

	DIN EN 50522 (VDE 0101-2)	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 29.120.50

Entwurf

Einsprüche bis 2009-02-28

Vorgesehen als teilweiser
Ersatz für
DIN VDE 0101
(VDE 0101):2000-01

Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung prEN 50522:2008

Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.;
German version prEN 50522:2008

Prises de terre des installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV;
Version allemande prEN 50522:2008

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-12-08 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 129 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 50522:2008 „Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der Draft prEN 50522 entsprechend der diesbezüglich durch CENELEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen CENELEC-Text.

Das europäische Dokument prEN 50522:2008 „Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“ wurde vom TC 99X „Starkstromanlagen über 1 kV AC (1,5 kV DC)“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

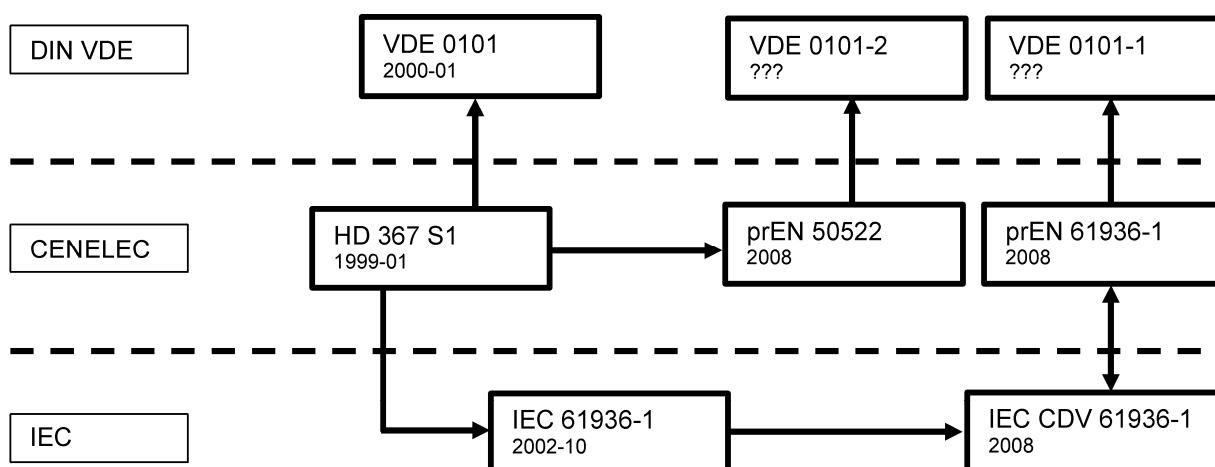
Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen späteren „Schluss-Entwurf“ prEN nur 2 Monate beträgt und zum „Schluss-Entwurf“ prEN 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 „Entwurf“ prEN als Deutscher Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der formellen Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 222 „Errichten von Starkstromanlagen über 1 kV und deren Erdung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die künftige EN 50522 wird zusammen mit der künftigen EN 61936-1 das derzeitige CENELEC-Harmonisierungsdokument HD 637 S1:1999 ersetzen. Da in der EN 61936-1 die normativen Regelungen zur Errichtung von Erdungsanlagen deutlich weniger Umfang und damit eine geringere Detaillierung als im HD 637 S1 haben werden, wurde durch CENELEC beschlossen, dass zeitgleich die neue Europäische Norm EN 50522 erstellt wird, die in Ergänzung zur EN 61936-1 den derzeitigen Regelungsbestand des HD 637 S1 für Erdungsanlagen abdeckt. Der Entwurf der Norm prEN 61936-1:2008 „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen“ wird von DKE zeitgleich veröffentlicht.

Das nachstehende Diagramm soll die Zusammenhänge der unterschiedlichen Normungsvorhaben verdeutlichen.



Der Normtext enthält sowohl Textteile, die aus der künftigen EN 61936-1 übernommen wurden (kenntlich durch kursiven Text) als auch Textteile, die identisch mit Festlegungen aus dem bestehenden HD 637 S1:1999 sind.

