

	Leistungstransformatoren Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000) Deutsche Fassung EN 60076-3:2001	DIN EN 60076-3
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0532 Teil 3
ICS 29.180 Power transformers Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000); German version EN 60076-3:2001 Transformateurs de puissance Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air (CEI 60076-3:2000 + Corrigendum 2000); Version allemande EN 60076-3:2001 Die Europäische Norm EN 60076-3:2001 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60076-3 wurde am 2001-01-01 angenommen. Daneben darf DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07 und DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12 noch bis 2004-01-01 angewendet werden. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 14/271/CD (VDE 0532 Teil 103):1997-10. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2008 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Ersatz für DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07 und DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12 Siehe Beginn der Gültigkeit Fortsetzung Seite 2 bis 4 und 53 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07** und **DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Unterschiedliche Prüfmethode werden vereinheitlicht und an IEC/ANSI-Forderungen angeglichen;
- Anforderungen und dielektrische Prüfungen wurden überarbeitet und in einer Tabelle zusammengefasst;
- Norm wurde vollständig redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07

DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12

Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050(421):1990	IEV Kapitel 421:1995	–
HD 588.1 S1:1991	IEC 60060-1:1989 + Corr. März 1990	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1):1994-06	VDE 0432 Teil 1
EN 60060-2:1994	IEC 60060-2:1994 A1:1996	DIN EN 60060-2 (VDE 0432 Teil 2):1996-03	VDE 0432 Teil 2
EN 60060-2/A11:1998	–	DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11):1998	VDE 0432 Teil 2/A11
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1):1996-07	VDE 0111 Teil 1
EN 60071-2:1997	IEC 60071-2:1996	DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2):1997-09	VDE 0111 Teil 2
EN 60076-1:1997	IEC 60076-1:1993 (mod)	DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101):1997-12	VDE 0532 Teil 101
EN 60137:1996	IEC 60137:1995	DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5):1996-10	VDE 0674 Teil 5
–	IEC 60270:1981	DIN VDE 0434 (VDE 0434):1983-05	VDE 0434

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60722:1982	DIN VDE 0532-13 (VDE 0532 Teil 13):1984-07	VDE 0532 Teil 13
HD 479 S1:1986	IEC 60790:1984	DIN VDE 0432-5 (VDE 0432 Teil 5):1987-03	VDE 0432 Teil 5
EN 61083-1:1993	IEC 61083-1:1991 (mod)	DIN EN 61083-1 (VDE 0432 Teil 7):1994-04	VDE 0432 Teil 7
EN 61083-2:1997	IEC 61083-2:1996	DIN EN 61083-2 (VDE 0432 Teil 8):1998-01	VDE 0432 Teil 8
–	CISPR 16-1:1993 A1:1997	E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1):1998-05 E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1):1999-04	VDE 0876 Teil 16-1 VDE 0876 Teil 16-1/A1

Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen zu Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991.

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

DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme; Deutsche Fassung EN 60060-2/A11:1998.

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

DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2), Isolationskoordination – Teil 2: Anwendungsrichtlinie (IEC 60071-2:1996); Deutsche Fassung EN 60071-2:1997.

DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101), Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-1:1997.

DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5), Isolierte Durchführungen für Wechselspannungen über 1 kV (IEC 60137:1995); Deutsche Fassung EN 60137:1996.

DIN EN 61083-1 (VDE 0432 Teil 7), Digitalrecorder für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen – Teil 1: Anforderungen an Digitalrecorder (IEC 61083-1:1991, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61083-1:1993.

DIN EN 61083-2 (VDE 0432 Teil 8), Digitalrecorder für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen – Teil 2: Prüfung von Software zur Bestimmung der Parameter von Stoßspannungen (IEC 61083-2:1996); Deutsche Fassung EN 61083-2:1997.

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991.

IEV Kapitel 421, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 421: Transformatoren und Drosselspulen; Identisch mit IEC 60050-421:1990.

DIN VDE 0432-5 (VDE 0432 Teil 5), *Hochspannungs-Prüftechnik; Oszilloskope und Scheitelspannungsmessgeräte für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen.*

DIN VDE 0434 (VDE 0434), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teilentladungsmessungen (VDE-Richtlinie).*

DIN VDE 0532-13 (VDE 0532 Teil 13), *Transformatoren und Drosselspulen – Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfungen von Transformatoren und Drosselspulen (VDE-Bestimmung); Richtlinie.*

E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegungen der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit (IEC-CISPR 60016-1:1993).*

E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Änderung A1 (IEC/CISPR 16-1:1993/A1:1997).*

Deutsche Fassung

Leistungstransformatoren
Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft
(IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Power transformers
Part 3: Insulation levels, dielectric tests and
external clearances in air
(IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Transformateurs de puissance
Partie 3: Niveaux d'isolement, essais
diélectriques et distances d'isolement dans l'air
(CEI 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-01-01 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, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 14/347/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60076-3, ausgearbeitet von dem IEC TC 14 „Power transformers“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-01-01 als EN 60076-3 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt HD 398.3 S1:1986 + A1:1995.

