

	DIN IEC 62477 (VDE 0558-477)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 29.200; 31.080.99

Einsprüche bis 2008-07-31

Entwurf

**Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme –
Teil 1: Allgemeines
(IEC 22/130/CD:2008)**

Safety requirements for power semiconductor converter systems –
Part 1: General
(IEC 22/130/CD:2008)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-05-14 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 140 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 22/130/CD:2008 „Safety requirements for power semiconductor converter systems – Part 1: General“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine autorisierte deutsche Übersetzung.

Das internationale Dokument wurde vom TC 22 „Power electronic systems and equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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

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

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

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

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60034-1	IEC 60034-1	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1
EN 60034-5	IEC 60034-5	DIN EN 60034-5 (VDE 0530-5):2007-09	VDE 0530-5
–	IEC 60050(111)	IEV Teil 111:1997-05	–
–	IEC 60050(151)	–	–

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050(161)	IEV 161:1999	–
–	IEC 60050(191)	–	–
–	IEC 60050(441)	–	–
–	IEC 60050(442)	–	–
–	IEC 60050(551)	–	–
–	IEC 60050(601)	–	–
HD 588.1 S11:1991	IEC 60060-1:1989	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06	VDE 0432-1
EN 60068-2-2	IEC 60068-2-2	DIN EN 60068-2-2:1994-08	–
EN 60068-2-6	IEC 60068-2-6	DIN EN 60068-2-6:1996-05	–
EN 60068-2-78	IEC 60068-2-78	DIN EN 60068-2-78:2002-09	–
EN 60112:2003	IEC 60112:2003	DIN EN 60112 (VDE 0303-11):2003-11	VDE 0303-11
EN 60216-4-1	IEC 60216-4-1	DIN EN 60216-4-1 (VDE 0304-4-1):2006-12	VDE 0304-4-1
EN 60249-1:1993	IEC 60249-1:1982	DIN EN 60249-1:1994-04	–
EN 60309-1	IEC 60309-1	DIN EN 60309-1 (VDE 0623-1):2007-11	VDE 0623-1
–	IEC 60364-1:2001	–	–
HD 60364-4-443:2006	IEC 60364-4-44:2001	DIN VDE 0100-443 (VDE 0100-443):2007-06	VDE 0100-443
HD 60364-5-54	IEC 60364-5-54	DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2007-06	VDE 0100-540
EN 60417 (alle Teile)	IEC 60417 (alle Teile)	DIN EN 60417	
EN 60529:1991	IEC 60529:2001	DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09	VDE 0470-1
EN 60617 (Reihe)	IEC 60617 (Reihe)	DIN EN 60617 (Reihe)	–
–	IEC 60664-1:2002	–	–
EN 60664-3:2003	IEC 60664-3:2003	DIN EN 60664-3 (VDE 0110-3):2003-09	VDE 0110-3
EN 60664-4:2006	IEC 60664-4:2005	DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4):2006-06	VDE 0110-4
EN 60695-2-10:2001	IEC 60695-2-10:2000	DIN EN 60695-2-10 (VDE 0471-2-10):2001-11	VDE 0471-2-10
EN 60695-2-11:2001	IEC 60695-2-11:2000	DIN EN 60695-2-11 (VDE 0471-2-11):2001-11	VDE 0471-2-11
EN 60695-2-12:2001	IEC 60695-2-12:2000	DIN EN 60695-2-12 (VDE 0471-2-12):2001-11	VDE 0471-2-12
EN 60695-2-13:2001	IEC 60695-2-13:2000	DIN EN 60695-2-13 (VDE 0471-2-13):2001-11	VDE 0471-2-13
EN 60695-11-10:1999	IEC 60695-11-10:1999	DIN EN 60695-11-10 (VDE 0471-11-10):2004-05	VDE 0471-11-10

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60695-11-20:1999	IEC 60695-11-20:1999	DIN EN 60695-11-20 (VDE 0471-11-20):2004-05	VDE 0471-11-20
EN 60721 (Reihe)	IEC 60721 (Reihe)	DIN EN 60721 (Reihe)	–
–	IEC 60755:1983	–	–
EN 60947-7-1:2002	IEC 60947-7-1:2002	DIN EN 60947-7-1 (VDE 0611-1):2993-07	VDE 0611-1
EN 60947-7-2:2002	IEC 60947-7-2:2002	DIN EN 60947-7-2 (VDE 0611-2):2993-07	VDE 0611-2
EN 60990:1999	IEC 60990:1999	DIN EN 60990 (VDE 0106-102):2000-10	VDE 0106-102
EN 61032	IEC 61032	DIN EN 61032 (VDE 0470-2):1998-10	VDE 0470-2
EN 61082-1	IEC 61082-1	DIN EN 61082-1 (VDE 0040-1):2007-03	VDE 0040
EN 61140:2002	IEC 61140:2001	DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007-03	VDE 0140-1
TS 61643-12:2006	IEC 61643-12:2002	DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12):2007-10	VDE V 0675-6-12
EN 62020	IEC 62020:	DIN EN 62020 (VDE 0663):2005-11	VDE 0663
EN 62079:2001	IEC 62079:2001	DIN EN 62079 (VDE 0039):2001-11	VDE 0039
–	ISO 3864:1984	–	–
EN ISO 3746	ISO 3746	DIN EN ISO 3746: 1995-12	–
EN ISO 9614-1	ISO 9614-1	DIN EN ISO 9614-1:1995-06	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12):2007-10, Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 12: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Auswahl und Anwendungsgrundsätze (IEC 61643-12:2000, modifiziert); Deutsche Fassung CLC/TS 61643-12:2006

DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten*

DIN EN 60034-5 (VDE 0530-5), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 5: Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion von drehenden elektrischen Maschinen (IP-Code) – Einteilung*

DIN EN 60068-2-2, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen – Prüfgruppe B: Trockene Wärme*

DIN EN 60068-2-6, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen – Prüfung Fc: Schwingen, sinusförmig*

DIN EN 60068-2-78, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen – Prüfung Cab: Feuchte Wärme, konstant*

DIN EN 60112 (VDE 0303-11), Verfahren zur Bestimmung der Prüfzahl und der Vergleichszahl der Kriechwegbildung von festen, isolierenden Werkstoffen

DIN EN 60216-4-1 (VDE 0304-4-1), Elektroisierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 4-1: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Einzelkammerwärmeschränke

DIN EN 60249-1:1994-04, Basismaterialien für gedruckte Schaltungen – Teil 1: Prüfverfahren (IEC 60249-1:1982 + A4:1993); Deutsche Fassung EN 60249-1:1993 + A4:1994

DIN EN 60309-1, (VDE 0623-1, Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

DIN EN 60417, Graphische Symbole für Betriebsmittel

DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09, Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000.

DIN EN 60617 (Reihe), Graphische Symbole für Schaltpläne

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

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

DIN EN 60695-2-10 (VDE 0471-2-10):2001-11, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 2-10: Prüfverfahren: Prüfung mit dem Glühdraht – Glühdrahtprüfeinrichtungen und allgemeines Prüfverfahren (IEC 60695-2-10:2000); Deutsche Fassung EN 60695-2-10:2001

DIN EN 60695-2-11 (VDE 0471-2-11):2001-11, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 2-11: Prüfung mit dem Glühdraht zur Entflammbarkeit von Enderzeugnissen (IEC 60695-2-11:2000); Deutsche Fassung EN 60695-2-11:2001

DIN EN 60695-2-12 (VDE 0471-2-12):2001-11, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 2-12: Prüfung mit dem Glühdraht zur Entflammbarkeit von Werkstoffen (IEC 60695-2-12:2000); Deutsche Fassung EN 60695-2-12:2001

DIN EN 60695-2-13 (VDE 0471-2-13):2001-11, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 2-13: Prüfung mit dem Glühdraht zur Entzündbarkeit von Werkstoffen (IEC 60695-2-13:2000); Deutsche Fassung EN 60695-2-13:2001

DIN EN 60695-11-10 (VDE 0471-11-10):2004-05, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 11-10: Prüfflammen – Prüfverfahren mit 50-W-Prüfflamme horizontal und vertikal (IEC 60695-11-10:1999 + A1:2003); Deutsche Fassung EN 60695-11-10:1999 + A1:2003

DIN EN 60695-11-20 (VDE 0471-11-20):2004-05, Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 11-20: Prüfflammen – Prüfverfahren mit einer 500-W-Prüfflamme (IEC 60695-11-20:1999 + A1:2003); Deutsche Fassung EN 60695-11-20:1999 + A1:2003

DIN EN 60721 (Reihe), Klassifizierung von Umweltbedingungen

DIN EN 60947-7-1 (VDE 0611-1):2003-07, Niederspannungsschaltgeräte – Teil 7-1: Hilfseinrichtungen – Reihenklemmen für Kupferleiter (IEC 60947-7-1:2002); Deutsche Fassung EN 60947-1:2002

DIN EN 60947-7-2 (VDE 0611-2):2003-07, Niederspannungsschaltgeräte – Teil 7-2: Hilfseinrichtungen – Schutzleiter-Reihenklemmen für Kupferleiter (IEC 60947-7-2:2002); Deutsche Fassung EN 60947-2:2002

E DIN IEC 62477 (VDE 0558-477):2008-05

DIN EN 60990 (VDE 0106-102):2000-10, Verfahren zur Messung von Berührungsstrom und Schutzleiterstrom (IEC 60990:1999); Deutsche Fassung EN 60990:1999

DIN EN 61032 (VDE 0470-2):1998-10, Schutz von Personen und Ausrüstung durch Gehäuse – Prüfsonden zum Nachweis (IEC 61032:1997); Deutsche Fassung EN 61032:1998

DIN EN 61082-1 (VDE 0040-1):2007-03, Dokumente der Elektrotechnik – Teil 1: Regeln (IEC 61082-1:2006); Deutsche Fassung EN 61082:2006

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

DIN EN 62020 (VDE 0663):2005-11, Elektrisches Installationsmaterial – Differenzstrom-Überwachungsgeräte für Hausinstallationen und ähnliche Verwendungen (RCMs) (IEC 62020:1998 + A1:2003, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62020:1998 + A1:2005

DIN EN 62079 (VDE 0039):2001-11, Erstellen von Anleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung (IEC 62079:2001); Deutsche Fassung EN 62079:2001

DIN EN ISO 3746: 1995-12, Akustik - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene (ISO 3746:1995); Deutsche Fassung EN ISO 3746:1995

DIN EN ISO 9614-1:1995-06, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messung an diskreten Punkten (ISO 9614-1:1993); Deutsche Fassung EN ISO 9614-1:1995

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994.06, Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen zu Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991

DIN VDE 0100-443 (VDE 0100-443):2007-06, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-44: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen – Abschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen (IEC 60364-4-44:2001 + A1:2003, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-4-443:2006

DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540), Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichten elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter

IEV Teil 111:1997-05, EV – Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 111: Physik und Chemie; Identisch mit IEC 60050(111):1996-07

IEV 161:1999, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 161: Elektromagnetische Verträglichkeit; Konsolidierte Fassung aus IEC 60050-161:1990-08, Änderung 1:1997-10 und Änderung 2:1998-04*

Sicherheitsanforderungen an Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme
Teil 1: Allgemeines

Inhalt

	Seite
Einleitung	12
1 Anwendungsbereich	13
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe	15
4 Schutz gegen Gefährdungen.....	21
4.1 Allgemeines	21
4.2 Fehlerbedingungen.....	22
4.3 Kurzschluss- und Überstromschutz.....	22
4.4 Schutz gegen elektrischen Schlag	23
4.5 Schutz gegen energetische Gefährdungen.....	52
4.6 Schutz gegen Brand und thermische Gefährdungen	53
4.7 Schutz gegen mechanische Gefährdungen	61
4.8 Betriebsmittel mit mehreren Versorgungsquellen	63
4.9 Schutz gegen Beanspruchungen durch die Umwelt	64
4.10 Schutz gegen Gefährdungen durch Schalldruck.....	65
4.11 Verdrahtung und Verbindungen	66
4.12 Gehäuse	69
5 Anforderungen an Prüfungen	73
5.1 Allgemeines	73
5.2 Prüfbestimmungen	77
6 Anforderungen an Informationen und Aufschriften	101
6.1 Allgemeines	101
6.2 Informationen zur Auswahl	103
6.3 Informationen für die Errichtung und Inbetriebnahme	104
6.4 Informationen zum Einsatz	106
6.5 Informationen zur Instandhaltung.....	109
Anhang A (informativ) Beispiele für den Schutz im Falle des direkten Berührens.....	110
A.1 Schutz durch <i>maßgebliche Spannung der Klasse A</i>	110
A.2 Schutz durch Schutzimpedanz	110
A.3 Schutz durch Spannungsbegrenzung	111
A.4 Auswahl der Klasse der maßgeblichen Spannung für Berührungsspannung, PELV- und SELV-Stromkreise	111
Anhang B (informativ) Verringerung des Verschmutzungsgrades	119
B.1 Einleitung	119
B.2 Einflussfaktoren für den Verschmutzungsgrad.....	119
B.3 Verringerung der Einflussfaktoren.....	119

Anhang C (informativ) Symbole, auf die in IEC 62477 verwiesen wird	120
Anhang D (normativ) Bewertung von Luft- und Kriechstrecken.....	121
D.1 Messung	121
D.2 Beziehung der Messung zum Verschmutzungsgrad.....	121
D.3 Beispiele	121
Anhang E (informativ) Höhenkorrektur für Luftstrecken	127
Anhang F (informativ) Bestimmung von Kriech- und Luftstrecken für Frequenzen über 30 kHz	128
F.1 Luftstrecke	128
F.2 Kriechstrecke	129
Anhang G (informativ) Querschnitte von runden Leitern	131
Anhang H (informativ) Richtlinien der RCD-Kompatibilität	132
H.1 Auswahl des RCD-Typs.....	132
H.2 Kurvenverläufe von Fehlerströmen.....	133
Anhang I (informativ) Beispiele für die Herabsetzung der Überspannungskategorie.....	135
I.1 Allgemeines	135
I.2 Isolierung gegen die Umgebung (siehe 4.4.6.2).....	135
I.3 Funktionsisolierung (siehe 4.4.6.3).....	139
I.4 Weitere Beispiele.....	139
Anhang J (informativ) Literaturhinweise.....	140
Bild 1 – Zeit/Berührungsspannung-Bereich (Effektivwert/Gleichspannung) unter Fehlerbedingungen und bei trockenem Zustand der Haut	24
Bild 2 – Zeit/Berührungsspannung-Bereich (Effektivwert/Gleichspannung) unter Fehlerbedingungen und bei wassernassem Zustand der Haut	25
Bild 3 – Typischer Kurvenverlauf für eine Arbeitswechselspannung	27
Bild 4 – Typischer Kurvenverlauf für eine Arbeitsgleichspannung.....	28
Bild 5 – Typischer Kurvenverlauf für eine pulsierende <i>Arbeitsspannung</i>	28
Bild 6 – Beispiele für den Schutz gegen direktes Berühren.....	30
Bild 7 – Beispiel für eine <i>PSCS</i> -Baueinheit und deren zugehörige <i>Schutzverbindung</i>	36
Bild 8 – Öffnungen in der Unterseite einer Brandschutzhülle unter einem ungekapselten oder teilgekapselten brandgefährdeten Bauelement	56
Bild 9 – Bauweise der Ablenkbleche für Brandschutzhüllen.....	56
Bild 10 – Schlagprüfung mit einer Stahlkugel	79
Bild 11 – Durchführung der Spannungsprüfung.....	86
Bild 12 – Schaltung für die Hochstrom-Lichtbogenprüfung	95
Bild 13 – Prüfaufbau für die Entzündungsprüfung mit dem Heizdraht.....	96
Bild A.1 – Schutz durch <i>maßgebliche Spannung der Klasse A</i> , mit <i>Schutztrennung</i>	110
Bild A.2 – Schutz durch <i>Schutzimpedanz</i>	110
Bild A.3 – Schutz durch Spannungsbegrenzung	111
Bild A.4 – Berührungsspannung für trockene Umgebung	115