Änderungen

Gegenüber den normativen Regelungen für Erdungsanlagen aus der DIN VDE 0101 (VDE 0101):2000-01 wurden folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- a) Die Struktur der Tabelle 1 (Maßgebende Ströme für die Bemessung von Erdungsanlagen) wurde geändert. Dabei sind die zu berücksichtigten Ströme nach der Fehlerdauer unterteilt.
- b) Neu eingefügt wurden Regelungen für Maßnahmen zur Vermeidung von Potentialverschleppung (Kapitel 6).
- c) Die Tabelle 2 (Mindestanforderungen für den Zusammenschluss von Niederspannungs- und Hochspannungs-Erdungsanlagen basierend auf der Erdungsspannung (EPR) hat eine neue Struktur.
- d) Ausführliche Erläuterungen zum Globalen Erdungssystem sind im informativen Anhang O enthalten.
- e) Die Berührungsspannungskurve (Bild 5.1) wurde der neuen IEC/TS 60479-1:2005-07 angepasst. Das entsprechende Berechnungsverfahren ist erläutert (Anhang A).

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 Abschnitsnummer, 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 60529	IEC 60529	DIN EN 60529 (VDE 0470-1)	VDE 0470-1
Normen der Reihe EN 60909	Normen der Reihe IEC 60909	Normen der Reihe DIN EN 60909 (VDE 0102)	VDE 0102
HD 60364-1	IEC 60364-1	–	–
HD 60364-4-41	IEC 60364-4-41	DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410)	VDE 0100-410
–	IEC 60050-195:1998	*	–
–	IEC 60050-601:1985	*	–
–	IEC 60050-602:1983	*	–
–	IEC 60050-604:1987	*	–
–	IEC 60050-605:1983	*	–
–	IEC 60050-826:2004	*	–
–	IEC 60287-3-1	–	–
–	IEC/TS 60479-1:2005 + Corr.:2006	DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05	VDE V 0140-479-1
–	IEC 60949:1988	–	–
–	IEC 61000-5-2	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60529 (VDE 0470-1), *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

Normen der Reihe

DIN EN 60909 (VDE 0102), *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen*

DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410), *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag*

DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05, *Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte (IEC/TS 60479-1:2005 + Corrigendum:2006)*

* „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, im Rahmen der Datenbankanwendung DIN-TERM zu beziehen über Beuth Verlag.

Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV

Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.

Prises de terre des installations électriques en
courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.

CENELEC Termin: 2009-03-13

Er wurde von CLC/TC 99X erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2008 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Projekt: 16819

Ref. Nr. prEN 50522:2008 D

— Entwurf —

E DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2008-12
prEN 50522:2008

Vorwort

Dieser Entwurf einer Europäischen Norm wurde vom Technischen Komitee CENELEC TC 99X „Starkstromleitungen über 1 kV AC (1,5 kV DC)“ ausgearbeitet. Er wird der CENELEC Umfrage unterworfen.

Nachstehende Daten werden vorgeschlagen:

- spätestes Datum, zu dem das Vorhandensein der EN auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): 200?-??-??
- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 200?-??-??
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 200?-??-??

Anmerkung von CLC/TC 99X:

Dieser Entwurf wird gleichzeitig mit der parallelen Abstimmung auf die zukünftige IEC 61936-1 (99/81/CDV) unterworfen.

Der kursive Text ist identisch mit IEC 61936-1 / MT4.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Anlagen.....	8
3.3 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	9
3.4 Erdung	9
4 Grundlegende Anforderungen	17
4.1 Allgemeine Anforderungen	17
4.2 Elektrische Anforderungen	18
4.3 Sicherheitskriterien	19
4.4 Funktionale Anforderungen	20
5 Auslegung von Erdungsanlagen	20
5.1 Allgemeines	20
5.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung.....	20
5.3 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung	21
6 Bemessung im Hinblick auf Berührungs- und Schrittspannungen	23
6 Maßnahmen zur Vermeidung von Potentialverschleppung	26
6.1 Potentialverschleppung von Hochspannungsanlagen zu Niederspannungsanlagen	26
6.2 Potentialverschleppung zu Telekommunikationsanlagen und anderen Systemen.....	28
7 Errichtung von Erdungsanlagen	29
7.1 Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	29
7.2 Blitz und transiente Beanspruchungen.....	29
7.3 Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen	30
8 Messungen und Dokumentation.....	30
9 Instandhaltbarkeit	30
9.1 Inspektion	30
9.2 Messungen	30
Anhang A (normativ) Berechnungsverfahren für die höchste zulässige Berührungsspannung.....	31
Anhang B (normativ) Berührungsspannung und Körperstrom	32
B.1 Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom	32
B.2 Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände.....	34
Anhang C (normativ) Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen	37
Anhang D (normativ) Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern oder Erdern.....	38
Anhang E (normativ) Beschreibung der anerkannten festgelegten Maßnahmen M	42