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): 2001-10-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-01-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge D, ZA und ZB normativ und die Anhänge A, B und C informativ.

Die Anhänge ZA und ZB wurden von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-3:2000 + Corrigendum Dezember 2000 wurde von CENELEC als Europäische Norm angenommen mit der nachstehend redaktionellen Abänderung:

Im Abschnitt 12.3 ist die dritte Anmerkung zu streichen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe.....	7
4 Allgemeines.....	8
5 Höchste Spannung für Betriebsmittel und Isolationspegel	9
6 Festlegungen für einige Sonderarten von Transformatoren.....	11
7 Anforderungen an die Isolation und Spannungsprüfungen – Grundregeln	12
7.1 Allgemeines.....	12
7.2 Anforderungen an die Isolation	13
7.3 Spannungsprüfungen.....	14
7.4 Anforderungen an die Isolation und Prüfungen für den Sternpunktanschluss einer Wicklung	17
8 Prüfungen an einem Transformator mit einer angezapften Wicklung	18
9 Wiederholung von Spannungsprüfungen	18
10 Isolation der Hilfsverdrahtung	19
11 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung	19
12 Prüfung mit induzierter Wechselspannung (ACSD, ACLD)	19
12.1 Allgemeines.....	19
12.2 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit gleichmäßig isolierter Oberspannungswicklung	20
12.3 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit abgestuft isolierten Oberspannungswicklungen	22
12.4 Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD) an abgestuft und gleichmäßig isolierten Oberspannungswicklungen nach Tabelle 1	24
13 Blitzstoßspannungsprüfung (LI)	26
13.1 Allgemeines.....	26
13.2 Prüffolge.....	27
13.3 Prüfschaltungen	28
13.4 Prüfaufzeichnungen	29
13.5 Beurteilung der Prüfergebnisse	29
14 Prüfung mit abgeschnittener Blitzstoßspannung (LIC)	30
14.1 Allgemeines.....	30
14.2 Abschneidefunkenstrecke und Kennwerte des Abschneidens.....	30
14.3 Prüffolge und Beurteilung der Prüfergebnisse	30
15 Schaltstoßspannungsprüfungen (SI)	31
15.1 Allgemeines.....	31
15.2 Prüffolge und Prüfaufzeichnungen.....	31
15.3 Prüfschaltungen	32
15.4 Beurteilung der Prüfergebnisse	32

16	Äußere Luftstrecken	32
16.1	Allgemeines	32
16.2	Anforderungen an Durchführungsluftstrecken, die durch die Stehspannungen der Transformatorisolation bestimmt werden	33
Anhang A	(informativ) Leitfaden für die Anwendung von Teilentladungsmessungen an Transformatoren während der Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung nach 12.2, 12.3 und 12.4	41
Anhang B	(informativ) Überspannungen, die von der Oberspannungswicklung auf eine Unterspannungswicklung übertragen werden	47
Anhang C	(informativ) Angaben zur Isolation des Transformators und Spannungsprüfungen, die bei einer Anfrage oder Bestellung zu machen sind	49
Anhang D	(normativ) ACSD	50
Anhang ZA	(normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	52
Anhang ZB	(normativ) Besondere nationale Bedingungen	53
Bild 1	– Zeitliche Folge für das Anlegen der Prüfspannung im Hinblick auf Erde	21
Bild 2	– Schaltungen für einphasige Prüfungen mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) an Transformatoren mit abgestufter Isolation	23
Bild 3	– Strangweise Prüfung eines in Stern oder in Dreieck geschalteten Drehstromtransformators	24
Bild 4	– Zeitliche Folge des Anlegens der Prüfspannung für eine Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD)	25
Bild 5	– Leiter-Erde-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung	39
Bild 6	– Leiter-Leiter-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung zwischen Leitersträngen	39
Bild 7	– Luftstrecke auf der Grundlage der Blitzstoßspannung	40
Bild A.1	– Kalibrierschaltung zur Messung der Teilentladung bei Vorhandensein einer Kondensatordurchführung mit kapazitiver Anzapfung	42
Bild A.2	– Schaltung zur Messung der Teilentladungen unter Verwendung eines Hochspannungs-Koppelkondensators	42
Bild A.3	– Ortung von Teilentladungsquellen durch „Messung an mehreren Anschlüssen“ und „Profilvergleich“	46
Bild B.1	– Ersatzschaltbild für die kapazitive Übertragung von Überspannungen	48
Tabelle 1	– Anforderungen an und Prüfungen für verschiedene Wicklungskategorien	13
Tabelle 2	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I auf der Basis europäischer Praxis	14
Tabelle 3	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169$ kV – Serie II auf der Basis der in den USA angewandten Praxis	16
Tabelle 4	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit $U_m > 170$ kV	17
Tabelle 5	– Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I basierend auf europäischer Praxis	36