Bild A.5 – Berührungsspannung für wassernasse Umgebung	115
Bild A.6 – Berührungsspannung für salzwassernasse Umgebung	115
Bild A.7 – Berührungsspannung für trockene Umgebung	116
Bild A.8 – Berührungsspannung für wassernasse Umgebung	116
Bild A.9 – Berührungsspannung für salzwassernasse Umgebung	116
Bild A.10 – Berührungsspannung für trockene Umgebung	117
Bild A.11 – Berührungsspannung für wassernasse Umgebung	117
Bild A.12 – Berührungsspannung für salzwassernasse Umgebung	117
Bild A.13 – Berührungsspannung für trockene Umgebung	118
Bild A.14 – Berührungsspannung für wassernasse Umgebung	118
Bild A.15 – Berührungsspannung für salzwassernasse Umgebung	118
Bild H.1 – Flussdiagramm für die Auswahl des RCD-Typs, wenn ein <i>PSCS</i> nachgeschaltet wird	132
Bild H.2 – Kurvenverläufe von Fehlerströmen in Schaltungen mit Halbleiterbauelementen	133
Bild H.2 – Kurvenverläufe von Fehlerströmen in Schaltungen mit Halbleiterbauelementen (fortgesetzt)	134
Bild I.1 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die direkt am Einspeisungspunkt des <i>Versorgungsnetzes</i> der <i>Anlage</i> angeschlossen sind	135
Bild I.2 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind	135
Bild I.3 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Betriebsmittel, die nicht dauerhaft an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind	136
Bild I.4 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die direkt am Einspeisungspunkt des <i>Versorgungsnetzes</i> der <i>Anlage</i> angeschlossen sind, wobei innere SPDs benutzt werden	136
Bild I.5 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind, wobei innere SPDs benutzt werden	136
Bild I.6 – Beispiel für die Bewertung der <i>Schutztrennung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind, wobei innere SPDs benutzt werden	137
Bild I.7 – Beispiel für die Bewertung der <i>Schutztrennung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind, wobei innere SPDs benutzt werden	137
Bild I.8 – Beispiel für die Bewertung der <i>Schutztrennung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind, wobei innere SPDs benutzt werden	137
Bild I.9 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die nicht direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind	138
Bild I.10 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die nicht direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind	138
Bild I.11 – Bewertung der <i>Funktionsisolierung</i> innerhalb von Stromkreisen, die durch äußere Transienten beeinflusst werden	139
Bild I.12 – Bewertung der <i>Basisisolierung</i> für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen und die nicht direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind	139
Bild I.13 – Bewertung der Isolierung für einen Stromkreis mit einer <i>maßgeblichen Spannung der</i> <i>Klasse A</i>	139
Tabelle 1 – Alphabetische Aufstellung der Begriffe	15
Tabelle 2 – Spannungsgrenzwerte für die <i>Klassen der maßgeblichen Spannung</i> bei	

bestimmungsgemäßem Betrieb.....	24
Tabelle 3 – Auswahl der Körperkontaktfläche	25
Tabelle 4 – Auswahl des Zustandes der Haut	25
Tabelle 5 – Auswahl der <i>DVC</i> für die Berührungsspannung	26
Tabelle 6 – Schutzanforderungen für den betrachteten Stromkreis	27
Tabelle 7 – Werte der berührbaren Kapazität und Ladespannung (Schmerzschwelle)	33
Tabelle 8 – Auswahl der <i>DVC</i> in Abhängigkeit von der Fehlerbedingung	34
Tabelle 9 – <i>DVC</i> für <i>PELV</i> - und <i>SELV</i> -Stromkreise	35
Tabelle 10 – Querschnitte der <i>Schutzleiter</i>	37
Tabelle 11 – Definitionen der Verschmutzungsgrade	40
Tabelle 12 – Isolationsspannung für Niederspannungskreise	41
Tabelle 13 – Luftstrecken für <i>Funktions</i> -, <i>Basis</i> - oder <i>zusätzliche Isolierung</i>	45
Tabelle 14 – Kriechstrecken in mm.....	46
Tabelle 15 – Zulässige Öffnungen in den Unterseiten von Brandschutzumhüllungen	57
Tabelle 16 – Höchste gemessene Temperaturen für im Innern verwendete Werkstoffe und Bauelemente.....	59
Tabelle 17 – Höchste gemessene Temperaturen von außen liegenden Teilen des <i>PSCS</i>	60
Tabelle 18 – Grenzwerte für Stromquellen ohne Überstrom-Schutzeinrichtung	61
Tabelle 19 – Grenzwerte für Stromquellen mit Überstrom-Schutzeinrichtung	61
Tabelle 20 – Umweltbetriebsbedingungen.....	64
Tabelle 21 – Umweltbeanspruchungen	65
Tabelle 22 – Blechdicken für Gehäuse aus Kohlenstoffstahl oder Edelstahl	71
Tabelle 23 – Blechdicken für Gehäuse aus Aluminium, Kupfer oder Messing.....	72
Tabelle 24 – Prüfungsübersicht	75
Tabelle 25 – Werte der Zugkraft für die Prüfung der Sicherung von Griffen und handbetätigten Einstellelementen	80
Tabelle 26 – Stoßspannungsprüfung.....	81
Tabelle 27 – Prüfstoßspannung	82
Tabelle 28 – Prüfwechsel- oder -gleichspannung für Stromkreise, die direkt an das <i>Versorgungsnetz</i> angeschlossen sind.....	83
Tabelle 29 – Prüfwechsel- oder -gleichspannung für Stromkreise, die an ein <i>Fremdversorgungsnetz</i> angeschlossen sind	84
Tabelle 30 – Teilentladungsprüfung.....	88
Tabelle 31 – Prüfdauer für die Prüfung der <i>Schutzverbindung</i>	91
Tabelle 32 – Prüfung mit trockener Wärme (konstant)	99
Tabelle 33 – Prüfung mit feuchter Wärme (konstant)	100
Tabelle 34 – Schwingungsprüfung.....	101
Tabelle 35 – Anforderungen an Informationen	102
Tabelle A.1 – Auswahl von Berührungsspannungsgruppen für Herzkammerflimmern	112
Tabelle A.2 – Auswahl von Berührungsspannungsgruppen für Loslassreaktion	112

Tabelle A.3 – Auswahl von Berührungsspannungsgruppen für Stromwahrnehmung.....	113
Tabelle A.4 – Auswahl der <i>Klasse der maßgeblichen Spannung</i> für SELV und PELV für Herzkammerflimmern	113
Tabelle A.5 – Auswahl der <i>Klasse der maßgeblichen Spannung</i> für SELV und PELV für Loslassreaktion.....	113
Tabelle A.6 – Auswahl der <i>Klasse der maßgeblichen Spannung</i> für SELV und PELV für Stromwahrnehmung	114
Tabelle C.7 – Verwendete Symbole	120
Tabelle D.1 – Nutenbreiten für Verschmutzungsgrade	121
Tabelle E.1 – Korrekturfaktor für Luftstrecken in Höhenlagen zwischen 2 000 m und 20 000 m (siehe 4.4.6.4.1).....	127
Tabelle E.2 – Prüfspannungen für die Überprüfung von Luftstrecken in unterschiedlichen Höhenlagen	127
Tabelle F.1 – Mindestwerte der Luftstrecken bei atmosphärischem Druck für inhomogene Feldverteilung (IEC 60664-4, Tabelle 1)	129
Tabelle F.2 – Mindestwerte der Kriechstrecken für verschiedene Frequenzbereiche	130
Tabelle G.1 – Genormte Querschnitte von runden Leitern.....	131

Einleitung

Diese Internationale Norm gilt für Produkte mit Leistungshalbleiterumrichtern deren Bemessungsnetzspannung 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung nicht überschreitet. Sie legt Anforderungen fest zur Verringerung der Risiken von Bränden, elektrischem Schlag, Gefährdungen durch Wärme und Energie sowie weiterer Sicherheitsfragen mit Ausnahme der Funktionssicherheit, welche in IEC 61508 definiert und in IEC 61800-5-2 interpretiert wird, und ihre Zielstellung besteht in der Festlegung einer einheitlichen Terminologie und Grundlage für die Sicherheitsanforderungen an Produkte, die Leistungshalbleiterumrichter enthalten.

Diese Norm soll von den Produktkomitees des TC22 als Bezugsschriftstück verwendet werden oder soll die Mindestanforderungen hinsichtlich der Sicherheitsaspekte von Leistungshalbleiter-Umrichtersystemen in Betriebsmitteln liefern, für die es keine Produktnorm gibt. Es wird erwartet, dass sie auch von anderen Produktkomitees der IEC als Gruppensicherheitsnorm angewendet wird.

Die Existenz dieser Norm liefert mehrere Vorteile:

1. Konsolidierung der existierenden Sicherheitsnormen für Leistungselektronik-Umrichter, die dadurch preisgünstiger und übereinstimmender für die Anwender bei Auslegung, Bewertung und Prüfung von Leistungshalbleiter-Umrichtersystemen werden.
2. Die optimierte Entwicklung und Fortschreibung von Sicherheitsnormen für Leistungshalbleiter-Umrichtersysteme (en: power semiconductor converter systems – PSCS) führt zur kostengünstigeren, einfacheren und schnelleren Entwicklung von Produktnormen.
3. Die Verfügbarkeit einer Gruppensicherheitsnorm für PSCS, die von weiteren Produktkomitees (z. B. TC82, TC88 oder TC105) herangezogen werden kann.

1. Konsolidierung von Normen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es innerhalb des TC22 Normen, die beschreiben, wie ein sicheres PSCS zu konstruieren, bewerten und zu prüfen ist, jedoch sind diese Normen auf unterschiedlichen Wegen entstanden.

Einige von ihnen enthalten spezifische Anforderungen, die aus Grundnormen oder anderen maßgeblichen Normen abgeleitet wurden, wobei sich andere weitgehend auf weitere Produktfamiliennormen stützen (besonders auf IEC 60950-1) mit den gegebenenfalls notwendigen Ergänzungen oder Abänderungen. Jede Herangehensweise hat ihre Vorteile und die Endergebnisse sind im Wesentlichen ähnlich. Da jedoch die Produkte hinsichtlich der Auslegung der PCSC sehr ähnlich sind, wäre eine übereinstimmende Herangehensweise vorteilhaft.

Diese Norm wurde durch Untersuchung der vorhandenen Normen des TC22 mit Sicherheitsaspekten entwickelt (schwerpunktmäßig waren dies IEC 61800-5-1, IEC 62040-1, IEC 62103, IEC 62140-7, IEC 62310-1) sowie deren Quellnormen und anschließend wurden deren Anforderungen in einem einzigen zusammenhängenden Dokument kombiniert. Außerdem wurden mögliche Anforderungen weiterer Produktkomitees berücksichtigt, die PSCS-Technologien anwenden.

2. Optimierte Erarbeitung von Normen

Das Strategic Policy Statement des TC22 führt an, dass „es schwierig ist, Fachleute zu gewinnen“. Der neue Aufbau wird die Anzahl der Fachleute, die für die Erarbeitung und Fortschreibung von einzelnen Produktnormen erforderlich sind, erheblich verringern.

3. Gruppensicherheitsnorm

In naher Zukunft werden viele neue Produkte PSCS enthalten (beispielsweise im Bereich des TC88 „Windenergieanlagen“ oder des TC105 „Brennstoffzellensysteme“). Sogar jetzt gibt es einen Bedarf an Normen, mit denen die Sicherheitsanforderungen existierender Umrichterprodukte abgedeckt werden (z. B. Umrichter für die Anwendung in Fahrzeugen, Vergnügungsbooten usw., die von 12-V-Batterien gespeist werden und 230 V an die Betriebsmittel liefern).

Die Entwicklung einer Gruppensicherheitsnorm für PSCS, die von weiteren Produktkomitees angewendet werden kann, liegt im Arbeitsbereich des TC22.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gilt für Produkte und Systeme, die Leistungshalbleiterumrichter (PSC) enthalten, deren Bemessungsnetzspannung 1 000 V Wechselspannung oder 1 500 V Gleichspannung nicht überschreitet.

Diese Internationale Norm:

- legt eine einheitliche Terminologie für Sicherheitsaspekte von Leistungshalbleiter-Umrichtersystemen (PSCS) fest;
- schafft eine einheitliche Basis für Sicherheitsanforderungen an den PSC-Anteil von Produkten, die PSC enthalten;
- legt Anforderungen zur Verringerung der Risiken von Brand, elektrischem Schlag, thermischen und energetischen Gefährdungen und weiteren Sicherheitsfragen, mit Ausnahme der Funktionssicherheit, während des Gebrauchs und Betriebes fest, die, wenn speziell angegeben, auch für Wartung und Instandhaltung gelten;
- legt Anforderungen zur Verringerung von Risiken hinsichtlich steckbarer und fest installierter Betriebsmittel fest, die aus einem System zusammengesetzter Einheiten oder unabhängiger Einheiten bestehen und von Installation, Betrieb und Instandhaltung des Betriebsmittels in der vom Hersteller vorgeschriebenen Weise abhängig sind.

Diese Internationale Norm ist anzuwenden:

- als Bezugsschriftstück für Produktnormen, oder
- als Mindestanforderungen für die Sicherheitsaspekte von PSCS in Betriebsmitteln, für die keine Produktnorm existiert.

Diese Internationale Norm behandelt keine funktionellen Sicherheitsaspekte. Die Produktkomitees sollten Anforderungen an die Funktionssicherheit hinsichtlich der jeweiligen Anwendung angeben.

2 Normative Verweisungen

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

ANMERKUNG Dies bedeutet nicht, dass die Übereinstimmung mit allen Abschnitten des in Bezug genommenen Schriftstückes gefordert wird, sondern, dass diese Internationale Norm einen Hinweis gibt, der beim Fehlen des herangezogenen Schriftstücks nicht verstanden werden kann.