	Seite
Anhang F (normativ) Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung der Auswirkungen von Hochfrequenzstörungen	44
Anhang G (normativ) Spezielle Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen	45
G.1 Anlagenumzäunungen	45
G.2 Rohrleitungen	45
G.3 Anschlussgleise	45
G.4 Maststationen und/oder Mastschalter	45
G.5 Sekundärstromkreise von Messwandlern	46
Anhang H (normativ) Messung von Berührungsspannungen	47
Anhang I (informativ) Reduktionsfaktoren von Erdseilen bei Freileitungen und metallenen Schirmen bei Kabeln	48
I.1 Allgemeines	48
I.2 Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz)	48
Anhang J (informativ) Grundlagen für die Ausführung von Erdungsanlagen	50
J.1 Spezifischer Erdwiderstand	50
J.2 Ausbreitungswiderstand	50
Anhang K (informativ) Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	54
K1 Ausführung von Erdern	54
K.2 Ausführung der Erdungsleiter	54
Anhang L (informativ) Messungen für und an Erdungsanlagen	56
L.1 Messung von spezifischen Erdwiderständen	56
L.2 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	56
L.3 Bestimmung der Erdungsspannung	57
L.4 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen	58
Anhang M (normativ) Einzelheiten zur Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen	60
Anhang N (informativ) Die Verwendung von Bewehrungsstählen in Beton für Erdungszwecke	61
Anhang O (informativ) Globales Erdungssystem	62
Bilder	
Bild 1 – Beispiel für den Verlauf des Erdoberflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenem Erder	14
Bild 2 – Beispiel für Ströme, Spannungen und Widerstände bei einem Erdfehler in einer Umspannanlage mit niederohmiger Sternpunktterdung	15
Bild 3 – Die wesentlichen Komponenten der Erdfehlerströme in Hochspannungsnetzen	17
Bild 4 – Berührungsspannungskurve	25
Bild 5 – Auslegung von Erdungsanlagen, die nicht Teil eines Globalen Erdungssystems (C1 von 5.4.2) sind, im Hinblick auf zulässige Berührungsspannung U_{Tp} durch Überprüfung der Erdungsspannung U_E oder der Berührungsspannung U_T	26
Bild B.1 – Ersatzschaltbild des Berührungsstromkreises	35
Bild B.2 – Beispiele für Kurven $U_{STp} = f(t_F)$ bei verschiedenen Zusatzwiderständen $R_a = R_{a1} + R_{a2}$	36