Tabelle 6 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169 \text{ kV}$ – Serie II basierend auf nordamerikanischer Praxis	37
Tabelle 7 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m > 170 \text{ kV}$	38
Tabelle D.1 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für gleichmäßig isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5 \text{ kV}$ nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.2.2	50
Tabelle D.2 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für abgestuft isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5 \text{ kV}$ nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.3	51

Einleitung

Dieser Teil von IEC 60076 legt die Isolations-Anforderungen und die entsprechenden Isolationsprüfungen unter Hinweis auf bestimmte Wicklungen und ihre Anschlüsse fest. Er legt ebenfalls Abstände in Luft zwischen spannungsführenden Teilen von Durchführungen bei Öltransformatoren und zu Gegenständen auf Erdpotential fest ([Abschnitt 16](#)). Eine Anleitung kann aus IEC 60071 gewonnen werden.

Die Isolationspegel und Spannungsprüfungen, die in den [Abschnitten 4, 5, 6 und 7](#) festgelegt sind, beziehen sich in dieser Norm nur auf die innere Isolation. Obgleich es sinnvoll ist, dass die Werte der Bemessungs-Stehspannungen, die für die innere Isolation des Transformators festgelegt sind, als Hinweis auf seine äußere Isolation genommen werden sollten, kann dies nicht in allen Fällen zutreffend sein. Ein Fehler in der sich nicht selbst heilenden inneren Isolation ist katastrophal und führt normalerweise zu einer Betriebsstörung des Transformators über eine längere Dauer, während ein äußerer Überschlag nur eine kurze Betriebsunterbrechung ohne bleibende Schäden verursachen kann. Daher kann es zur Erhöhung der Sicherheit sein, dass durch den Betreiber höhere Prüfspannungen für die innere Isolation des Transformators festgelegt werden als für die äußere Isolation von anderen Komponenten des Systems. Wird solch eine Unterscheidung getroffen, sind die äußeren Abstände so abzustimmen, dass sie vollständig für die Anforderungen der inneren Isolationsprüfung ausreichen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gilt für ölgefüllte Einphasen- und Dreiphasenleistungstransformatoren (einschließlich Spartransformatoren), mit Ausnahme bestimmter kleiner und Spezialtransformatoren, wie im Anwendungsbereich von IEC 60076-1 näher bestimmt. Sie kennzeichnet Transformatorwicklungen mit ihren höchsten Spannungen für Betriebsmittel U_m gemeinsam mit ihren entsprechenden Bemessungs-Isolationspegeln und beschreibt eingehend die entsprechend richtigen Spannungsprüfungen und die äußeren Mindestabstände in Luft zwischen spannungsführenden Teilen von Durchführungen und zu Gegenständen auf Erdpotential.

Für die Klassen von Leistungstransformatoren und Drosselspulen, die in eigenen IEC-Normen beschrieben sind, ist diese Norm nur dann anwendbar, wenn durch besonderen Querverweis in der anderen Norm auf diese Norm hingewiesen wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 60076 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 60076 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im Folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050 (421):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 421: Power transformers and reactors*.

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*.

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*.

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

IEC 60071-2:1976, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*.

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*.

IEC 60137:1995, *Bushings for alternating voltages above 1000 V*.

IEC 60270, *Partial discharge measurements*.

IEC 60722, *Guide to lightning impulse and switching impulse testing for power transformers and reactors*.

IEC 60790, *Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse tests*.

IEC 61083-1, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for digital recorders*.

IEC 61083-2, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms*.

CISPR 16-1:1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*.