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines, Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines, Part 5: Degrees of protection provided by integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

IEC 60050(111), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 111: Physics and chemistry*

IEC 60050(151), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050(161), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60050(191), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60050(441), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

— Entwurf —

E DIN IEC 62477 (VDE 0558-477):2008-05

IEC 60050(442), *International Electrotechnical Vocabulary, Part 442: Electrical accessories*

IEC 60050(551), *International Electrotechnical Vocabulary, Part 551: Power electronics*

IEC 60050(601), *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2: Tests. Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 78: Tests. Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

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

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

IEC 60309-1, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60364-1:2001, *Electrical installations of buildings, Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

IEC 60364-5-54, *Electrical installations of buildings – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors*

IEC 60417 (alle Teile), *Graphical symbols for use on equipment*

IEC 60529:2001, *Degrees of protection provided by enclosures (IP code)*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60664-1:2002, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems, Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60664-3:2003, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems, Part 3: Use of coatings to achieve insulation coordination of printed board assemblies*

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

IEC 60695-2-10:2000, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*

IEC 60695-2-11:2000, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end products*

IEC 60695-2-12:2000, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for materials*

IEC 60695-2-13:2000, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignitability test method for materials*

IEC 60695-11-10:1999, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60695-11-20:1999, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*

IEC 60990:1999, *Methods of measurement of touch current and protective conductor current*

IEC 61032: *Protection of Persons and Equipment by Enclosures Probes for Verification*

ISO 3864:1984, *Safety colours and safety signs*

ISO 3746, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

ISO 9614-1, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die Begriffe aus IEC 60050, Kapitel 111, 151, 161, 191, 441, 442, 551 und 601, IEC 60664-1 (von denen einige aus Gründen der Zweckmäßigkeit wiederholt werden) und die folgenden Begriffe.

Eine Aufstellung der Begriffe in alphabetischer Reihenfolge enthält Tabelle 1.

Tabelle 1 – Alphabetische Aufstellung der Begriffe

Begriff	Begriff-Nr.	Begriff	Begriff-Nr.
angrenzender Stromkreis	3.1	Schutzklasse 0	3.26
Basisisolierung	3.2	Schutzklasse I	3.27
Inbetriebnahmeprüfung	3.3	Schutzklasse II	3.28
maßgebliche Spannungs-kategorie (DVC)	3.4	Schutzklasse III	3.29
doppelte Isolierung	3.5	Schutzerdung (PE)	3.30
Klein-spannung (ELV)	3.6	Schutzleiter	3.31
elektrischer Durchschlag	3.7	Schutzimpedanz	3.32
(elektronisches) (Leistungs-)Umrichter	3.8	Schutzschirmung	3.33
elektronischer (Leistungs-)Stromrichter	3.9	Schutztrennung	3.34
elektronisches Ventilbauelement	3.10	Leistungshalbleiter-Umrichtersystem (PSCS)	3.35
erwartete Lebensdauer	3.11	verstärkte Isolierung	3.36
Anwenderanschlussklemme	3.12	eingeschränkter Zugangsbereich	3.37
Funktionsisolierung	3.13	Stückprüfung	3.38
Anlage	3.14	Sicherheitskleinspannungskreis (SELV-Kreis)	3.39
(Erd-)Ableitstrom	3.15	Stichprobenprüfung	3.40
aktives Teil	3.16	Halbleiter-Stromrichter	3.41
Versorgungsnetz	3.17	Halbleiter-Bauelement	3.42
Fremdversorgungsnetz	3.18	zusätzliche Isolierung	3.43
offene Bauform (Produkt)	3.19	System	3.44
Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ A	3.20	Systemspannung	3.45
Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ B	3.21	zeitweilige Überspannung	3.46
Tor	3.22	Berührungsstrom	3.47
Schutz-ELV-(PELV)-Kreis	3.23	Typprüfung	3.48
unbeeinflusster Kurzschlussstrom	3.24	Arbeitsspannung	3.49
Schutzverbindung	3.25	Zone des Potentialausgleichs	3.50

In dieser Internationalen Norm werden Verweisungen auf die folgenden Begriffe dadurch kenntlich gemacht, dass sie in *Kursivschrift* geschrieben werden.

3.1

angrenzender Stromkreis

Stromkreis, der keine galvanische Verbindung zum betrachteten Stromkreis hat

ANMERKUNG Eine Schutzimpedanz wird nicht als galvanische Verbindung angesehen.

3.2

Basisisolierung

Isolierung, die bei *aktiven Teilen* als grundlegender Schutz (Basisschutz) gegen elektrischen Schlag angewendet wird

[IEV 826-03-17, modifiziert]

3.3

Inbetriebnahmeprüfung

Prüfung an einem Gerät oder einer Einrichtung, die am Aufstellungsort vorgenommen wird, um die sachgemäße Errichtung und Funktion nachzuweisen

[IEV 151-04-21]

3.4

maßgebliche Spannungsstufe

(DVC)

Einstufung eines Spannungsbereichs, der zur Bestimmung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag angewendet wird

3.5

doppelte Isolierung

Isolierung, die aus der *Basisisolierung* und der *zusätzlichen Isolierung* besteht

[IEV 826-03-19, modifiziert]

ANMERKUNG Die *Basisisolierung* und die *zusätzliche Isolierung* sind getrennt, jede ist für den Basisschutz gegen elektrischen Schlag bemessen.

3.6

Kleinspannung

(ELV)

jede Spannung, die einen Effektivwert der Wechselspannung von 50 V und eine Gleichspannung von 120 V nicht überschreitet

ANMERKUNG 1 Effektivwert der überlagerten Wechselspannung nicht größer als 10 % der Gleichspannungskomponente.

ANMERKUNG 2 In dieser Internationalen Norm wird der Schutz gegen elektrischen Schlag von der *maßgeblichen Spannungsstufe* abhängig gemacht. DVC A und B sind im Spannungsbereich der ELV enthalten.

3.7

elektrischer Durchschlag

Fehler der Isolierung bei elektrischer Beanspruchung, wenn die Entladung die Isolierung vollkommen überbrückt und damit die Spannung zwischen den Elektroden auf nahezu null sinkt

[IEC 60664-1:1992, Begriff 1.3.20]

3.8

(elektronisches) (Leistungs-)Umrichten

Änderung eines oder mehrerer Kenndaten eines Elektrizitätsversorgungssystems praktisch ohne wesentlichen Leistungsverlust mit Hilfe elektronischer Ventilbauelemente

[IEV 551-11-02]

ANMERKUNG Kenndaten sind zum Beispiel Spannung, Phasenzahl und Frequenz einschließlich der Frequenz null.

3.9

elektronischer (Leistungs-)Stromrichter

betriebsfähiges Gerät zum *elektronischen Leistungsumrichten*, das ein oder mehrere elektronische Ventilbauelemente und gegebenenfalls Hilfsstromkreise enthält

[IEV 551-12-01, modifiziert]

ANMERKUNG Leistungstransformatoren und Filter, die hinsichtlich der elektrischen Kennwerte in Beziehung zum Verbindungsnetzwerk stehen, gehören nicht zum Stromrichter selbst. Derartige Bauelemente sind Teil des Systemaspekts. Jedes Bauelement, das für den korrekten Betrieb des Stromrichters selbst erforderlich ist, wird im Stromrichter aufgenommen, beispielsweise Filter zur Begrenzung des an den Ventilbauelementen, Überspannungsableitern usw. anstehenden dv/dt . Notwendige Hilfsstromkreise für den korrekten Betrieb des Stromrichters werden im Stromrichter selbst untergebracht, z. B. Lüfter oder Kühlsystem.

3.10

elektronisches Ventilbauelement

unteilbares elektronisches Bauelement zum *elektronischen Leistungsumrichten* oder Leistungsschalten, das einen einzigen nicht steuerbaren oder bistabil steuerbaren, in einer Richtung leitenden Strompfad enthält

[IEV 551-14-02, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Typische *elektronische Ventilbauelemente* sind Thyristoren, Leistungsgleichrichterioden, bipolare und Feldeffekt-Leistungsschalttransistoren und Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs).

ANMERKUNG 2 Zwei oder mehr *elektronische Ventilbauelemente* können auf einem gemeinsamen Halbleiterchip integriert (Beispiele: ein Thyristor und eine Gleichrichterdiode in einem rückwärts leitenden Thyristor, ein Leistungsfeldeffekttransistor für Schaltbetrieb mit seiner Inversdiode) oder in einem gemeinsamen Gehäuse (Halbleiterleistungsbaugruppe) enthalten sein. Diese Kombinationen sind als getrennte *elektronische Ventilbauelemente* zu betrachten.

ANMERKUNG 3 Ein Halbleiter-Ventilbauelement ist ein Spezialfall eines *elektronischen Ventilbauelements*.

3.11

erwartete Lebensdauer

Mindestdauer, für die die Sicherheitskennwerte des Betriebsverhaltens bei Bemessungsbedingungen des Betriebs gültig sind

3.12

Anwenderanschlussklemme

Anschlussklemme, die für die äußere Verbindung zum *PSCS* vorgesehen ist

3.13

Funktionsisolierung

Isolierung zwischen leitenden Teilen in einem Stromkreis, die für das ungestörte Funktionieren des Stromkreises erforderlich ist, jedoch keinen Schutz gegen elektrischen Schlag bietet

3.14

Anlage

Betriebsmittel, einschließlich mindestens des *PSCS* (siehe 3.35)

ANMERKUNG Das (englische) Wort „installation“ wird in dieser Internationalen Norm auch dazu verwendet, den Vorgang des Zusammenbaus eines *PSCS* zu bezeichnen. In diesen Fällen erscheint das Wort nicht in Kursivschrift.

3.15

(Erd-)Ableitstrom

Strom, der von den *aktiven Teilen* der *Anlage* zur Erde fließt, ohne dass ein Isolationsfehler vorliegt

[IEV 442-01-24]

3.16

aktives Teil

elektrischer Leiter oder elektrisch leitfähiges Teil, der (das) im bestimmungsgemäßen Gebrauch gespeist wird, einschließlich eines Neutralleiters, jedoch nicht eines Schutzleiters oder eines Neutralleiters mit Schutzfunktion

3.17

Versorgungsnetz

Niederspannungs-Wechselstrom-Verteilungsnetz für die Versorgung eines Wechselstromgerätes mit Energie

3.18

Fremdversorgungsnetz

elektrischer Stromkreis, der nicht direkt aus dem Netz, sondern durch einen Transformator getrennt ist oder von einer Batterie, einem Generator oder ähnlichen Quellen versorgt wird, die nicht direkt an das öffentliche Verteilungsnetz angeschlossen sind

3.19

offene Bauform (Produkt)

(Produkt), vorgesehen zum Einbau in ein Gehäuse oder Baugruppe, das bzw. die den Schutz vor Zugriff sichert

3.20

Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ A

Betriebsmittel, das durch eine nicht-industrielle Steckvorrichtung oder eine nicht-industrielle Gerätesteckvorrichtung oder durch beide an das Versorgungsnetz angeschlossen wird

3.21

Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ B

Betriebsmittel, das durch eine industrielle Steckvorrichtung oder eine (industrielle) Gerätesteckvorrichtung oder durch beide nach IEC 60309 oder einer vergleichbaren nationalen Norm an das Versorgungsnetz angeschlossen wird

3.22

Tor

Zugang zu einer Einrichtung oder einem Netzwerk, an dem elektromagnetische Energie oder Signale abgegeben oder aufgenommen werden können, oder die veränderlichen Größen der Einrichtung/des Netzwerks beobachtet oder gemessen werden können

[IEC 131-12-60]

3.23

Schutz-ELV-(PELV)-Kreis

elektrischer Stromkreis mit den folgenden Kennwerten:

- die Spannung überschreitet unter Einzelfehlerbedingungen sowie unter ungestörten Bedingungen nicht dauerhaft die *ELV*;
- *Schutztrennung* von Kreisen, die nicht *PELV* oder *SELV* sind;
- Vorkehrungen zur Erdung des *PELV-Kreises* oder seiner berührbaren leitfähigen Teile oder beide

3.24

unbeeinflusster Kurzschlussstrom

Strom, der fließt, wenn die Versorgungsleiter für den Stromkreis mit einem Leiter vernachlässigbarer Impedanz so nahe wie möglich an den Einspeiseklemmen des *PSCS* kurzgeschlossen wird

3.25

Schutzverbindung

elektrische Verbindung von leitfähigen Teilen zu Sicherheitszwecken

3.26

Schutzklasse 0

Betriebsmittel, bei dem der Schutz gegen elektrischen Schlag nur auf der Basisisolierung beruht

ANMERKUNG Betriebsmittel dieser Schutzklasse werden bei Ausfall der *Basisisolierung* gefährlich.

3.27

Schutzklasse I

Betriebsmittel, bei dem der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht nur auf der *Basisisolierung* beruht, sondern die zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen in solcher Form einschließt, dass Mittel für den Anschluss berührbarer leitfähiger Teile an einen *Schutzleiter (Erdleiter)* in der festen Verdrahtung der *Anlage* in der Weise vorgesehen sind, dass berührbare leitfähige Teile im Fall des Ausfalls der *Basisisolierung* nicht aktiv werden können

3.28

Schutzklasse II

Betriebsmittel, bei dem der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht nur auf der *Basisisolierung* beruht, sondern bei der zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen wie *doppelte Isolierung* oder *verstärkte Isolierung* vorgesehen sind, so dass es keine Vorkehrungen für die *Schutzerdung* gibt oder das Vertrauen in den Anlagenzustand gesetzt wird

3.29

Schutzklasse III

Betriebsmittel, bei dem der Schutz gegen elektrischen Schlag auf der Versorgung mit *Kleinspannung* beruht und in der Spannungen, die höher als die *Kleinspannung* sind, nicht erzeugt werden, und in der es keine Vorkehrungen für die *Schutzerdung* gibt

[IEC 61140, 7.4]

3.30

Schutzerdung (PE)

Erdung eines Punktes in einem System oder einem Betriebsmittel für den Schutz gegen elektrischen Schlag im Falle eines Fehlers

3.31

Schutzleiter

Schutzleiter zum Zweck der *Schutzerdung*

[IEV 195-02-11]

3.32

Schutzimpedanz

Impedanz zwischen *aktiven Teilen* und berührbaren leitfähigen Teilen mit einem solchen Wert, dass die elektrische Stromstärke beim bestimmungsgemäßen Gebrauch und bei einem etwaigen Fehlzustand auf einen sicheren Wert begrenzt wird, und die so aufgebaut ist, dass sie während der gesamten Lebensdauer des Betriebsmittels funktionsfähig bleibt

[IEV 442-04-24, modifiziert]

3.33

Schutzschirmung

Abtrennung der Stromkreise von gefährlichen aktiven Teilen durch einen dazwischen liegenden elektrisch leitenden Schirm, der mit der Möglichkeit für den Anschluss an einen äußeren *Schutzleiter* versehen ist

3.34

Schutztrennung

Trennung zwischen Stromkreisen mittels Basis- und Zusatzschutz (*Basisisolierung* plus *zusätzliche Isolierung* oder *Schutzschirmung*) oder durch eine gleichwertige Schutzeinrichtung (z. B. *verstärkte Isolierung*)

3.35

Leistungshalbleiter-Umrichtersystem (PSCS)

ein auf der Halbleitertechnik beruhender Stromkreis, eine Einrichtung oder eine Kombination von Einrichtungen, die mindestens ein *Halbleiterventil* enthält und zum Umrichten der elektrischen Energie von der einen Form am Eingang in die andere Form zum Ausgang vorgesehen ist

ANMERKUNG Diese Definition schließt keine Signalgabe-, Mess- und Steuerschaltungen ein, die kein Teil des *PSCS* sind.