	Seite
Bild D.1 – Kurzschlussstromdichte G für Erdungsleiter und Erder in Abhängigkeit von der Fehlerstromdauer t_F	39
Bild D.2 – Dauerstrom I_D für Erdungsleiter	41
Bild J.1 – Ausbreitungswiderstand von Oberflächenerdern (aus Band, Rundmaterial oder Seil) bei gestreckter Verlegung oder als Ring in homogenem Erdreich.....	51
Bild J.2 – Ausbreitungswiderstand von senkrecht in homogenem Erdreich eingebrachten Tieferdern	52
Bild J.3 – Typische Werte für den Ausbreitungswiderstand eines Kabels mit Erderwirkung, abhängig von der Kabellänge und dem spezifischen Erdwiderstand	53
Bild L.1 – Beispiel für die Ermittlung der Erdungsimpedanz nach der Strom-Spannungs-Methode	59
 Tabellen	
Tabelle 1 – Maßgebende Ströme für die Bemessung von Erdungsanlagen.....	22
Tabelle 2 – Minimalanforderungen für den Zusammenschluss von Niederspannungs- und Hochspannungs-Erdungsanlagen basierend auf der Erdungsspannung (EPR).....	28
Tabelle B.1 – Höchster zulässiger Körperstrom I_B in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F	32
Tabelle B.2 – Gesamtkörperimpedanz Z_B in Abhängigkeit von der Berührungsspannung U_T für einen Stromweg Hand – Hand oder Hand – Fuß	33
Tabelle B.3 – Berechnete Werte der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F	33
Tabelle B.4 – Annahmen für die Rechnungen mit zusätzlichen Widerständen.....	34
Tabelle D.1 – Werkstoff-Konstanten.....	38
Tabelle D.2 – Faktoren zur Umrechnung des Dauerstromes von 300 °C Endtemperatur auf eine andere Endtemperatur.....	39
Tabelle E.1 – Bedingungen für die Anwendung der Ersatzmaßnahmen M, um die zulässigen Berührungsspannungen U_{Tp} sicherzustellen (siehe Bild)	42
Tabelle J.1 – Spezifische Erdwiderstände für Frequenzen technischer Wechselströme (Bereich von Werten, die häufiger gemessen wurden)	50

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm enthält Anforderungen für die Projektierung und Errichtung von Erdungsanlagen für Starkstromanlagen in Netzen mit Nennwechselspannungen über 1 kV, um eine sichere und störungsfreie Funktion im bestimmungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.

Im Sinne dieser Norm gilt als eine Starkstromanlage eine der folgenden:

- a) Schalt- und Umspannanlagen.
- b) Elektrische Anlagen auf Masten oder in Türmen, Schaltgeräte und/oder Transformatoren außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten.
- c) Eine (oder mehrere) Stromerzeugungsanlage(n) an einem räumlich begrenzten Ort.
Die Anlage enthält Generatoren und Transformatoren mit zugehörigen Schaltgeräten und elektrischen Hilfseinrichtungen. Verbindungen zwischen Stromerzeugungsanlagen an unterschiedlichen Orten sind ausgeschlossen.
- d) Das elektrische Netz einer Fabrik, Industrieanlage oder anderer industrieller, landwirtschaftlicher, gewerblicher oder öffentlicher Räumlichkeiten.

In Starkstromanlagen können unter anderem folgende Betriebsmittel vorkommen:

- Drehende elektrische Maschinen;
- Schaltgeräte;
- Transformatoren und Reaktoren;
- Stromrichter;
- Kabel;
- Verdrahtungen;
- Batterien;
- Kondensatoren;
- Erdungsanlagen;
- Gebäude und Umzäunungen, die zu einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte gehören;
- zugehörige Schutz-, Steuerungs- und Hilfssysteme;
- große Luftdrosselspulen.

ANMERKUNG Grundsätzlich haben Festlegungen von Betriebsmittelnormen Vorrang vor dieser Norm.

Diese Norm gilt nicht für die Projektierung und Errichtung von Erdungsanlagen für eine der folgenden:

- Freileitungen und Kabeln zwischen getrennten Anlagen;
- elektrische Bahnen (außer für Schaltanlagen zur Speisung von Bahnanlagen);
- Bergwerksausrüstungen und -anlagen;
- Leuchtröhrenanlagen;
- Anlagen auf Schiffen und off-shore-Plattformen;
- elektrostatischen Einrichtungen (z. B. Elektrofilter, Pulverbeschichtungsanlagen);
- Prüffeldern;
- medizinischen Einrichtungen, zum Beispiel medizinischen Röntgeneinrichtungen.

Diese Norm gilt nicht für die Anforderungen zur Durchführung von Arbeiten unter Spannung an elektrischen Anlagen.