3 Begriffe

Im Sinne des vorliegenden Teils von IEC 60076 gelten folgende Begriffe. Andere verwendete Begriffe haben die Bedeutungen, die ihnen in IEC 60076-1 oder in IEC 60050 (421) zugeschrieben werden.

3.1

höchste Spannung für Betriebsmittel U_m bezogen auf eine Transformatorwicklung

höchster Effektivwert einer Spannung zwischen zwei Phasen in einem dreiphasigen System, für den eine Transformatorwicklung hinsichtlich ihrer Isolation ausgelegt ist

3.2

Bemessungs-Isolationspegel

eine Reihe von Norm-Steh-Spannungen, die die Durchschlagfestigkeit der Isolation charakterisieren

3.3

Norm-Isolationspegel

ein Bemessungs-Isolationspegel, dessen Norm-Steh-Spannungen der Spannung U_m , wie in den **Tabellen 2** und **3 von IEC 60071-1** vorgeschlagen, zugeordnet sind

3.4

gleichmäßige Isolation einer Transformatorwicklung

Isolation einer Transformatorwicklung, bei der alle ihre Enden, die zu Anschlüssen herausgeführt sind, den gleichen Bemessungs-Isolationspegel haben

3.5

abgestufte Isolation einer Transformatorwicklung

Isolation einer Transformatorwicklung, die einen Sternpunktanschluss für den direkten oder indirekten Anschluss an Erde besitzt und der für einen niedrigeren Isolationspegel ausgelegt ist als für einen Leiteranschluss festgelegt

4 Allgemeines

Die Anforderungen an die Isolation von Leistungstransformatoren und die entsprechenden Isolationsprüfungen werden unter Hinweis auf bestimmte Wicklungen und ihre Anschlüsse angegeben.

Bei Öltransformatoren gelten die Anforderungen nur für die innere Isolation. Alle hinsichtlich der äußeren Isolation für notwendig erachteten zusätzlichen Anforderungen oder Prüfungen müssen zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart werden, einschließlich Typprüfungen an einem geeigneten Modell der Konfiguration.

Wenn der Anwender beabsichtigt, die Anschlüsse des Transformators so vorzunehmen, dass die am Transformator allein vorgesehenen Luftstrecken verringert werden können, sollte dies in der Anfrage herausgestellt werden.

Wenn ein Öltransformator für den Betrieb in einer Aufstellungshöhe von mehr als 1000 m vorgesehen ist, müssen die Luftstrecken entsprechend ausgelegt sein. Es kann dann erforderlich sein, Durchführungen zu wählen, die für einen höheren Isolationspegel ausgelegt sind als die, die für die innere Isolation der Transformatorwicklung festgelegt sind, siehe **Abschnitt 16** dieser Norm und **4.2 von IEC 60137**.

Durchführungen werden getrennten Typ- und Stückprüfungen nach **IEC 60137** unterzogen, die ihre äußere und innere Isolation zwischen Leiter und Erde nachweisen.

Es wird vorausgesetzt, dass Durchführungen und Stufenschalter nach den zutreffenden IEC-Normen festgelegt, ausgelegt und geprüft sind. Die Isolationsprüfungen am vollständigen Transformator stellen jedoch eine Überprüfung der richtigen Anwendung und des richtigen Einbaus dieser Bauteile dar.

Die Isolationsprüfung muss im Allgemeinen im Herstellerwerk durchgeführt werden, wobei der Transformator etwa Umgebungstemperatur, jedoch mindestens 10 °C, hat.

Der Transformator muss vollständig wie für den Betrieb, einschließlich seiner Überwachungsbetriebsmittel, zusammengebaut sein. Die Ausrüstung mit Teilen, die die Durchschlagfestigkeit der inneren Isolation nicht beeinflussen, z. B. die äußere Kühlanlage, ist jedoch nicht erforderlich.

Falls ein Transformator seine Prüfanforderungen nicht erfüllt und der Fehler in einer Durchführung liegt, ist es zulässig, diese Durchführung zeitweilig durch eine andere zu ersetzen und die Prüfung des Transformators ohne Verzögerung bis zum Abschluss fortzuführen. Einen Sonderfall stellen Prüfungen mit Teilentladungsmessungen dar, bei denen bestimmte Arten üblicherweise verwendeter Hochspannungsdurchführungen wegen ihres relativ hohen Teilentladungspegels im Dielektrikum Schwierigkeiten bereiten. Wenn solche

Durchführungen vom Abnehmer festgelegt sind, ist es zulässig, sie für die Dauer der Prüfung des Transformators durch eine teilentladungsfreie Durchführungsart zu ersetzen, siehe [Anhang A](#).