3.36

verstärkte Isolierung

einzelnes Isolationssystem, das bei *aktiven Teilen* angewendet wird und einen Schutzgrad gegen elektrischen Schlag liefert, der der *doppelten Isolierung* unter den Bedingungen gleichwertig ist, die in der entsprechenden IEC-Norm festgelegt sind

[IEC 60664-1:1992, Begriff 1.3.17.5]

3.37

eingeschränkter Zugangsbereich

Bereich, der nur Elektrofachkräften und elektrotechnisch unterwiesenen Personen, jeweils mit entsprechender Berechtigung, zugänglich ist

[IEV 195-04-04]

3.38

Stückprüfung

Prüfung, die an jedem einzelnen Betriebsmittel während oder nach der Herstellung ausgeführt wird, um nachzuweisen, dass es bestimmten Anforderungen genügt

[IEV 151-04-16]

3.39

Sicherheitskleinspannungskreis (SELV-Kreis)

elektrischer Stromkreis mit den folgenden Eigenschaften:

- die Spannung überschreitet nicht die Kleinspannung (*ELV*);
- *Schutztrennung* von anderen Stromkreisen als *SELV* und *PELV*;
- keine Vorkehrungen zur Erdung des *SELV-Stromkreises* oder seiner berührbaren leitfähigen Teile;
- *Basisisolierung* des *SELV-Kreises* vom Erdpotential und von *PELV-Stromkreisen*.

3.40

Stichprobenprüfung

Prüfung an einer Anzahl von Betriebsmitteln, die einem Los willkürlich entnommen wurden

[IEV 151-04-17]

3.41

Halbleiter-Stromrichter

elektronischer Leistungsstromrichter mit Halbleiter-Ventilbauelementen

[IEV 551-12-42]

ANMERKUNG Ähnliche Bezeichnungen werden für Stromrichter allgemein oder für besondere Arten von Stromrichtern sowie für Stromrichter mit anderen oder besonderen elektronischen Ventilbauelementen verwendet, zum Beispiel Thyristorstromrichter, Transistorwechselrichter.

3.42

Halbleiter-Bauelement

Bauelement, dessen wesentliche elektrische Eigenschaften auf der Bewegung von Ladungsträgern in einem oder mehreren halbleitenden Stoffen beruhen

[IEV 151-13-63]

3.43

zusätzliche Isolierung

unabhängige Isolierung, die zusätzlich zur *Basisisolierung* angewendet wird, um einen Schutz gegen elektrischen Schlag im Fall eines Ausfalls der *Basisisolierung* sicherzustellen

[IEC 60664-1:1992, Begriff 1.3.17.3]

ANMERKUNG *Basisisolierung* und *zusätzliche Isolierung* sind getrennt, jede ist für den Basisschutz gegen elektrischen Schlag bemessen.

3.44

System

Menge miteinander zusammenhängender Elemente, die in einem bestimmten Zusammenhang als Ganzes gesehen und als von ihrer Umgebung abgegrenzt betrachtet werden

[IEV 351-21-20, modifiziert]

ANMERKUNG Ein System ist im Allgemeinen im Hinblick auf die Erfüllung einer bestimmten Zielstellung definiert, beispielsweise durch die Ausführung einer bestimmten Funktion.

3.45

Systemspannung

Spannung, die zur Festlegung der Isolationsanforderungen angewendet wird

ANMERKUNG Zu weiteren Überlegungen hinsichtlich der Systemspannung siehe 4.4.6.2.1.

3.46

zeitweilige Überspannung

Überspannung mit Netzfrequenz von verhältnismäßig langer Dauer

[IEC 60664-1:1992, Begriff 1.3.7.1]

3.47

Berührungsstrom

elektrischer Strom durch den Körper eines Menschen oder Tieres, wenn dieser Körper ein oder mehrere berührbare Teile einer elektrischen Anlage oder eines elektrischen Betriebsmittels berührt

[IEV 826-11-12]

3.48

Typprüfung

Prüfung, die an einem oder mehreren Betriebsmitteln einer bestimmten Bauart ausgeführt wird, um nachzuweisen, dass die Bauart bestimmte Festlegungen einhält

[IEV 151-05-15]

3.49

Arbeitsspannung

Spannung bei Bemessungs-Versorgungsbedingungen (ohne Grenzwabweichungen) und ungünstigen Betriebsbedingungen, die durch Auslegung in einem Stromkreis oder über der Isolierung auftritt

ANMERKUNG Die *Arbeitsspannung* kann eine Gleich- oder Wechselspannung sein. Es werden Effektivwerte und periodische Scheitelwerte verwendet.

3.50

Zone des Potentialausgleichs

Zone, in der alle gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teile elektrisch miteinander verbunden sind, um zu verhindern, dass zwischen ihnen eine gefährliche Spannung auftritt

ANMERKUNG Für den Potentialausgleich ist es nicht erforderlich, dass die Teile geerdet sind.

4 Schutz gegen Gefährdungen

4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt 4 legt die Mindestanforderungen an die Auslegung und den Aufbau eines PSCS fest, um dessen Sicherheit bei der Installation, bei bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen und bei der Instandhaltung für die erwartete Lebensdauer des PSCS sicherzustellen. Zu berücksichtigen sind ebenso Gefährdungen, die sich aus vorhersehbaren Fehlanwendungen ergeben.

4.2 Fehlerbedingungen

PSCS müssen so ausgelegt sein, dass Betriebsarten oder Schaltfolgen vermieden werden, die eine Fehlerbedingung oder einen Bauelementeausfall verursachen, durch die eine Gefährdung entsteht, sofern nicht weitere Maßnahmen durch die *Anlage* vorgesehen und in den mit dem *PSCS* bereitgestellten Installationsangaben beschrieben sind.

Der Schutz gegen Gefährdungen muss bei einer Einzelfehlerbedingung ebenso beibehalten werden wie unter bestimmungsgemäßen Bedingungen.

Es muss eine Stromkreisanalyse oder -prüfung durchgeführt werden, um zu bestimmen, ob der Ausfall bestimmter Bauelemente (einschließlich des Isolationssystems) zu einer Gefährdung führen würde. Die Analyse muss die Auswirkung von Kurzschluss- und Leerlaufbedingungen auf das Bauelement einschließen. Die Prüfung ist notwendig, sofern nicht durch die Analyse überzeugend nachgewiesen werden kann, dass durch den Ausfall des Bauelements keine Gefährdung entstehen kann, oder das der Ausfall des Bauelements während der *erwarteten Lebensdauer* des *PSCS* unwahrscheinlich ist. Prüfungen siehe 5.2.4.5.

ANMERKUNG Es ist möglich, dass bei der Analyse keine kritischen Bauelemente entdeckt werden. In diesem Fall ist keine Ausfallprüfung von Bauelementen erforderlich.

Zu berücksichtigen sind potentielle Sicherheitsgefahren, die mit den Hauptbauelementen des *PSCS* in Verbindung stehen, wie Entflammbarkeit von Transformator- und Kondensatoröl.

4.3 Kurzschluss- und Überstromschutz

4.3.1 Allgemeines

Das *PSCS* darf keine Gefährdung durch elektrischen Schlag, thermische oder energetische Gefährdung unter Kurzschlussbedingungen (einschließlich gegen Erde) oder Überstrombedingungen an jedem Tor darstellen. Der Schutz darf durch externe Einrichtungen vorgesehen werden, deren Notwendigkeit und Kennwerte sind vom Hersteller des *PSCS* festzulegen.

Für die Koordination der vorgeschalteten Schutzeinrichtungen muss der Hersteller des *PSCS* den maximalen Bemessungswert des *unbeeinflussten Kurzschlussstroms* für jedes Eingangstor des *PSCS* festlegen.

Für die Ausgangstore muss der verfügbare Kurzschlussstrom aus dem *PSCS* festgelegt werden.

Die Kurzschlussbewertung ist nach 5.2.4.3 an allen Ausgangstoren durchzuführen.

4.3.2 Grundanforderungen

Der Schutz gegen Kurzschlüsse und Überströme muss vorgesehen werden. Wenn dieser kein integraler Bestandteil des Betriebsmittels ist, müssen im Installationshandbuch Anweisungen für dessen Bereitstellung als Teil der Gebäudeinstallation enthalten sein.

ANMERKUNG In einigen Ländern kann gefordert sein, dass der Schutz im Betriebsmittel vorzusehen ist.

Wenn ein *Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ B* oder ein fest installiertes Betriebsmittel von Schutzeinrichtungen abhängt, die extern zu den Betriebsmitteln für den Schutz sind, dann muss dies in den Installationsanweisungen der Betriebsmittel so angegeben sein und es müssen auch die Anforderungen an den Kurzschlusschutz und Überstromschutz oder gegebenenfalls für beide angegeben sein.

Prüfung: Besichtigung und die Prüfungen nach 5.2.4.3 und 5.2.4.4.

4.3.3 Kurzschlusskoordination (Reserveschutz)

Schutzeinrichtungen müssen ein hinreichendes Ausschaltvermögen für die Unterbrechung des maximalen Fehlerstroms besitzen, der unter Berücksichtigung der vorgesehenen Installation fließen kann. Wenn der innerhalb des *PSCS* vorgesehene Schutz nicht für den *unbeeinflussten Kurzschlussstrom* des Stromkreises

bemessen ist, in dem es eingesetzt wird, müssen die Installationsanweisungen die Festlegung enthalten, dass eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung zu verwenden ist, die für den *unbeeinflussten Kurzschlussstrom* dieses *Tores* bemessen sein muss.

Für ein *Betriebsmittel mit Steckanschluss Typ A* wird die Gebäudeinstallation so angesehen, dass sie den Kurzschluss-Reserveschutz bietet.

Prüfung: Besichtigung und die Prüfungen nach 5.2.4.3 und 5.2.4.4.

4.3.4 Anzahl und Lage von Schutzeinrichtungen

Schutzsysteme und -einrichtungen müssen in einer solchen Anzahl vorhanden und so angeordnet sein, dass sie den Stromfluss in jedem möglichen Fehlerstrompfad erfassen und unterbrechen oder begrenzen.

Kein Schutz ist für Kurzschlüsse gegen Erde in Betriebsmitteln erforderlich, die entweder:

- keine Verbindung mit dem Erdpotential haben oder
- zwischen *aktiven Teilen* und allen mit Erde verbundenen Teilen mit *doppelter Isolierung* oder *verstärkter Isolierung* ausgerüstet sind.

ANMERKUNG 1 Wo *doppelte Isolierung* oder *verstärkte Isolierung* vorgesehen ist, würde ein Kurzschluss gegen Erde als zwei Fehler angesehen.

Wenn eine Schutzeinrichtung einen Neutralleiter unterbricht, dann müssen auch alle weiteren Versorgungsleiter unterbrochen werden.

Prüfung: Besichtigung und, falls erforderlich, durch Nachbildung der Bedingungen für einen Einzelfehler (siehe 4.2).

4.3.5 Schutz durch mehrere Einrichtungen

Wo Schutzeinrichtungen, die ein manuelles Ersetzen oder Rücksetzen erforderlich machen, in mehr als einem Pol der Versorgung einer bestimmten Last eingesetzt werden, müssen diese Einrichtungen zusammen angeordnet werden. Es ist zulässig, zwei oder mehr Schutzeinrichtungen in einem Bauelement zu kombinieren.

Prüfung: Besichtigung.

4.4 Schutz gegen elektrischen Schlag

4.4.1 Klassen der maßgeblichen Spannungen

4.4.1.1 Anwendung der Klassen der maßgeblichen Spannungen (DVC)

Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag sind von der Einteilung der Stromkreise nach den *Klassen der maßgeblichen Spannung* nach 4.4.1 abhängig, die die Grenzwerte der *Arbeitsspannung* innerhalb des Stromkreises mit der *DVC* in Beziehung setzt. Die *Klasse der maßgeblichen Spannung* bestimmt somit den erforderlichen Mindestschutzgrad für den Stromkreis.

4.4.1.1.1 Grenzwerte der Spannung für die DVC bei bestimmungsgemäßem Betrieb

Tabelle 2 – Spannungsgrenzwerte für die Klassen der maßgeblichen Spannung bei bestimmungsgemäßem Betrieb

Klasse der maßgeblichen Spannung	Grenzwerte der Arbeitsspannung V		
	Wechselspannung (Effektivwert)	Wechselspannung (Scheitelwert)	Gleichspannung (Mittelwert)
	U_{ACL}	U_{ACPL}	U_{DCL}
A1	9,6	13,6	22
A2	12	17	28
A3	20	28,3	48
B	25	35,4	60
C	50	71	120
D	>50	>71	>120

4.4.1.1.2 Spannungsgrenzwerte unter Fehlerbedingungen

Unter Annahme der Loslassreaktion unter Fehlerbedingungen kann keine Spannung, die durch die Kurvenzüge in Bild 1 und Bild 2 begrenzt werden, an den berührbaren leitfähigen Teilen für eine längere Zeit anstehen, als in Bild 1 und Bild 2 dargestellt. Wenn der Fehler durch eine externe Schutzeinrichtung abgeschaltet wird, müssen die Kennwerte der Einrichtung im Installationshandbuch nach 6.3.6.5 festgelegt sein.