2 Normative Verweisungen

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

EN 60529, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529)*

EN 60909, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen (IEC 60909)*

HD 60364-1, *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe (IEC 60364-1, mod.)*

HD 60364-4-41, *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag (IEC 60364-4-41, mod.)*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050-602:1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 602: Generation, transmission and distribution of electricity – Generation*

IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60050-605:1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 605: Generation, transmission and distribution of electricity – Substations*

IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*

IEC 60287-3-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 3-1: Sections on operating conditions – Reference operating conditions and selection of cable type*

IEC/TS 60479-1: 2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 60949:1988, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

IEC 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Allgemeines

3.1.1

elektrische Betriebsmittel

alle Gegenstände, die zum Zwecke der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung und Anwendung von elektrischer Energie benutzt werden, z. B. Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte, Messgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, Stromverbrauchsgeräte

[IEV 826-07-01]

3.1.2

Bemessungswert

Wert einer Größe, der für Spezifikationszwecke verwendet wird und für bestimmte Betriebsbedingungen eines Bauelements, eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems gilt

[IEV 151-16-08]

3.1.3

Hochspannung

Wechselspannung größer 1 000 V

3.1.4

Niederspannung

Wechselspannung kleiner oder gleich 1 000 V

3.1.5

Betrieb

alle Arbeiten – sowohl elektrische, als auch nicht elektrische Arbeiten – die zur Funktion der Starkstromanlage notwendig sind. Diese Arbeiten beinhalten Schalten, Steuern, Überwachen und Instandhalten

3.2 Anlagen

3.2.1

abgeschlossene elektrische Betriebsstätte

Raum oder Ort für den Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel, der unter Verschluss gehalten wird und eindeutig durch geeignete Warnschilder gekennzeichnet ist. Zutritt haben Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen oder Laien, letztere jedoch nur in Begleitung von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen. Der Zugang kann z. B. durch Öffnen einer Tür oder Entfernen einer Schutzabdeckung mit Hilfe eines Schlüssels oder eines Werkzeuges erfolgen

3.2.2

Stationen

Teil eines elektrischen Netzes, der an einem bestimmten Ort hauptsächlich die Enden der Übertragungs- oder Verteilungsleitungen, Schaltanlagen, Gebäude und möglicherweise Transformatoren umfasst. Eine Station enthält im Allgemeinen Einrichtungen für Zwecke der Netzsicherheit und -führung (z. B. Schutzeinrichtungen)

BEISPIELE: Übertragungsstation (eines Übertragungsnetzes), Verteilungsstation, 400-kV-Station, 20-kV-Station.

[IEV 605-01-01]

ANMERKUNG Die Station kann entsprechend der Art des Netzes näher gekennzeichnet werden.

3.2.3

Kraftwerk

zur Erzeugung elektrischer Energie bestimmte Anlage einschließlich der Einrichtungen aus dem Hoch- und Tiefbau, der Energieumwandlung sowie der dazugehörigen Hilfseinrichtungen

[IEV 602-01-01]

3.2.4

Anlage in offener Bauweise

Anlagen, deren Betriebsmittel keinen Schutz gegen direktes Berühren haben

3.2.5

Anlage in gekapselter Bauweise

Anlagen, deren Betriebsmittel einen Schutz gegen direktes Berühren haben

ANMERKUNG Schutzgrade der Umhüllung siehe EN 60529.

3.3 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag

3.3.1

Schutz gegen direktes Berühren

Maßnahmen, die verhüten, dass Personen mit ihren Körperteilen oder Gegenständen in gefährliche Nähe von aktiven Teilen (Erreichen der Gefahrenzone) oder von solchen Teilen gelangen, die eine gefährliche Spannung führen können

3.3.2

Schutz bei indirektem Berühren

Schutz von Personen vor Gefahren, die im Fehlerfall beim Berühren zugänglicher leitfähiger Teile elektrischer Betriebsmittel oder fremder leitfähiger Teile entstehen können

3.3.3

Kapselung (Umhüllung)

Teil, das Betriebsmittel gegen bestimmte äußere Einflüsse schützt und Schutz gegen direktes Berühren in allen Richtungen bietet

[IEV 826-03-12]

3.4 Erdung

3.4.1

(örtliche) Erde

Teil der Erde, der sich im elektrischen Kontakt mit einem Erder befindet und dessen elektrisches Potential nicht notwendigerweise null ist

ANMERKUNG Das elektrische Potential von leitfähigem Erdreich wird an jedem Punkt vereinbarungsgemäß gleich null gesetzt.