Transformatoren mit Kabelendverschlüssen oder für direkten Anschluss an metallgekapselte SF₆-Anlagen sollten so konstruiert sein, dass für die Isolationsprüfungen zeitweilige Anschlüsse, falls notwendig, mit Prüf-Durchführungen vorgenommen werden können. Auf Vereinbarung können daher Öl/SF₆-Durchführungen durch geeignete Öl/Luft-Durchführungen ersetzt werden.

Falls der Hersteller beabsichtigt, zur Begrenzung übertragener transientser Überspannungen nichtlineare Elemente oder Überspannungsableiter zu verwenden, die in den Transformator eingebaut oder außen an ihm angebracht werden, muss dies dem Anwender zum Zeitpunkt des Angebots oder der Bestellung mitgeteilt werden; es wird empfohlen, dies auf dem Schaltungsdiagramm des Transformatorleistungsschildes anzuzeigen.

5 Höchste Spannung für Betriebsmittel und Isolationspegel

Jeder Wicklung eines Transformators, sowohl den Phasen- als auch dem Sternpunkt, ist ein Wert der höchsten Spannung für Betriebsmittel U_m zugeordnet, siehe [3.1](#).

Die Festlegungen für die Koordination der Transformatorisolation hinsichtlich transientser Überspannungen sind je nach dem Wert von U_m unterschiedlich formuliert.

Wenn Festlegungen über entsprechende Prüfungen für verschiedene Wicklungen eines Transformators widersprüchlich sind, muss die Festlegung für die Wicklung mit dem höchsten U_m -Wert für den gesamten Transformator gelten.

Festlegungen für eine Anzahl von Sonderklassen von Transformatoren sind in [Abschnitt 6](#) angegeben.

Genormte Werte für U_m sind in den [Tabellen 2 bis 4](#) angegeben. Der Wert, der für eine Transformatorwicklung verwendet werden soll, ist gleich dem Bemessungswert der Wicklung oder gleich dem nächsthöheren Wert.

ANMERKUNG 1 Einphasentransformatoren, die für Sternschaltung in einer Drehstrombank vorgesehen sind, werden durch ihre Bemessungsspannung Leiter-Erde gekennzeichnet – zum Beispiel $400 / \sqrt{3}$. Die Leiter-Leiter-Spannung bestimmt die Wahl von U_m , d. h., demzufolge in diesem Fall $U_m = 420$ kV.

ANMERKUNG 2 Es kann vorkommen, dass bestimmte Anzapfungsspannungen geringfügig höher als ein Normwert von U_m gewählt werden, dass aber das Netz, an das die Wicklung angeschlossen wird, eine höchste Netzspannung hat, die innerhalb des Normwertes liegt. Die Anforderungen an die Isolation müssen mit den tatsächlichen Bedingungen koordiniert werden, und deshalb sollte dieser Normwert als U_m für den Transformator gewählt werden und nicht der nächsthöhere Wert.

ANMERKUNG 3 In bestimmten Anwendungsfällen mit sehr speziellen Bedingungen kann die Festlegung anderer Kombinationen von Stehspannungen gerechtfertigt sein. In solchen Fällen sollte der allgemeinen Anleitung nach [IEC 60076-1](#) gefolgt werden.

ANMERKUNG 4 In bestimmten Anwendungsfällen sind im Dreieck geschaltete Wicklungen über einen der externen Anschlüsse geerdet. Bei solchen Anwendungen kann eine höhere Stehspannung im Hinblick auf die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m für diese Wicklung verlangt werden und sollte zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m und ihre zugehörigen Stehspannungen, d. h. ihre Isolationspegel, bestimmen die Spannungsfestigkeitscharakteristik eines Transformators. Sie werden durch eine Reihe von Spannungsprüfungen je nach dem Wert von U_m nachgewiesen, siehe [Abschnitt 7](#).

Der Wert von U_m und der Isolationspegel, die jeder Wicklung eines Transformators zugeordnet werden, sind Teil der Angaben, die bei Anfrage und Bestellung zu machen sind. Wenn eine Wicklung mit abgestufter Isolation vorhanden ist, muss der Isolationspegel des Sternpunktanschlusses ebenfalls vom Kunden festgelegt werden, siehe [7.4.3](#).

Die Bemessungs-Stehspannungen aller Wicklungen müssen auf dem Leistungsschild angegeben werden. Die Grundsätze für die genormten Kurzbezeichnungen sind in einigen folgenden Beispielen unten dargestellt.