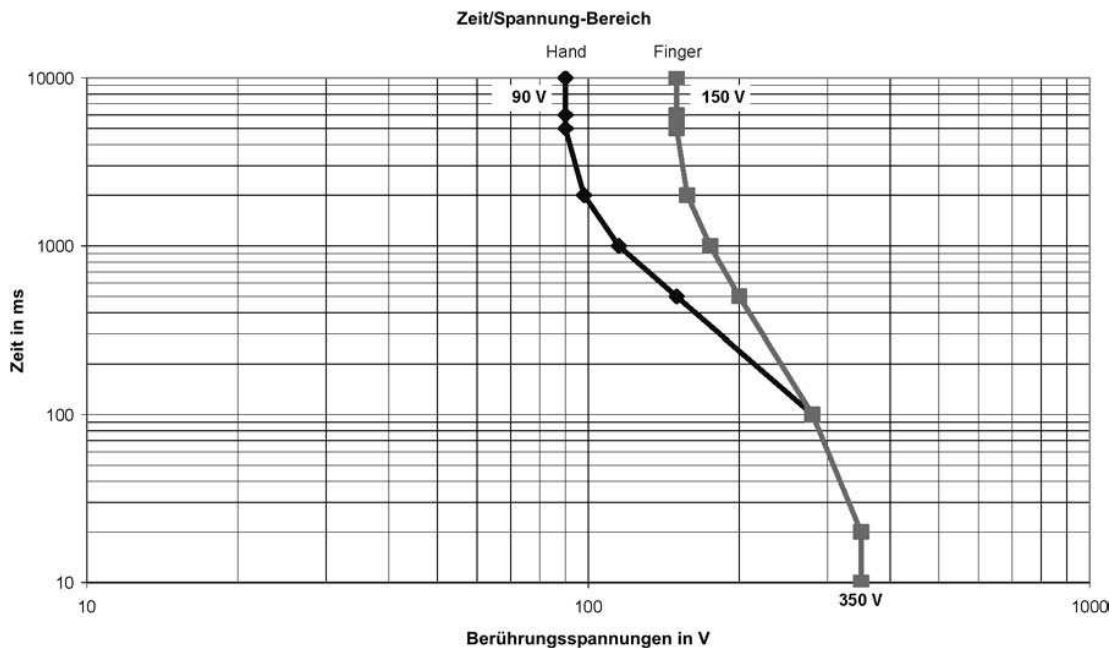


Bild 1 – Zeit/Berührungsspannung-Bereich (Effektivwert/Gleichspannung) unter Fehlerbedingungen und bei trockenem Zustand der Haut

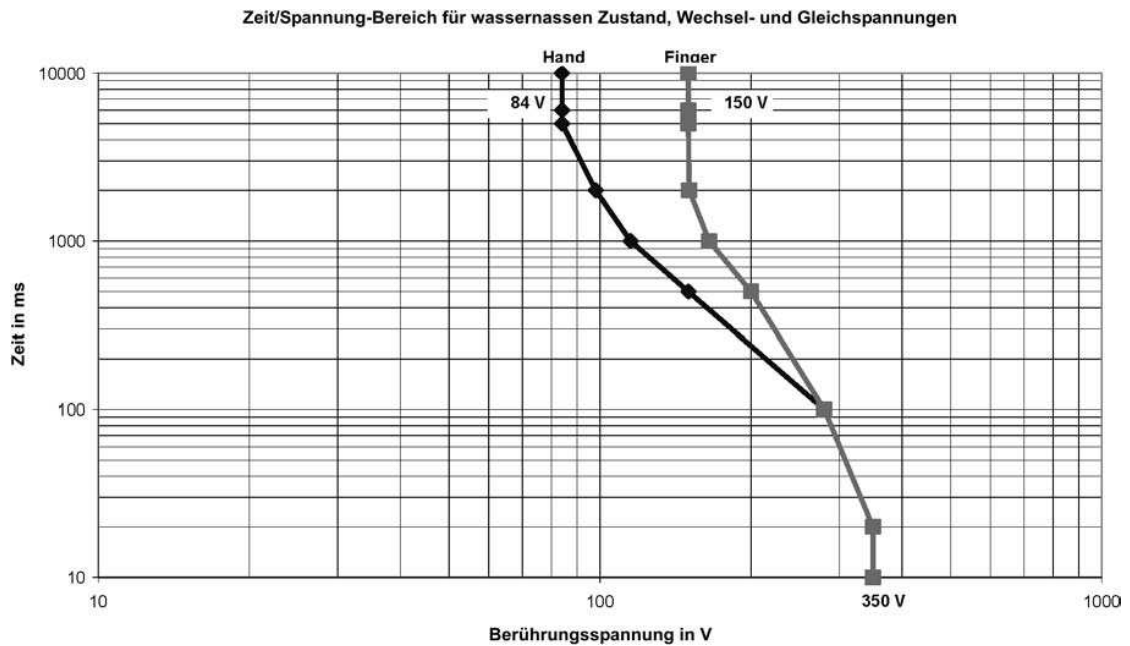


Bild 2 – Zeit/Berührungsspannung-Bereich (Effektivwert/Gleichspannung) unter Fehlerbedingungen und bei wassernassem Zustand der Haut

Für Prüfungen siehe 5.2.3.8.

4.4.1.1.3 Bestimmung der DVC und der Berührungsspannung an berührbaren Teilen

4.4.1.1.3.1 Auswahltabellen

Tabelle 3 – Auswahl der Körperkontaktfläche

Kontaktfläche, die mit berührbaren Teilen in Berührung kommt		
Teil des Körpers cm ²	Hand cm ²	Finger cm ²
500 ≥ berührbare Teile > 100	100 ≥ berührbare Teile > 2	berührbare Teile ≤ 2

Tabelle 4 – Auswahl des Zustandes der Haut

Trocken	Wassernass	Salzwassernass
Normale, in Innenräumen vorhandene Bedingungen	Eintauchen in Wasser der öffentlichen Wasserversorgung für mehr als 1 Minute (Mittelwert $\rho = 35 \Omega\text{m}$, pH = 7,7 bis 9)	Eintauchen in eine 3 %ige wässrige NaCl-Lösung für mehr als 1 Minute (Mittelwert $\rho = 0,25 \Omega\text{m}$, pH = 7,5 bis 8,5)

ANMERKUNG Angaben und Werte aus IEC 60479-1.

Tabelle 5 – Auswahl der DVC für die Berührungsspannung

Zustand der Haut des Körpers	Körperkontaktfläche					
	Teil des Körpers		Hand		Körper	
	Bestimmungsgemäßer Betrieb	Ein Fehler	Bestimmungsgemäßer Betrieb	Ein Fehler	Bestimmungsgemäßer Betrieb	Ein Fehler
Trocken	DVC A2	DVC A	DVC A	DVC B	DVC B	DVC B
Wassernass	DVC A1	DVC A3	DVC A2	DVC A	DVC A	DVC B

ANMERKUNG Für die Auswahl der entsprechenden DVC hinsichtlich Zustand der Haut, Körperkontaktflächen und Reaktionen des Körpers dürfen weitere Bedingungen in Betracht gezogen werden. Siehe Anhang A.4.

4.4.1.1.3.2 Unter bestimmungsgemäßen Bedingungen

Die DVC in Tabelle 2 wird nach Tabelle 5 bestimmt in Abhängigkeit von:

- Kontaktfläche des berührbaren Teils des Betriebsmittels in Bezug auf die Fläche des Körperteils aus Tabelle 3, die in Berührung kommt, und
- Zustand der Haut des Körpers nach Tabelle 4.

4.4.1.1.3.3 Unter Bedingungen eines Einzelfehlers

Der Grenzwert der Beharrungsspannung ist in Tabelle 2 angegeben, bestimmt durch die in Tabelle 5 angegebene DVC, die abhängt von:

- Kontaktfläche des berührbaren Teils des Betriebsmittels in Bezug auf die Fläche des Körperteils aus Tabelle 3, die in Berührung kommt, und
- Zustand der Haut des Körpers nach Tabelle 4.

Der in Bild 1 und Bild 2 angegebene Grenzwert der Kurzzeit-Einmal-Spannung ist abhängig von:

- Kontaktfläche des berührbaren Teils des Betriebsmittels in Bezug auf die Fläche des Körperteils aus Tabelle 3, die in Berührung kommt, und
- Zustand der Haut des Körpers nach Tabelle 4.

4.4.1.2 Anforderungen an den Schutz

In Tabelle 6 sind die Anforderungen für die Anwendung der *Basisisolierung* oder *Schutztrennung* in Abhängigkeit von der DVC des betrachteten Stromkreises und von *angrenzenden Stromkreisen* angegeben.

Tabelle 6 – Schutzanforderungen für den betrachteten Stromkreis

DVC des betrachteten Stromkreises	Geforderter Schutz gegen direktes Berühren	Isolation gegen geerdete Teile	Isolation gegen berührbare leitfähige Teile, die nicht geerdet sind	Isolation gegen angrenzenden Stromkreis mit DVC:		
				A *	B	C
A x	Siehe 4.4.3	a *	In Arbeit	In Arbeit	b	p ‡
B	Ja	b	p		p ‡	p ‡
C	Ja	b	p			b

a Isolation ist nicht notwendig aus Gründen der Sicherheit, kann jedoch aufgrund der Funktion gefordert sein.

x A, A1, A2 oder A3 ja nach Zweckmäßigkeit.

* Wenn der betrachtete Stromkreis als *SELV-Kreis* bestimmt ist, dann wird *Basisisolation* gegen Erde und von *PELV-Kreisen* gefordert.

f *Funktionsisolation* für Stromkreis höherer Spannung.

b *Basisisolation* für Stromkreis höherer Spannung.

p *Schutztrennung* für Stromkreis höherer Spannung.

‡ Die Anwendung von *Basisisolation*, die auf dem Stromkreis höherer Spannung beruht, ist zulässig, wenn der Schutz gegen direktes Berühren für den betrachteten Stromkreis durch *Basis-* oder *zusätzliche Isolation* oder durch Schutzabdeckungen oder Gehäuse angewendet wird, die auf dem Stromkreis höherer Spannung beruht.

4.4.1.3 Bewertung der Arbeitsspannung von Stromkreisen

4.4.1.3.1 Allgemeines

Die DVC eines gegebenen Stromkreises wird mit den nachstehenden Verfahren bewertet, wobei drei Fälle von Kurvenverläufen unterschieden werden.

4.4.1.3.2 Arbeitswechselspannung (siehe Bild 3)

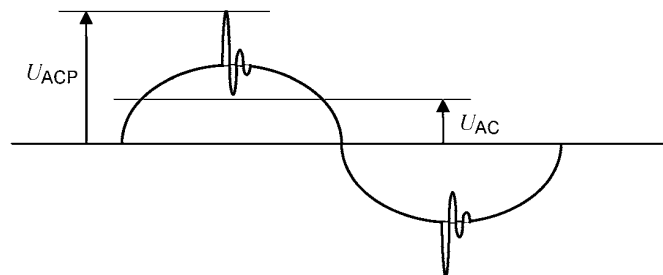


Bild 3 – Typischer Kurvenverlauf für eine Arbeitswechselspannung

Die *Arbeitsspannung* hat einen Effektivwert von U_{AC} und einen periodischen Scheitelwert von U_{ACP} .

Die DVC entspricht der Reihe der niedrigsten Spannung in Tabelle 2, für die beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- $U_{AC} \leq U_{ACL}$
- $U_{ACP} \leq U_{ACPL}$

4.4.1.3.3 Arbeitsgleichspannung (siehe Bild 4)

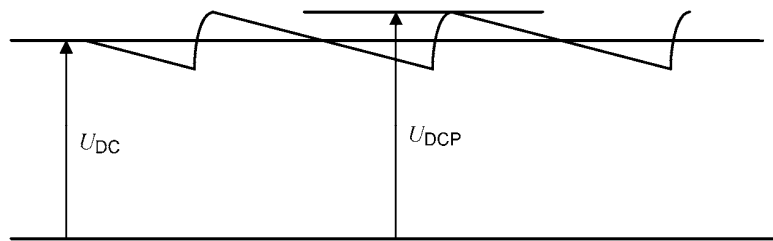


Bild 4 – Typischer Kurvenverlauf für eine Arbeitsgleichspannung

Die *Arbeitsspannung* hat einen Mittelwert von U_{DC} und einen periodischen Scheitelwert von U_{DCP} , der durch eine überlagerte Wechselspannung mit einem Effektivwert von nicht mehr als 10 % von U_{DC} verursacht wird.

Die *DVC* entspricht der Reihe der niedrigsten Spannung in Tabelle 2, für die beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- $U_{DC} \leq U_{DCL}$
- $U_{DCP} \leq 1,17 \times U_{DCL}$

4.4.1.3.4 Pulsierende Arbeitsspannung (siehe Bild 5)

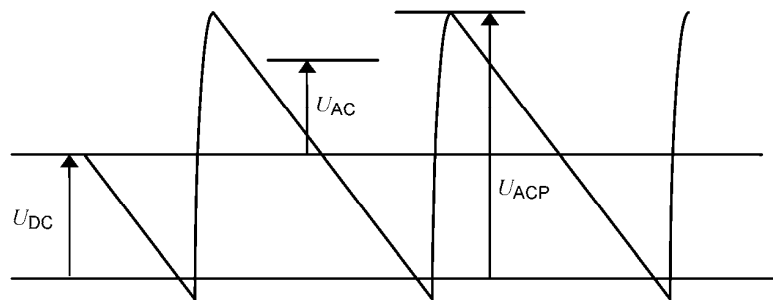


Bild 5 – Typischer Kurvenverlauf für eine pulsierende Arbeitsspannung

Die *Arbeitsspannung* hat einen Mittelwert von U_{DC} und einen periodischen Scheitelwert von U_{ACP} , der durch eine überlagerte Wechselspannung mit einem Effektivwert von U_{AC} größer als 10 % von U_{DC} verursacht wird.

Die *DVC* entspricht der Reihe der niedrigsten Spannung in Tabelle 2, für die beide nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- $U_{AC}/U_{ACL} + U_{DC}/U_{DCL} \leq 1$
- $U_{ACP}/U_{ACPL} + U_{DC}/(1,17 \times U_{DCL}) \leq 1$

4.4.2 Schutztrennung

Schutztrennung muss sowohl durch Einsatz von Werkstoffen, die gegen Verschlechterung der Eigenschaften beständig sind, sowie durch spezielle bauliche Maßnahmen erreicht werden und

- durch *doppelte* oder *verstärkte Isolierung*, oder
- durch *Schutzschirmung*, d. h. durch einen elektrisch leitenden Schirm, der mit einer *Schutzverbindung* des PSCS mit dem Erdpotential oder dem *Schutzleiter* selbst verbunden ist, wobei der Schirm von aktiven Teilen mindestens durch *Basisisolierung* getrennt ist, oder
- durch eine *Schutzimpedanz* nach 4.4.4.4, die eine Begrenzung der Entladungsenergie und des Stroms, oder

- durch Begrenzung der Spannung nach 4.4.4.5.

Die *Schutztrennung* muss unter allen Bedingungen des vorgesehenen Einsatzes des *PSCS* vollständig und wirksam beibehalten werden.

4.4.3 Schutz gegen direktes Berühren

4.4.3.1 Allgemeines

Der Schutz gegen direktes Berühren wird angewendet, um zu verhindern, dass *aktive Teile*, die den Anforderungen in 4.4.4 nicht entsprechen, von Personen berührt werden können. Dieser Schutz muss durch eine oder mehrere Maßnahmen bewirkt werden, die in 4.4.3.2 und 4.4.3.3 angegeben sind.

4.4.3.2 Schutz durch Isolierung *aktiver Teile*

Aktive Teile müssen vollständig mit einer dauerhaften Isolierung umgeben sein, wenn ihre *Arbeitsspannung* höher ist als der Grenzwert der *maßgeblichen Spannung der Klasse Ax* oder wenn sie keine *Schutztrennung* von *angrenzenden Stromkreisen* mit der *maßgeblichen Spannung der Klasse C* haben. Die Isolierung muss nach der Stoßspannung, der *zeitweiligen Überspannung* oder der *Arbeitsspannung* (siehe 4.4.6.2.1) bemessen werden, je nachdem, was die schärfste Anforderung darstellt. Es darf nicht möglich sein, die Isolierung ohne Zuhilfenahme eines Werkzeugs zu entfernen.

Jedes elektrisch leitende Teil, das nicht mindestens durch *Basisisolierung* von *aktiven Teilen* getrennt ist, muss als ein *aktives Teil* angesehen werden. Ein metallisches berührbares Teil wird als elektrisch leitend angesehen, wenn seine Oberfläche blank oder mit einer Isolierschicht bedeckt ist, die die Anforderungen an die *Basisisolierung* nicht erfüllt.

Als eine Alternative zu fester oder flüssiger Isolierung darf eine Luftstrecke nach 4.4.6.4, in Bild 6 als L_1 und L_2 dargestellt, vorgesehen werden.