[IEV 195-01-03]

3.4.2

Bezugserde (ferne Erde)

elektrisch leitfähig angesehener Teil der Erde, dessen elektrisches Potential vereinbarungsgemäß gleich null gesetzt wird und der außerhalb des Einflussbereichs von relevanten Erdungsanlagen liegt

ANMERKUNG Unter „Erde“ ist hier der Planet mit seiner gesamten Substanz zu verstehen.

[IEV 195-01-01, mod.]

3.4.3

Erder

leitfähiges Teil, das im elektrischen Kontakt mit Erde steht und in ein bestimmtes leitfähiges Medium, zum Beispiel Beton, eingebettet sein kann

[IEV 195-02-01]

3.4.4

Erdungsleiter

Leiter, der einen Strompfad oder einen Teil des Strompfads zwischen einem gegebenen Punkt in einem Netz, in einer Anlage oder in einem Betriebsmittel und einem Erder herstellt

[IEV 195-02-03]

ANMERKUNG Wenn die Verbindung zwischen einem Anlagenteil und dem Erder über eine Trennlasche, einen Trennschalter, eine Zähl- oder Kontrollfunkenstrecke für Überspannungsableiter usw. vorgenommen wird, dann ist nur der Teil der Verbindung ein Erdungsleiter, der ständig an den Erder angeschlossen ist.

3.4.5

Potentialausgleichsleiter

Schutzleiter zum Sicherstellen des Potentialausgleiches

[IEV 826-04-10, mod.]

3.4.6

Erdungsanlage

Gesamtheit der zum einzelnen oder gemeinsamen Erden eines Betriebsmittels oder einer Anlage erforderlichen Verbindungen und Erder

[IEV 604-04-02]

3.4.7

Tiefenerder

in den Erdboden getriebener, aus einem Metallstab bestehender Erder

[IEV 604-04-09]

3.4.8

Konstruktionsteile mit Erderwirkung

metallenes Teil, das entweder direkt oder über Beton mit der Erde oder mit Wasser in leitendem Kontakt steht und dessen ursprünglicher Zweck nicht die Erdung ist, welches aber alle Anforderungen eines Erders erfüllt ohne Beeinträchtigung des ursprünglichen Zwecks

ANMERKUNG Beispiele für Konstruktionsteile mit Erderwirkung sind metallene Rohrleitungen, Spundwände, Betonpahlbewehrungen, Stahlteile von Bauwerken usw.

3.4.9

spezifischer Erdwiderstand, ρ_s

spezifischer Widerstand einer charakteristischen Probe einer Bodenart

3.4.10

Ausbreitungswiderstand

R_E

Realteil der Erdungsimpedanz

3.4.11

Erdungsimpedanz

Z_E

Impedanz bei einer gegebenen Frequenz zwischen der Bezugserde und einem bestimmten Punkt in einem System oder einer Anlage oder einem Betriebsmittel

ANMERKUNG Die Erdungsimpedanz wird nicht nur von den unmittelbar angeschlossenen Erdern bestimmt, sondern auch durch angeschlossene Erdseile von Freileitungen sowie von Bodenseilen, durch angeschlossene Kabel mit Erderwirkung sowie durch andere Erdungsanlagen, die mit der betreffenden Erdungsanlage durch Kabelmäntel und -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise leitend verbunden sind.

3.4.12

Erdungsspannung

EPR

Spannung zwischen einer Erdungsanlage und der Bezugserde

3.4.13

Potential

Spannung zwischen einem Betrachtungspunkt und der Bezugserde

3.4.14

Berührungsspannung

U_T

Spannung zwischen leitfähigen Teilen, wenn diese gleichzeitig berührt werden

ANMERKUNG Der Wert der Berührungsspannung kann durch die Impedanz des mit diesem leitfähigen Teil im elektrischen Kontakt stehenden Menschen erheblich beeinflusst werden.

[IEV 195-05-11, mod.]

3.4.15

Leerlauf-Berührungsspannung

Spannung zwischen gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen, wenn solche leitfähigen Teile nicht berührt werden

[IEV 195-05-09, mod.]