Die Klassifikation der Isolationsauslegung muss unabhängig von der Durchführung der Prüfung aus den Werten in den Tabellen 2, 3 und 4 oder aus IEC 60071-1 ermittelt werden. Da in den meisten Fällen die Langzeit-Wechselspannungsprüfungen Qualitätsprüfungen im Hinblick auf die Betriebsbedingungen und keine Konstruktionsnachweisprüfungen sind, müssen die Isolationspegel wie folgt charakterisiert werden:

U_m ist die höchste Spannung für Betriebsmittel
SI/LI/AC,

soweit zutreffend –/LI/AC.

Die oben und in den Beispielen unten verwendeten Kurzbezeichnungen haben folgende Bedeutung:

SI ist die Steh-Schaltstoßspannung für die Leiter-Anschlüsse der Wicklung mit der höchsten U_m ;

LI ist die Steh-Blitzstoßspannung für die Leiter- und Sternpunktanschlüsse jeder einzelnen Wicklung;

AC ist die kurzzeitig induzierte und angelegte Stehwechselfeldspannung für die Leiter- und Sternpunktanschlüsse jeder einzelnen Wicklung;

OS ist die Oberspannung;

US ist die Unterspannung;

MS ist die Mittelspannung.

Beispiel 1:

U_m (OS) = 72,5 kV und U_m (US) 12 kV, beide gleichmäßig isoliert, Sternschaltung

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	325/140 kV
	US-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	60/28 kV

Beispiel 2:

U_m (OS) Leiter = 245 kV, Sternschaltung;

U_m (OS) Sternpunkt = 52 kV;

U_m (MS) Leiter = 72,5 kV gleichmäßig isoliert, Sternschaltung;

U_m (US) Leiter = 24 kV, Dreieckschaltung

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI	650/850 kV
	OS-Sternpunkt	LI/AC	250/95 kV
	MS-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	325/140 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

Beispiel 3:

Ein Spartransformator mit $U_m = 420$ kV und 145 kV mit einer festgesetzten $U_m = 17,5$ kV für den Sternpunkt zum direkten Anschluss an Erde, Sternschaltung. U_m (US) Leiter = 24 kV, Dreieckschaltung.

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI	1 050/1 300 kV
	MS-Leiteranschluss	LI/AC	550/230 kV
	OS/MS – Sternpunkt	LI/AC	–/38 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

oder wenn zusätzlich eine Kurzzeit-Wechselspannungsprüfung gefordert wird:

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI/AC	1 050/1 300/570 kV
	MS-Leiteranschluss	LI/AC	550/230 kV
	OS/MS - Sternpunkt	LI/AC	–/38 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

6 Festlegungen für einige Sonderarten von Transformatoren

Werden innerhalb des Transformators (gewöhnlich Spartransformatoren) gleichmäßig isolierte Wicklungen mit unterschiedlichen Werten von U_m miteinander verbunden, müssen die angelegten Steh-Wechselprüfspannungen von der Isolierung des gemeinsamen Sternpunktes und dessen festgesetzter U_m bestimmt werden.

Bei Transformatoren mit einer oder mehreren abgestuft isolierten Wicklung(en) werden die Prüfspannungen für die Prüfung mit induzierter Stehspannung und gegebenenfalls für die Schaltstoßspannungsprüfung durch die Wicklung mit dem höchsten Wert von U_m bestimmt, und die Wicklungen mit niedrigeren Werten von U_m können ihre entsprechenden Prüfspannungen nicht erreichen. Diese Abweichung sollte normalerweise akzeptiert werden. Wenn das Übersetzungsverhältnis zwischen den Wicklungen durch Anzapfungen verändert werden kann, sollte dies dazu verwendet werden, die Prüfspannung der Wicklung mit niedrigerer Spannung U_m so nahe wie möglich an den entsprechenden Wert zu bringen.

Bei Schaltstoßspannungsprüfungen sind die über den verschiedenen Wicklungen auftretenden Spannungen den Verhältnissen der Windungszahlen etwa proportional. Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannungen müssen nur der Wicklung mit der höchsten U_m zugeordnet werden. Spannungsbeanspruchungen an anderen Wicklungen sind ebenso proportional zum Verhältnis der Windungszahlen und werden durch die Wahl der geeigneten Anzapfung so abgestimmt, dass sie so nah wie möglich an die festgesetzten Werte in [Tabelle 4](#) kommen. Die Spannungsbeanspruchungen bei Schaltstoß an anderen Wicklungen müssen auf ungefähr 80 % der festgesetzten Steh-Blitzstoßspannungen an diesen Anschlüssen begrenzt werden.