Der Grad der Isolierung – *Basisisolierung*, *doppelte* oder *verstärkte Isolierung* – hängt ab von:

- der *DVC* der *aktiven Teile* oder *angrenzenden Stromkreise*, und
- der Verbindung der elektrisch leitenden Teile mit Erde durch die *Schutzverbindung*.

Beispiele für Anordnungen der Isolierung sind in Bild 6 angegeben, in dem auch Beispiele für Öffnungen dargestellt sind.

Art der Isolierung	Ausführung der Isolierung		
	a	b	c
	Berührbare Teile sind leitend und mit Erde durch die Schutzverbindung verbunden	Berührbare Teile sind nicht leitend	Berührbare Teile sind leitend, jedoch <u>nicht</u> mit Erde durch die Schutzverbindung verbunden
1) Fest oder flüssig			
2) Vollständig oder teilweise durch Luftstrecke			
3) Isolierung für angrenzende Stromkreise			
Stromkreis A: Stromkreis niedrigerer Spannung			
Stromkreis C: Stromkreis höherer Spannung			
obere Zeile – nur DVC C untere Zeile – DVC C			
4) Anforderungen an Öffnungen in Gehäusen			
A Aktives Teil B Basisisolierung für Stromkreis A Bc Basisisolierung für Stromkreis C C Angrenzender Stromkreis D Doppelte Isolierung I Isolierung kleiner als B	L ₁ Luftstrecke für Basisisolierung L ₂ Luftstrecke für verstärkte Isolierung M Elektrisch leitendes Teil R Verstärkte Isolierung für Stromkreis A Rc Verstärkte Isolierung für Stromkreis C S Oberfläche des Betriebsmittels	T Prüffinger (IEC 60529, Abschnitt 12) Z Zusätzliche Isolierung für Stromkreis A Zc Zusätzliche Isolierung für Stromkreis C * Gilt auch für Kunststoffschrauben F Funktionsisolierung für Stromkreis A	
ANMERKUNG 1 In Spalte c wird eine Kunststoffschraube wie eine Metallschraube behandelt, weil ein Anwender sie während der Lebensdauer des Betriebsmittels durch eine Metallschraube ersetzen könnte.			
ANMERKUNG 2 In Zeile 4 wird das Einführen eines Prüffingers als Darstellung des ersten Fehlers angesehen.			

Bild 6 – Beispiele für den Schutz gegen direktes Berühren

Es werden drei Fälle berücksichtigt:

Fall a) Berührbare Teile sind elektrisch leitend und durch die *Schutzverbindung* mit Erde verbunden

- *Basisisolierung* ist zwischen berührbaren Teilen und *aktiven Teilen* erforderlich. Die entsprechende Spannung ist die der *aktiven Teile* (siehe Bild 6, Zellen 1)a), 2)a), 3)a)).

Fälle b) und c) Berührbare Teile sind elektrisch nicht leitend (Fall b)) oder leitend, jedoch nicht durch die *Schutzverbindung* mit Erde verbunden (Fall c)). Die erforderliche Isolierung ist:

- *Doppelte* oder *verstärkte Isolierung* zwischen berührbaren Teilen und *aktiven Teilen* von *DVC C*. Die entsprechende Spannung ist die der *aktiven Teile* (siehe Bild 6, Zellen 1)b), 1)c), 2)b), 2)c)).
- *Zusätzliche Isolierung* zwischen berührbaren Teilen und *aktiven Teilen* der Stromkreise mit *DVC A* oder *DVC B*, die von *angrenzenden Stromkreisen* mit *DVC C* durch *Basisisolierung* getrennt sind. Die entsprechende Spannung ist die höchste Spannung der *angrenzenden Stromkreise* (siehe Bild 6, obere Zellen 3)b), 3)c)).
- *Basisisolierung* zwischen berührbaren Teilen und *aktiven Teilen* der Stromkreise mit *DVC B*, die von *angrenzenden Stromkreisen* mit *DVC C* durch *Schutztrennung* getrennt sind. Die entsprechende Spannung ist die der *aktiven Teile* (siehe Bild 6, untere Zellen 3)b), 3)c)).

4.4.3.3 Schutz durch Gehäuse und Trennwände

Aktive Teile mit *DVC B* oder *DVC C* müssen in Gehäusen angeordnet oder hinter Gehäusen oder Trennwänden liegen, die mindestens den Anforderungen der Schutzart IPXXB nach IEC 60529, 5.1, entsprechen. Die oberen Oberflächen von Gehäusen oder Trennwänden, die berührbar sind, wenn das Betriebsmittel gespeist wird, müssen hinsichtlich des senkrechten Zugangs mindestens der Schutzart IP3X entsprechen. Bei ortsveränderlichen Betriebsmitteln mit nicht festgelegter Ober- und Unterseite gilt diese Anforderung von allen Seiten. Für Prüfungen siehe 5.2.2.2.

Das Öffnen von Gehäusen oder das Entfernen von Trennwänden darf nur mit Werkzeugen möglich sein oder nachdem diese *aktiven Teile* spannungsfrei geschaltet wurden.

Wo es erforderlich ist, ein Gehäuse zu öffnen, oder das *PSCS* während der Installation oder Instandhaltung eingeschaltet zu lassen:

- a) müssen berührbare *aktive Teile* mit *DVC B* oder *DVC C* mindestens mit IPXXA geschützt sein;
- b) *aktive Teile* von *DVC B* oder *DVC C*, die bei Einstellarbeiten möglicherweise berührt werden können, müssen mindestens mit IPXXB geschützt sein.
- c) es muss sichergestellt sein, dass sich Personen dessen bewusst sind, dass *aktive Teile* mit *DVC B* oder *DVC C* berührbar sind.

Unterbaugruppen und Einrichtungen in *offener Bauform* erfordern keine Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren. In den mit der *PSCS* bereitgestellten Informationen muss angegeben sein, dass der Schutz in der Endanwendung vorgesehen wird.

Produkte, die Stromkreise mit *DVC A*, *DVC B* oder *DVC C* enthalten und die für den Einbau in einem eingeschränkten Zugangsbereich nach 3.37 vorgesehen sind, brauchen keine Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren zu haben.

4.4.4 Schutz im Fall von direktem Berühren

4.4.4.1 Allgemeines

Der Schutz im Fall von direkter Berührung ist erforderlich, um sicherzustellen, dass das Berühren *aktiver Teile*, selbst unter der Bedingung eines Einzelfehlers, keine Gefährdung durch elektrischen Schlag hervorruft.

Auf den Schutz gegen direktes Berühren nach 4.4.3 darf verzichtet werden, wenn der berührte Stromkreis von allen anderen Stromkreisen nach 4.4.1.2 getrennt ist und

- die *DVC Ax* hat und

E DIN IEC 62477 (VDE 0558-477):2008-05

- 4.4.4.3 entspricht, oder
- der Strom über eine *Schutzimpedanz* nach 4.4.4.4 begrenzt wird, oder
- hinsichtlich der Spannung nach 4.4.4.5 begrenzt ist.

Siehe Anhang A für Beispiele dieser Maßnahmen.

Wenn es nicht möglich ist, gegen Loslassreaktion zu schützen, dann ist ein Schutz gegen direktes Berühren erforderlich.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen dieser Unterabschnitte gelten für den gesamten Stromkreis, einschließlich der Stromversorgungen und allen zugehörigen Peripheriegeräten.

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen an die *Schutztrennung* ist entsprechend nach 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 zu überprüfen.

4.4.4.2 Schutz mit *DVC Ax*

Ungeerdete und geerdete Stromkreise mit *DVC Ax* die im *Bereich des Potentialausgleichs* verwendet werden, erfordern keinen Schutz im Falle des direkten Berührens.

Geerdete Stromkreise mit *DVC Ax*, die nicht im *Bereich des Potentialausgleichs* verwendet werden, erfordern im Falle des direkten Berührens weiteren Schutz durch eine der in 4.4.4.4 angegebenen Maßnahmen, um den Schutz in den Fällen vorzusehen, in denen die Erdbezugspotentiale der *DVC Ax* nicht gleich sind. Das Gerätehandbuch muss Angaben für den Einsatz derartiger Stromkreise liefern. (Siehe 6.3.6.)

Der Schutz im Fall von direkter Berührung ist erforderlich, um sicherzustellen, dass das Berühren *aktiver Teile* unter bestimmungsgemäßen Bedingungen sowie unter den Bedingungen eines Einzelfehlers keine Gefährdung durch elektrischen Schlag hervorruft.

Auf den Schutz gegen direktes Berühren nach 4.4.3 darf verzichtet werden, wenn der berührte Stromkreis von allen anderen Stromkreisen nach 4.4.1.2 getrennt ist und

- die *DVC Ax* nach 4.4.4.3 hat, oder
- der Strom über eine *Schutzimpedanz* nach 4.4.4.4 begrenzt wird, oder
- hinsichtlich der Spannung nach 4.4.4.5 begrenzt ist.

Siehe Anhang A für Beispiele dieser Maßnahmen.

ANMERKUNG 1 Die Anforderungen dieser Unterabschnitte gelten für den gesamten Stromkreis, einschließlich der Stromversorgungen und allen zugehörigen Peripheriegeräten.

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen an die *Schutztrennung* ist entsprechend nach 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 zu überprüfen.

4.4.4.3 Schutz mit *DVC Ax*

Ungeerdete und geerdete Stromkreise mit *DVC Ax* die im Bereich des Potentialausgleichs verwendet werden, erfordern keinen Schutz im Falle des direkten Berührens.

Geerdete Stromkreise mit *DVC Ax*, die nicht im *Bereich des Potentialausgleichs* verwendet werden, erfordern im Falle des direkten Berührens weiteren Schutz durch eine der in 4.4.4.4 angegebenen Maßnahmen, um den Schutz in den Fällen vorzusehen, in denen die Erdbezugspotentiale der *DVC Ax* nicht gleich sind. Das Gerätehandbuch muss Angaben für den Einsatz derartiger Stromkreise liefern. (Siehe 6.3.6.)

4.4.4.4 Schutz durch eine *Schutzimpedanz*

4.4.4.4.1 Bauanforderungen

Die *Schutzimpedanz* muss so angeordnet sein, dass sie unter bestimmungsgemäßen Bedingungen und unter den Bedingungen eines Einzelfehlers den Strom und die verfügbare Entladungsenergie entsprechend den Angaben in 4.4.4.4.2 und 4.4.4.4.3 begrenzen muss.

Die *Schutzimpedanzen* müssen so ausgelegt und geprüft worden sein, dass sie den Stoßspannungen und den *zeitweiligen Überspannungen* für die Stromkreise widerstehen, an die sie angeschlossen sind. Zu Prüfungen siehe 5.2.3.1 und 5.2.3.2.

4.4.4.4.2 Verfügbarer Strom durch die *Schutzimpedanz*

Die *Schutzimpedanzen* müssen für den bestimmungsgemäßen Betrieb und unter den Bedingungen eines Einzelfehlers so ausgelegt sein, dass der Strom durch sie gegen Erde an den berührbaren *aktiven Teilen* bei Wechselstrom 3,5 mA und bei Gleichstrom 10 mA nicht überschreitet. Prüfung siehe 5.2.3.4.

4.4.4.4.3 Verfügbare Entladungsenergie durch die *Schutzimpedanz*

Die *Schutzimpedanzen* müssen für den bestimmungsgemäßen Betrieb und unter den Bedingungen eines Einzelfehlers so ausgelegt sein, dass die verfügbare Energie zwischen gleichzeitig berührbaren Teilen und von *aktiven Teilen* gegen Erde nicht die in Tabelle 7 angegebenen Grenzwerte der Ladespannung und der Kapazität überschreiten.

Tabelle 7 – Werte der berührbaren Kapazität und Ladespannung (Schmerzschwelle)

Spannung V	Kapazität µF	Spannung kV	Kapazität nF
70	42,4	1	8,0
78	10,0	2	4,0
80	3,8	5	1,6
90	1,2	10	0,8
100	0,58	20	0,4
150	0,17	40	0,2
200	0,091	60	0,133
250	0,061		
300	0,041		
400	0,028		
500	0,018		
700	0,012		

Die Übereinstimmung wird durch Berechnungen und/oder Messungen zur Bestimmung der Spannung und Kapazität überprüft.

4.4.4.5 Schutz durch begrenzte Spannungen

Diese Schutzart beinhaltet die Technik mit einem Spannungsteiler von einem Stromkreis, der gegen direktes Berühren durch eine Spannung gegen Erdpotential geschützt ist, die nicht größer als die von *DVC Ax* ist.

Dieser Stromkreis muss so bemessen sein, dass selbst bei einem Ausfall eines einzelnen Bauelements im Spannungsteilerstromkreis sowohl die Spannung über den Ausgangsanschlussklemmen als auch die Spannung gegen Erdpotential nicht höher werden kann als die von *DVC Ax*. In diesem Fall sind die gleichen baulichen Maßnahmen wie bei der *Schutztrennung* anzuwenden.

E DIN IEC 62477 (VDE 0558-477):2008-05

Diese Schutzart darf im Fall der *Schutzklasse II* nicht angewendet werden, weil sie von der angeschlossenen Schutzterde abhängig ist.

4.4.4.5.1 Auswahl der DVC für die Berührungsspannung

Die Werte der Berührungsspannung werden in Abhängigkeit von der Berührungsfläche und den Zuständen der Körperhaut ausgewählt.

Für die Verhinderung der Loslassreaktion werden nur Berührungsflächen der Hand oder des Fingers und trockene oder wassernasse Zustände der Körperhaut in Betracht gezogen. Andere Berührungsflächen (Teile des Körpers), andere Zustände der Haut (salzwassernass) oder andere Körperreaktionen (Herzkammerflimmern oder Stromwahrnehmung) können für die Auswahl der DVC für Berührungsspannungen mit den Tabellen in Anhang A berücksichtigt werden. Weitere Auswirkungen, wie Schreckreaktionen, können für einige Anwendungen von Bedeutung sein, werden jedoch in diesem Schriftstück nicht behandelt.

Die Hersteller oder Komitees haben die wahrscheinlichste Berührungsfläche von Personen mit dem Betriebsmittel zu bestimmen.

Die Hersteller oder die Komitees für Produktnormen haben den Hautzustand von Personen festzulegen, die mit der Berührungsspannung in Kontakt kommen.

Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren sind nicht erforderlich, wenn sowohl die Werte von bestimmungsgemäßem Betrieb als auch bei einem Einzelfehler erfüllt sind und unter den Grenzwerten in Tabelle 8 liegen.

Die Auswahl von Berührungsspannungen, die zur Verhinderung weiterer Körperreaktionen (Stromwahrnehmung oder Herzkammerflimmern) oder für andere Berührungsflächen (Teile des Körpers) aufgestellt wurden, werden in Anhang A angegeben.

ANMERKUNG Als trockener Zustand der Haut werden die normalen, in Innenräumen vorhandenen Bedingungen angesehen, als wassernass wird der Zustand der Haut betrachtet, wenn sie länger als eine Minute in Wasser der öffentlichen Wasserversorgung (mittlerer spezifischer Widerstand $\rho = 35 \Omega\text{m}$, pH = 7,7 bis 9) eingetaucht worden ist, und als salzwassernass wird der Zustand der Haut angesehen, wenn sie länger als eine Minute in eine 3 %ige wässrige NaCl-Lösung (mittlerer spezifischer Widerstand $\rho = 0,25 \Omega\text{m}$, pH = 7,5 bis 8,5) eingetaucht worden ist.

