Spannung um den Betrag ΔU erhöht, wenn kein Durchschlag in einer Gruppe von m Spannungsbeanspruchungen auftritt, ansonsten wird der Spannungspegel um den gleichen Betrag erniedrigt. Im Durchschlagverfahren wird der Spannungspegel um ΔU erhöht, wenn einmal oder mehrmals kein Durchschlag erfolgt, ansonsten wird der Spannungspegel um den gleichen Betrag erniedrigt.

Für $m = 1$ sind die beiden Verfahren identisch und entsprechen dem Auf-und-Ab-Verfahren zur Bestimmung der 50 % Durchschlagspannung.

Prüfungen mit anderen Werten von m werden ebenfalls zur Bestimmung von Spannungspegeln mit anderen Durchschlagwahrscheinlichkeiten verwendet. Die Prüfergebnisse sind Zahlen k_i einer Beanspruchungsgruppe mit dem Spannungspegel U_i . Der erste Spannungspegel U_i , der zur Auswertung herangezogen wird ist der, bei dem mindestens zwei Beanspruchungsgruppen vorliegen. Die Gesamtzahl der brauchbaren Gruppen ist $n = \sum k_i$.

ANMERKUNG Prüfungen mit $m = 7$ ergeben die 10 % und 90 % Durchschlagspannungen, die entsprechend als Stehspannung und Durchschlagspannung definiert sind (siehe Abschnitt 8.4.1.4). Die anderen Parameter müssen wie folgt gewählt werden: $\Delta U = (0,01 \dots 0,03) U_{50}$ $n > 20$.

A.1.3 Gruppe 3: Schrittweise Prüfungen (Bild 17)

In Prüfungen der Gruppe 3 wird das Verfahren, das immer zum Durchschlag des Prüflings führt, n -mal angewendet. Die Prüfspannung kann gleichmäßig oder in Stufen gesteigert werden, bis ein Durchschlag bei der Spannung U_i eintritt oder konstant auf einen Wert U_i gehalten werden, bis der Durchschlag nach der Zeit t_i erfolgt. Die Prüfergebnisse bestehen aus n Werten Spannung U_i oder der Zeit t_i bei denen der Durchschlag aufgetreten ist ($n \geq 10$).