Reihenwicklungen in einstellbaren Zusatztransformatoren, Phasenschiebertransformatoren usw., deren Bemessungsspannung der Wicklung nur einen kleinen Teil der Netzspannung beträgt, müssen einen Wert von U_m haben, der der Netzspannung entspricht. Es ist oft undurchführbar, derartige Transformatoren in formeller Übereinstimmung mit der vorliegenden Norm zu prüfen und es sollte zwischen dem Hersteller und Abnehmer vereinbart werden, welche Prüfungen entfallen dürfen oder abgeändert werden müssen.

Bei Einphasentransformatoren, die für den Anschluss zwischen zwei Außenleitern vorgesehen sind, wie im Fall von Versorgungen für Bahnstromnetze, können höhere Prüfwerte als in der vorliegenden Norm angegeben erforderlich sein.

Besondere Gesichtspunkte im Hinblick auf Prüfanschlüsse und die Anzahl der an mehrfach anschließbaren Transformatoren durchzuführenden Prüfungen sind zum Zeitpunkt der Auftragserteilung zu vereinbaren.

7 Anforderungen an die Isolation und Spannungsprüfungen – Grundregeln

Transformatorwicklungen sind durch ihre höchste Spannung für Betriebsmittel U_m in Verbindung mit ihrem entsprechenden Isolationspegel gekennzeichnet. Dieser Abschnitt behandelt ausführlich die notwendigen Isolationsanforderungen und durchführbaren Spannungsprüfungen. Für die Arten von Leistungstransformatoren und Drosselspulen, die in eigenen IEC-Normen beschrieben sind, sind die Anforderungen nur in dem Umfang gültig, wie sie durch einen Querverweis in der anderen Norm ausdrücklich angeführt sind.

7.1 Allgemeines

Die Grundregeln für die Anforderungen an die Isolation und für Spannungsprüfungen sind in [Tabelle 1](#) zusammengefasst.

Stufen von Norm-Steh-Spannungen, die durch die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m einer Wicklung gekennzeichnet sind, sind in den [Tabellen 2, 3 und 4](#) angegeben. Die Auswahl der verschiedenen Stufen von Norm-Steh-Spannungen in diesen Tabellen hängt von der in dem System zu erwartenden Überspannungen und von der Bedeutung der einzelnen Anlage ab. Hinweise hierzu können [IEC 60071-1](#) entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Verteiltransformatoren für Vorstadt- oder ländliche Anlagen sind in einigen Ländern Überspannungen stark ausgesetzt. In solchen Fällen können höhere Prüfspannungen, Blitzstoß-Prüfungen und andere Prüfungen an einzelnen Einheiten zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart werden. Sie sollten in der Anfrage deutlich aufgeführt werden.

ANMERKUNG 2 In einigen Ländern kann es auch andere Kombinationen von U_m -Werten geben.

Angaben über die ausgewählten Anforderungen an die Isolation von Transformatoren und Spannungsprüfungen sind bei Anfrage oder Bestellung zu liefern, siehe [Anhang C](#).

Die Isolationsanforderungen sind in [7.2](#) festgelegt. Die Überprüfung der Stehspannungen durch Spannungsprüfungen sind in [7.3](#) aufgeführt. Die Isolationsanforderungen und Prüfungen für den Sternpunktanschluss einer Wicklung sind in [7.4](#) angegeben.

Die Erweiterung der Blitzstoßspannungsprüfung, um Prüfungen mit Stoßspannungen, die im Rücken abgeschnitten sind, als Sonderprüfung aufzunehmen, wird in Fällen empfohlen, in denen der Transformator direkt mit GIS durch ÖL/SF₆-Durchführungen verbunden ist oder wenn der Transformator durch Stab-Funkenstrecken geschützt ist. Der Scheitelwert der abgeschnittenen Stoßspannung muss 10 % höher sein, als bei der vollen Stoßspannung.

Bei Transformatoren mit einer Oberspannungswicklung von $U_m > 72,5$ kV sind die Blitzstoß-Prüfungen Stückprüfungen für alle Wicklungen des Transformators.