4.4.4.5.2 DVC der Berührungsspannung in Abhängigkeit von der Fehlerbedingung

Tabelle 8 – Auswahl der DVC in Abhängigkeit von der Fehlerbedingung

Zustand der Haut	Bestimmungsgemäßer Betrieb		Einzelfehler	
	Berührungsfläche des Körpers			
	Hand	Finger	Hand	Finger
Trocken	DVC A2	DVC A	DVC A	DVC B
Wassernass	DVC A1	DVC A2	DVC A3	DVC A

4.4.4.5.3 DVC für PELV- und SELV-Stromkreise

DVC für PELV- und SELV-Stromkreise sind zur Anwendung unter den folgenden Bedingungen zulässig:

- Wenn die DVC der PELV- und SELV-Spannung höher ist als die DVC der Berührungsspannung, dann ist ein Schutz von SELV und PELV gegen direktes Berühren erforderlich.
- Das Berühren von PELV- und SELV-Spannungen ist nur an den Kontaktstiften von Signalsteckverbindern mit einer sehr kleinen Kontaktoberfläche von wenigen mm² möglich.

In allen anderen Fällen ist es nicht zulässig, dass die PELV- und SELV-Spannungen höher als die zulässigen Berührungsspannungen werden.

Die Werte der *PELV*- und *SELV*-Spannung hängen nicht von der Fehlerbedingung ab, sondern sind nur von der Berührungsfläche und dem Hautzustand abhängig.

Tabelle 9 – DVC für *PELV*- und *SELV*-Stromkreise

Zustand der Haut	Berührungsfläche	
	Hand	Finger
Trocken	DVC A	DVC B
Wassernass	DVC A3	DVC A

4.4.5 Schutz gegen indirektes Berühren

4.4.5.1 Allgemeines

Schutz gegen indirektes Berühren ist erforderlich, um gefährliche Körperströme zu verhindern, die durch berührbare elektrisch leitende Teile bei einem Ausfall der Isolierung verursacht werden können. Dieser Schutz muss den Anforderungen der entsprechenden *Schutzklassen I, II oder III* entsprechen.

Der Teil eines *PSCS*, der den Anforderungen nach 4.4.5.2 entspricht, ist als *Schutzklasse I* definiert.

Der Teil eines *PSCS*, der den Anforderungen nach 4.4.5.5 entspricht, ist als *Schutzklasse II* definiert.

Der Teil eines *PSCS*, der die Anforderungen der *SELV* erfüllt, ist als *Schutzklasse III* definiert.

Die *Schutzklasse 0* ist nur für Teile des *PSCS* annehmbar, wenn Anweisungen vorgesehen sind, die die Anforderungen nach 4.4.3.3 erfüllen (*eingeschränkte Zugangsbereiche*) (siehe 6.3.6).

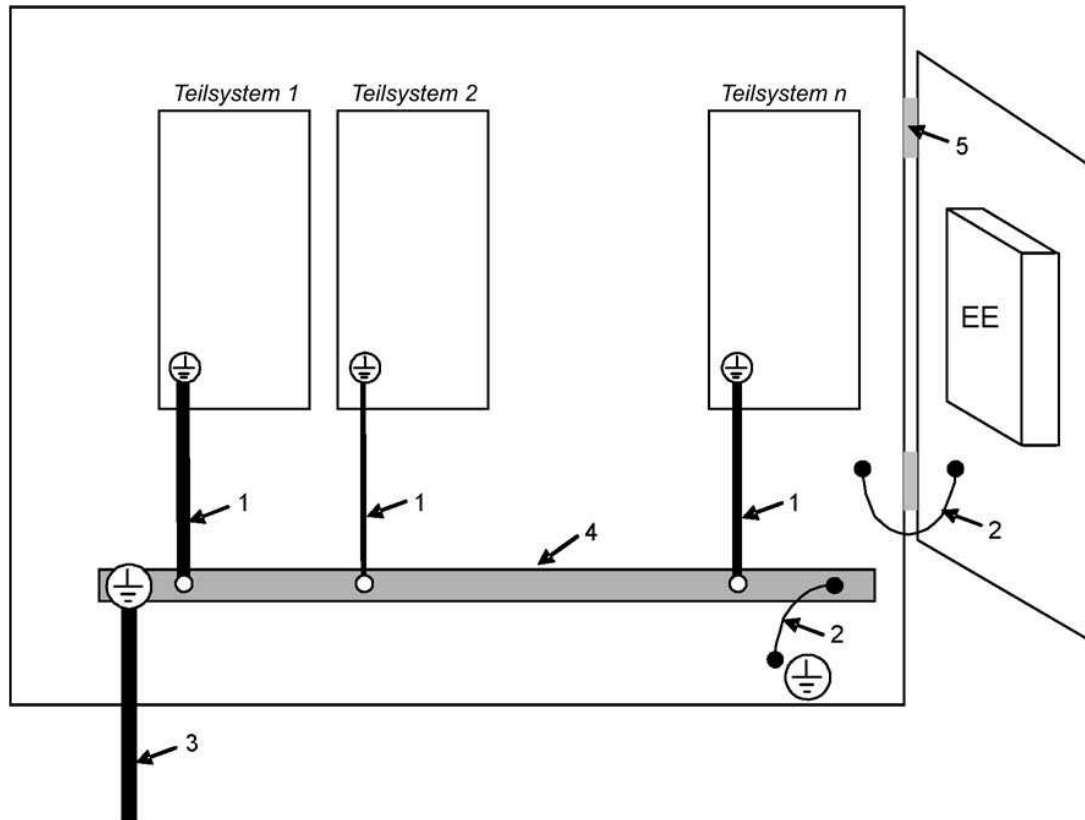
4.4.5.2 Schutzverbindungskreis

4.4.5.2.1 Allgemeines

Die *Schutzverbindung* ist zwischen den berührbaren elektrisch leitenden Teilen des Betriebsmittels und den Mitteln der Verbindung mit dem *Schutzleiter* vorzusehen, außer:

- a) wenn berührbare elektrisch leitende Teile im Fall des direkten Berührens nach 4.4.4 geschützt sind, oder
- b) wenn berührbare elektrisch leitende Teile von *aktiven Teilen* mit *doppelter* oder *verstärkter Isolierung* getrennt sind.

Bild 7 zeigt ein Beispiel für eine *PSCS*-Baueinheit und deren zugehörige *Schutzverbindung*.



Legende

- 1 Schutzverbindung der Teilsysteme oder Schutzleiter des PSCS (nach den Anforderungen des PSCS bemessen)
- 2 Schutzverbindung
- 3 Schutzleiter des PSCS (nach den Anforderungen des PSCS bemessen) zum Erdungspunkt der Anlage
- 4 Erdsammelschiene
- 5 Scharnier
- EE weitere elektrische Betriebsmittel (für diese Betriebsmittel entsprechend angeschlossen)

Bild 7 – Beispiel für eine PSCS-Baueinheit und deren zugehörige Schutzverbindung

Der elektrische Kontakt zu den Anschlussmitteln des *Schutzleiters* muss wie folgt hergestellt werden:

- mit direktem metallischem Kontakt;
- mit anderen berührbaren elektrisch leitenden Teilen, die nicht entfernt werden, wenn das PSCS wie vorgesehen betrieben wird;
- mit einer fest zugeordneten *Schutzverbindung*;
- mit weiteren metallischen Bauelementen des PSCS.

ANMERKUNG Wenn Oberflächen mit Farbüberzügen (insbesondere pulverbeschichtete Oberflächen) miteinander verbunden werden, dann ist die Farbe abzudecken oder es sollte eine gesonderte Verbindung für einen zuverlässigen Kontakt hergestellt werden.

Wo elektrische Betriebsmittel auf Deckeln, Türen oder Abdeckplatten montiert sind, muss die Durchgängigkeit des Schutzverbindungskreises sichergestellt sein, und es wird empfohlen, dass ein *Schutzleiter* verwendet wird. Anderenfalls müssen Verschlüsse, Scharniere oder Gleitkontakte mit einem niedrigen Widerstand zum Einsatz kommen.

Flexible oder starre metallische Schutzrohre und metallische Schirme dürfen nicht als *Schutzleiter* verwendet werden, sofern sie nicht geprüft und vom Hersteller festgelegt worden sind.

Im *Schutzverbindungskreis* dürfen keine Schaltgeräte oder Überstromschutzvorrichtungen (z. B. Schalter, Sicherung) liegen.

4.4.5.2.2 Bemessung der *Schutzverbindung*

Die *Schutzverbindung* muss die höchsten Beanspruchungen aushalten, die an den betreffenden Teilen des *PSCS* auftreten kann, wenn sie einer Fehlverbindung zu berührbaren elektrisch leitenden Teilen ausgesetzt wird.

Die *Schutzverbindung* muss so lange wirksam bleiben, wie der Fehler an den berührbaren elektrisch leitenden Teilen besteht oder bis eine nachgeschaltete Schutzeinrichtung die Versorgung dieses Teils abschaltet.

ANMERKUNG In Fällen, in denen die *Schutzverbindung* durch elektrische Leiter mit geringem Querschnitt geführt wird (z. B. Leiter auf Leiterplatten), ist unbedingt sicherzustellen, dass im Falle eines Fehlers keine unentdeckte Beschädigung des Verbindungskreises auftreten kann.

Die *Schutzverbindung* muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Bei *PSCS* mit einer Überstromschutzvorrichtung, die für 16 A oder weniger bemessen ist, darf die Impedanz der Schutzverbindungsmittel nicht 0,1 Ω überschreiten.
- b) Bei *PSCS* mit einer Überstromschutzvorrichtung, die für mehr als 16 A bemessen ist, werden die Anforderungen erst nach diesem Entwurf des Komitees entwickelt. Vorschläge werden dankend entgegengenommen.
- c) Als Alternative zu a) und b) darf die *Schutzverbindung* entsprechend den Anforderungen in 4.4.5.3 ausgelegt werden.

Prüfungen siehe 5.2.3.8.

4.4.5.3 Schutzleiter

Ein *Schutzleiter* muss immer angeschlossen sein, wenn das *PSCS* mit Energie versorgt wird, sofern das *PSCS* nicht den Anforderungen an die *Schutzklasse II* (siehe 4.4.5.5) entspricht. Wenn die lokalen Errichtungsvorschriften keine anderen Vorgaben treffen, sind die Querschnitte der *Schutzleiter* nach Tabelle 10 oder durch Berechnung nach IEC 60364-5-54, 543.1, zu bestimmen.

Wenn der *Schutzleiter* über einen Stecker und eine Steckdose oder ähnliche Mittel zum Trennen geführt wird, darf es nicht möglich sein, den *Schutzleiter* zu unterbrechen, ohne dass gleichzeitig die Energiezufuhr zum zu schützenden Teil unterbrochen wird.

Tabelle 10 – Querschnitte der *Schutzleiter*

Querschnitt der Außenleiter des <i>PSCS</i> S	Mindestquerschnittsfläche des entsprechenden <i>Schutzleiters</i> S_p
mm ²	mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	$S/2$
Die Werte in Tabelle 10 gelten nur, wenn der <i>Schutzleiter</i> aus dem gleichen Metall hergestellt ist wie die Außenleiter. Falls das nicht der Fall ist, muss die Querschnittsfläche des <i>Schutzleiters</i> in der Weise ermittelt werden, dass eine Leitfähigkeit entsteht, die den Ergebnissen der Anwendungen in Tabelle 10 gleichwertig ist.	

E DIN IEC 62477 (VDE 0558-477):2008-05

Die Querschnittsfläche eines jeden *Schutzleiters*, der nicht Bestandteil des Stromversorgungskabels oder des Kabelmantels ist, darf in keinem Fall kleiner sein als:

- 2,5 mm², wenn mechanischer Schutz vorhanden ist;
- 4 mm², wenn kein mechanischer Schutz vorhanden ist. Bei Betriebsmitteln, die mit flexibler Leitung angeschlossen sind, müssen solche Maßnahmen ergriffen werden, dass im Falle des Ausfalls der Zugentlastungsvorrichtung der *Schutzleiter* in der Anschlussleitung der letzte Leiter ist, der unterbrochen wird.

Bei besonderen Systemtopologien muss der *PSCS*-Konstrukteur den geforderten Querschnitt des *Schutzleiters* nachprüfen.

4.4.5.4 Anschlusselemente für den *Schutzleiter*

4.4.5.4.1 Allgemeines

Jedes *PSCS* oder *PSCS*-Element (Umrichter, Transformator), das eine Verbindung zur Erde über einen *Schutzleiter* erfordert, muss Anschlusselemente für den äußeren *Schutzleiter* nahe den Anschlussklemmen für die entsprechenden aktiven Leiter haben. Die Anschlusselemente müssen korrosionsbeständig für den Anschluss von Kabeln nach Tabelle 10 sein und von Kabeln nach den für die *Anlage* geltenden Errichtungs-vorschriften geeignet sein. Die Anschlusselemente für den äußeren *Schutzleiter* dürfen nicht als Teil des mechanischen Aufbaus des Betriebsmittels oder für andere Verbindungen verwendet werden. Für jeden *Schutzleiter* muss ein gesondertes Anschlusselement vorgesehen werden.

Verbindungs- und Anschlusspunkte müssen so bemessen werden, dass ihre Fähigkeit zur Stromübertragung nicht durch mechanische, chemische oder elektrochemische Einflüsse beeinträchtigt wird. Wenn Gehäuse und/oder Leiter aus Aluminium verwendet werden, sollten durch elektrochemische Korrosion entstehende Probleme beachtet werden.

Anforderungen an Aufschriften siehe 6.3.6.2.

4.4.5.4.2 *Berührungsstrom* bei Ausfall des *Schutzleiters*

Die Anforderungen dieses Abschnitts müssen eingehalten werden, um die *Sicherheit* im Falle einer Beschädigung oder Abtrennung des *Schutzleiters* beizubehalten.

Bei *Betriebsmitteln mit Steckanschluss Typ A* darf der *Berührungsstrom* (gemessen nach 5.2.3.5) bei Wechselstrom nicht größer als 3,5 mA oder bei Gleichstrom nicht größer als 10 mA sein.

Bei allen anderen *PSCS* müssen eine oder mehrere der nachfolgenden Bedingungen, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass der *Berührungsstrom* (gemessen nach 5.2.3.5) kleiner als 3,5 mA bei Wechselstrom oder kleiner als 10 mA bei Gleichstrom ist.

- Anwendung eines Festanschlusses und:
 - eines Querschnitts des *Schutzleiters* von mindestens 10 mm² Cu oder 16 mm² Al, oder
 - automatische Abschaltung des Netzes bei Unterbrechung des *Schutzleiters*, oder
 - Anbringen einer zusätzlichen Anschlussklemme für einen zweiten *Schutzleiter* mit demselben Querschnitt wie der ursprüngliche *Schutzleiter*.
- Anwendung einer Verbindung für Einrichtungen mit *Steckanschluss Typ B* mit einem Mindestquerschnitt des *Schutzleiters* von 2,5 mm² als Teile einer vieladrigen Netzleitung. Eine entsprechende Zugentlastung muss vorhanden sein.

Anforderungen an Aufschriften siehe 6.3.6.3.

Bei Betriebsmitteln, die aus mehreren Quellen gespeist werden können, gelten die vorstehend angegebenen Grenzwerte des *Berührungsstroms* für alle möglichen Installationskonfigurationen und -kombinationen der Quelle, die gleichzeitig eingeschaltet sein können, sofern nicht eine der vorstehend angegebenen Maßnahmen a) oder b) angewendet wird.

Wenn es vorgesehen und zulässig ist, zwei oder mehrere *PSCS* mit einem gemeinsamen PE-Leiter miteinander zu verbinden, gelten die obigen Anforderungen an den *Berührungstrom* für die maximale Anzahl von *PSCS*, die miteinander zu verbinden sind, sofern nicht eine der vorstehend angegebenen Maßnahmen a) oder b) angewendet wird. Die maximale Anzahl der verbundenen *PSCS* ist bei der Prüfung zu verwenden und im Installationshandbuch anzugeben.

4.4.5.5 Besondere Maßnahmen für Betriebsmittel der Schutzklasse II

Falls ein Betriebsmittel für den Einsatz von *doppelter* oder *verstärkter Isolierung* zwischen *aktiven Teilen* und berührbaren Oberflächen nach 4.4.3.2 ausgelegt ist, wird für die Konstruktion davon ausgegangen, dass sie der *Schutzklasse II* entspricht, wenn das Folgende ebenso gilt:

- Ein für die *Schutzklasse II* ausgelegtes Betriebsmittel darf keine Anschlusselemente für den *Schutzleiter* aufweisen. Dies gilt jedoch nicht, wenn der *Schutzleiter* zu einem dahinter liegenden in Reihe geschalteten Betriebsmittel hindurchgeführt wird. Im letzteren Fall müssen der *Schutzleiter* und seine Anschlusselemente mit *Basisisolierung* von der berührbaren Oberfläche des Betriebsmittels und Stromkreisen versehen sein, die *Schutztrennung*, Kleinspannung, *Schutzimpedanz* und begrenzte Entladungsenergie nach 4.4.4 verwenden. Diese *Basisisolierung* muss der Bemessungsspannung der in Reihe geschalteten Betriebsmittel entsprechen.
- Ein metallgekapseltes Betriebsmittel der *Schutzklasse II* darf an seinem Gehäuse eine Vorrichtung für den Anschluss eines Potentialausgleichsleiters besitzen.
- Ein Betriebsmittel der *Schutzklasse II* darf eine Vorrichtung für den Anschluss eines Erdungsleiters aus funktionellen Gründen oder für die Dämpfung von Überspannungen haben; sie muss jedoch so isoliert sein, als wenn sie ein *aktives Teil* wäre.
- Ein Betriebsmittel der *Schutzklasse II* muss nach 6.3.6.2 gekennzeichnet sein.

4.4.6 Isolierung

4.4.6.1 Allgemeines

4.4.6.1.1 Einflussfaktoren

Dieser Abschnitt enthält beruhend auf den Grundsätzen von IEC 60664 die Mindestanforderungen an die Isolierung.

Bei der Konstruktion und der Errichtung eines *PSCS* sind die Fertigungstoleranzen zu berücksichtigen.

Die Isolierung muss unter Berücksichtigung der nachfolgenden Einflüsse ausgewählt werden:

- Verschmutzungsgrad;
- Überspannungskategorie;
- Erdungssystem der Versorgung;
- Isolationsspannung;
- Isolierungsort;
- Isolierungstyp.

Die Überprüfung der Isolierung muss nach 5.2.2.1, 5.2.3.1, 5.2.3.2 und 5.2.3.3 erfolgen.

4.4.6.1.2 Verschmutzungsgrad

Die Isolierung, besonders bei Verwendung von Luft- und Kriechstrecken, wird durch Verschmutzung beeinflusst, die während der *erwarteten Lebensdauer* des *PSCS* auftritt. Die Bedingungen der Mikroumgebung für Isolierung müssen nach Tabelle 11 angewendet werden.

Tabelle 11 – Definitionen der Verschmutzungsgrade

Verschmutzungs-grad	Beschreibung
1	Es tritt keine oder nur trockene, elektrisch nicht leitende Verschmutzung auf. Die Verschmutzung hat keinen Einfluss.
2	Es tritt üblicherweise nur eine elektrisch nichtleitende Verschmutzung auf. Gelegentlich muss jedoch eine zeitweilige Leitfähigkeit durch Kondensation erwartet werden.
3	Es tritt eine elektrisch leitende oder trockene nichtleitende Verschmutzung auf, die durch zu erwartende Kondensation leitend wird.
4	Die Verschmutzung erzeugt ständige elektrische Leitfähigkeit, die z. B. durch elektrisch leitenden Staub, Regen oder Schnee verursacht wird.

Der Hersteller des *PSCS* muss den Verschmutzungsgrad angeben, für den das *PSCS* ausgelegt worden ist. Ein Standard-*PSCS* muss für den Verschmutzungsgrad 2 ausgelegt sein. Für die Bestimmung der Isolationsanforderungen ist aus Gründen der Sicherheit ein Verschmutzungsgrad von 3 anzunehmen. Dadurch ist das *PSCS* in Umgebungen mit den Verschmutzungsgraden 1, 2 und 3 einsetzbar.

Die Isolierung kann als dem Verschmutzungsgrad 2 entsprechend bestimmt werden, wenn eines der nachfolgenden gilt:

- a) mit dem *PSCS* bereitgestellte Anweisungen, dass es in einer Umgebung mit dem Verschmutzungsgrad 2 errichtet werden muss; oder
- b) vor dem Einsatz des *PSCS* ist bei der Errichtung bekannt, dass die Umgebung den Verschmutzungsgrad 2 besitzt; oder
- c) das *PSCS*-Gehäuse oder die im *PSCS* nach 4.4.6.8.4.2 bis 4.4.6.8.6 angewendeten Überzüge liefern einen angemessenen Schutz gegen die bei Verschmutzungsgrad 3 und 4 erwarteten Einflussfaktoren (elektrisch leitfähige Verschmutzung und Kondensation).

Wenn der Betrieb in einer Umgebung mit Verschmutzungsgrad 4 gefordert ist, muss der Schutz mit einer geeigneten Kapselung gesichert werden.

4.4.6.1.3 Überspannungskategorie

Das Konzept der Überspannungskategorie (beruhend auf IEC 60364-4-44 und IEC 60664-1) wird für Betriebsmittel verwendet, die aus dem Netz gespeist werden. Es sind vier Kategorien zu berücksichtigen:

- Kategorie IV gilt für Betriebsmittel, die dauerhaft am Einspeisepunkt einer *Anlage* angeschlossen sind (der Hauptverteilung vorgeschaltet). Beispiele sind Elektrizitätszähler, primärseitige Überstromschutzvorrichtungen oder weitere Betriebsmittel, die direkt an Freileitungen angeschlossen sind;
- Kategorie III gilt für Betriebsmittel, die an ortsfeste *Anlagen* angeschlossen sind (der Hauptverteilung nachgeschaltet und einschließlich der Hauptverteilung). Beispiele sind Schaltanlagen und weitere Betriebsmittel in industriellen *Anlagen*;
- Kategorie II gilt für Betriebsmittel, die nicht dauerhaft an eine ortsfeste *Anlage* angeschlossen sind. Beispiele sind Geräte, ortsveränderliche Werkzeuge und weitere Betriebsmittel mit Steckanschluss;
- Kategorie I gilt für Betriebsmittel, die an einen Stromkreis angeschlossen sind, in dem Maßnahmen zur Verringerung transienter Überspannungen auf einen niedrigen Pegel eingesetzt wurden.

In Anhang I werden Beispiele für Betrachtungen der Überspannungskategorie für Isolationsanforderungen angegeben.

ANMERKUNG Für *PSCS*, die nicht aus dem Versorgungsnetz gespeist werden sollen, sollte eine geeignete Überspannungskategorie bestimmt werden, wie sie für die Anwendung erforderlich ist.

4.4.6.1.4 Erdungssysteme für Versorgungsnetze

In IEC 60364-1 sind drei Grundtypen von Erdungsnetzen beschrieben. Diese sind:

- TN-System: hat einen direkt geerdeten Punkt, die berührbaren elektrisch leitfähigen Teile der *Anlage* sind über *Schutzleiter* mit diesem Punkt verbunden. Nach der Anordnung des Neutral- und *Schutzleiters* werden drei Arten des TN-Netzes unterschieden: TN-C, TN-S und TN-C-S.
- TT-System: hat einen direkt geerdeten Punkt, die berührbaren elektrisch leitfähigen Teile der *Anlage* sind mit Erdelektroden verbunden, die elektrisch von den Erdelektroden des Versorgungsnetzes unabhängig sind.
- IT-System: alle *aktiven Teile* dieses Netzes sind von Erde getrennt oder einen über eine Impedanz mit Erdpotential verbundenen Punkt; die berührbaren elektrisch leitenden Teile der *Anlage* sind unabhängig oder zusammen am Erdsystem geerdet.

4.4.6.1.5 Isolationsspannungen

In Tabelle 12 wird die Netzspannung (siehe 4.4.6.1.6) und die Überspannungskategorie des betrachteten Stromkreises verwendet, um die Stehstoßspannung zu bestimmen. Die Netzspannung wird ebenfalls verwendet, um die *zeitweilige Überspannung* zu bestimmen.

Ein *PSCS* mit mehr als einem Eingang oder Ausgang muss danach bewertet werden, welcher Eingang oder Ausgang die strengsten Anforderungen ergibt.

Tabelle 12 – Isolationsspannung für Niederspannungskreise

Spalte 1		2	3		4		5		6
Systemspannung ^a V (siehe 4.4.6.1.6) bis einschließlich Wechselspannung Gleichspannung		Stehstoßspannung V							Zeitweilige Überspannung V
		Überspannungskategorie							
		I 1, 2	II 1 3	III 1 4	IV 1 5	Effektivwert/ Scheitelwert			
50	75	330	500	2 500	800		4 000	1 500	6 000
100	150	500	800	2 500	1 500		4 000	2 500	6 000
150	225	800	1 500	2 500	2 500		4 000	4 000	6 000
300	450	1 500	2 500		4 000		6 000		
600	900	2 500	4 000		6 000		8 000		
1 000 ^c	1 500 ^c	4 000	6 000		8 000		10 000		

^a Bei der Bestimmung der Stehstoßspannung ist die Interpolation der Netzspannung nicht zulässig.

^b Die Effektivwerte werden abgeleitet aus der Gleichung (1 200 V + Bemessungsspannung) aus IEC 60664-1.

^c Die letzte Reihe gilt nur für Einphasennetze und die Leiter-Leiter-Spannung in Drehstromnetzen.

1: Stehstoßspannungen für *PSCS*, die vom Versorgungsnetz gespeist werden.

2: Stehstoßspannungen für *PSCS*, die aus fremdnetzversorgten Wechsel- oder Gleichspannungsquellen mit Überspannungsbegrenzung gespeist werden, und an ein Netz im Freien angeschlossen sind oder nicht.

3: Stehstoßspannungen für *PSCS*, die aus fremdnetzversorgten Wechsel- oder Gleichspannungsquellen ohne Überspannungsbegrenzung gespeist werden und die mit einer Entfernung bis 100 m an ein Netz im Freien angeschlossen sind.

4: Stehstoßspannungen für *PSCS*, die aus fremdnetzversorgten Wechsel- oder Gleichspannungsquellen ohne Überspannungsbegrenzung gespeist werden und die mit einer Entfernung über 100 m an ein Netz im Freien angeschlossen sind.

5: Stehstoßspannungen für *PSCS*, die in Gebieten mit hoher Blitzaktivität betrieben werden und die von fremdnetzversorgten Wechsel- oder Gleichspannungsquellen ohne Überspannungsbegrenzung gespeist werden und die mit einer Entfernung über 100 m an ein Netz im Freien angeschlossen sind.

4.4.6.1.6 **Systemspannung**

4.4.6.1.6.1 **Versorgungsnetz**

Für *PSCS*, die von einem Wechselstromnetz versorgt werden, ist die *Systemspannung* in Tabelle 12, Spalte 1:

- In TN- und TT-Systemen: der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einem Außenleiter und Erdpotential;

ANMERKUNG 1 Ein geerdetes Dreiecksnetz ist ein TN-System, bei dem ein Außenleiter geerdet ist und in dem die *Systemspannung* der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einem nicht-geerdeten Außenleiter und Erdpotential ist (d. h., der Außenleiter-Außenleiter-Spannung).

- in Drehstrom-IT-Systemen:
 - für die Bestimmung der Stehstoßspannung, der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen einem Außenleiter und einem künstlichen Neutralpunkt (eine imaginäre Verbindung von gleichen Impedanzen von jedem Außenleiter);

ANMERKUNG 2 Bei den meisten Systemen entspricht dies der Division der Leiter-Leiter-Spannung durch $\sqrt{3}$.

- für die Bestimmung der zeitweiligen Überspannung der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen den Außenleitern;
- in einphasigen IT-Systemen: der Effektivwert der Bemessungsspannung zwischen den Außenleitern.

ANMERKUNG 3 Bei *PSCS* mit in Reihe geschalteten Diodenbrücken (12-Puls, 18-Puls usw.) ist die *Systemspannung* die Summe der Wechselspannungen an den Diodenbrücken.

Wenn die Versorgungsspannung gleichgerichtet wird, dann wird der Gleichstrom aus dem Wechselstromnetz abgeleitet und die *Systemspannung* ist der Effektivwert der Wechselstromquelle vor der Gleichrichtung, wobei das Erdungssystem der Versorgung zu berücksichtigen ist.

ANMERKUNG 4 Spannungen, die innerhalb der *PSCS* durch die Sekundärwicklungen von Transformatoren erzeugt werden, welche die galvanische Trennung von der Netzseite sichern, werden für die Bestimmung der Stoßspannungen auch als *Systemspannungen* angesehen.

4.4.6.1.6.2 **Fremdversorgung**

Bei *PSCS*, die mit fremdversorgter Wechsel- oder Gleichspannung gespeist werden, ist die *Systemspannung* der Effektivwert der Versorgungsspannung zwischen den Außenleitern.

4.4.6.2 **Isolierung zur Umgebung**

4.4.6.2.1 **Allgemeines**

Die Isolierung für *Basis-*, *zusätzliche* und *verstärkte Isolierung* zwischen einem Stromkreis und seiner Umgebung muss bemessen sein nach:

- der Stehstoßspannung oder
- der *zeitweiligen Überspannung* oder
- der *Arbeitsspannung* des Stromkreises,

je nachdem, welches die ungünstigsten Anforderungen ergibt.

ANMERKUNG 1 Für Kriechstrecken wird der Effektivwert der *Arbeitsspannung* verwendet. Für Luftstrecken und Feststoffisolierung wird der periodische Scheitelwert der *Arbeitsspannung* verwendet, wie in 4.4.6.2.2 bis 4.4.6.2.4 beschrieben.