Tabelle 1 – Anforderungen an und Prüfungen für verschiedene Wicklungskategorien

Wicklungskategorie	Höchste Spannung des Betriebsmittels U_m kV	Prüfungen				
		Blitzstoßspannung (LI) (siehe Abschnitte 13 und 14)	Schaltstoßspannung (SI) (siehe Abschnitt 15)	Langzeit - Wechselspannung (ACLD) (siehe 12.4)	Kurzzeit - Wechselspannung (ACSD) (siehe 12.2 oder 12.3)	Angelegte Stehwechselspannung (ACSD) (siehe Abschnitt 11)
Gleichmäßige Isolation	$U_m \leq 72,5$	Typprüfung (Anmerkung 1)	nicht anwendbar	nicht anwendbar (Anmerkung 1)	Stückprüfung	Stückprüfung
Gleichmäßige und abgestufte Isolation	$72,5 < U_m \leq 170$	Stückprüfung	nicht anwendbar	Sonderprüfung	Stückprüfung	Stückprüfung
	$170 < U_m < 300$	Stückprüfung	nicht anwendbar (Anmerkung 2)	Stückprüfung	Sonderprüfung (Anmerkung 2)	Stückprüfung
	$U_m \geq 300$	Stückprüfung	Stückprüfung	Stückprüfung	Sonderprüfung	Stückprüfung

ANMERKUNG 1 In einigen Ländern sind für Transformatoren mit $U_m \leq 72,5$ kV die LI-Prüfungen als Stückprüfungen und die ACLD-Prüfungen als Stück- oder Typprüfungen erforderlich.

ANMERKUNG 2 Falls die Kurzzeit-Prüfung mit induzierter Wechselspannung festgelegt ist, darf die Schaltstoßspannungsprüfung entfallen. Dies sollte deutlich im Anfrageschriftstück angegeben sein.

7.2 Anforderungen an die Isolation

Die dielektrischen Standard-Anforderungen sind:

- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine Norm-Steh-Schaltstoßspannung (SI) für die Leiteranschlüsse nach [Tabelle 4](#);
- eine Norm-Steh-Blitzstoßspannung (LI) für die Leiteranschlüsse nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#);
- falls festgelegt, eine Norm-Steh-Blitzstoßspannung (LI) für den Sternpunkt;
- bei gleichmäßiger Isolation ist der Scheitelwert für die Stoßspannung der gleiche wie für die Leiteranschlüsse; bei abgestufter Isolation ist der Scheitelwert für die Stoßspannung wie nach [7.4.3](#) festgelegt;
- eine angelegte Norm-Steh-Wechselspannung nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#);
- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine kurzzeitig induzierte Norm-Steh-Wechselspannung (ACSD) für die Leiteranschlüsse nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#) und nach [12.2](#) oder [12.3](#);
- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine langfristig induzierte Wechselspannung (ACLD) mit Teilentladungsmessung nach [12.4](#).

Siehe Berichtigung 1 zu DIN EN 60076-3 (VDE 0532 Teil 3):2001-11

Tabelle 2 – Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I auf der Basis europäischer Praxis

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung kV (Scheitelwert)	Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung, induziert oder angelegt kV (Effektivwert)
3,6	20	10
7,2	40	20
12	60	28
17,5	75	38
24	95	50
	125	
36	145	70
	170	
52	250	95
60	280	115
72,5	325	140
	380	
100	450	185
123	550	230
145	650	275
170	750	325

ANMERKUNG Die gepunkteten Linien können zusätzliche Stehspannungsprüfungen zwischen den Leitern erfordern, um nachzuweisen, dass die Anforderungen an die Stehspannungen zwischen den Leitern erfüllt sind.

Niederspannungswicklungen mit $U_m \leq 1,1$ kV müssen mit einer angelegten Stehwechselspannung von 3 kV geprüft werden.

7.3 Spannungsprüfungen

Die Norm-Steh-Spannungen werden mit Spannungsprüfungen nachgewiesen. Sie müssen, falls zutreffend und falls nicht anders vereinbart, in der nachstehend angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

- Schaltstoßspannungsprüfung (SI) der Leiteranschlüsse, siehe [Abschnitt 15](#)

Die Prüfung soll die Steh-Schaltstoßspannungsfestigkeit der Leiteranschlüsse und der daran angeschlossenen Wicklung(en) gegen Erde und den übrigen Wicklungen, die Stehspannungsfestigkeit zwischen den Phasen sowie längs der geprüften Wicklung(en) nachweisen.

Die Prüfung ist eine wesentliche Anforderung an Transformatoren, die einer langfristig induzierten Langzeit-Steh-Wechselspannungs(ACLD)-Prüfung unterworfen wurden.

- Blitzstoßspannungsprüfung (LI) der Leiteranschlüsse, siehe [Abschnitt 13](#)