3.4.16

Schrittspannung

U_S

Spannung zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche, die 1 m voneinander entfernt sind, was als Schrittlänge eines Menschen angenommen wird

[IEV 195-05-12]

3.4.17

Potentialverschleppung

Verschleppung des Potentials einer Erdungsanlage durch einen mit dieser verbundenen Leiter (z. B. Kabelschirm, PEN-Leiter, Rohrleitung, Gleise) in Gebiete mit geringer oder keiner Potentialanhebung gegenüber der Bezugserde, so dass an diesem Leiter ein Potentialunterschied gegen die Umgebung abgreifbar ist (Bild 1)

ANMERKUNG: Das gilt auch für einen Leiter, der aus dem Bereich der Bezugserde kommt und in den Bereich des angehobenen Erdpotentials führt.

3.4.18

Beanspruchungsspannung

Spannung, die bei einem Erdfehler zwischen einem geerdetem Teil oder der Umhüllung von Betriebsmitteln oder Anlageteilen und jedem anderen seiner Teile auftritt und sich auf den Normalbetrieb oder die Sicherheit auswirken könnte

3.4.19

globales Erdungssystem

ein durch die Verbindung von örtlichen Erdungsanlagen hergestelltes Erdungssystem, das sicherstellt, dass durch den geringen gegenseitigen Abstand dieser Erdungsanlagen keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten. Solche Systeme bewirken eine Verteilung der Erdfehlerströme in der Weise, dass die Erdungsspannung der örtlichen Erdungsanlage reduziert wird. Solch ein System bildet eine Quasiäquipotentialfläche

ANMERKUNG: Das Bestehen eines globalen Erdungssystems kann durch Muster-Messungen oder Berechnungen für typische Anordnungen nachgewiesen werden. Typische für globale Erdungssysteme sind Stadtzentren, städtische oder industrielle Bereiche mit verteilten Nieder- und Hochspannungserdungen (siehe Anhang O).

3.4.20

mehrfach geerdeter Hochspannungs-Neutralleiter

Neutralleiter einer Verteilungsleitung, der mit der Erdungsanlage des speisenden Transformators verbunden und mehrfach geerdet ist

3.4.21

Körper (eines elektrischen Betriebsmittels)

berührbares, leitfähiges Teil eines Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, das jedoch unter Spannung stehen kann, wenn die Isolierung fehlerhaft wird

[IEV 826-03-02, mod.]

3.4.22

fremdes leitfähiges Teil

leitfähiges Teil, das nicht zur elektrischen Anlage gehört, das jedoch ein elektrisches Potential, einschließlich des Potentials der örtlichen Erde, einführen kann

[IEV 826-03-03, mod.]

3.4.23

PEN-Leiter

geerdeter Leiter, der zugleich die Funktionen des Schutzleiters und des Neutralleiters erfüllt

IEV 826-04-06, mod.]

3.4.24

Erdfehler

Fehler, der dadurch verursacht wird, dass ein Leiter mit Erde verbunden wird oder dass der Isolationswiderstand zur Erde kleiner wird gegenüber dem spezifizierten Wert

[IEV 151-03-40:1978]

ANMERKUNG Erdfehler, an denen zwei oder mehrere Außenleiter desselben Netzes an unterschiedlichen Stellen beteiligt sind, werden als Doppel- oder Mehrfacherdschluss bezeichnet.

3.4.25

Netz mit isoliertem Sternpunkt

Netz, in dem die Sternpunkte von Transformatoren und Generatoren nicht absichtlich mit Erde verbunden sind, ausgenommen Verbindungen hoher Impedanz für Signal-, Mess- oder Schutzzwecke

[IEV 601-02-24, mod.]

3.4.26

Netz mit Erdschlusskompensation

Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators oder Sternpunktbildners über eine Erdschlusslöschspule geerdet ist, wobei die resultierende Induktivität aller Erdschlusslöschspulen im Wesentlichen auf die Erdkapazität des Netzes für die Betriebsfrequenz abgestimmt ist

ANMERKUNG Im Fall von nicht selbstverlöschenden Erdschlüssen sind zwei verschiedene Verfahren gebräuchlich:

- Sofortige automatische Unterbrechung;
- Unterbrechungsfreier Betrieb während der Fehlersuche.

Zur Erleichterung der Fehlersuche und des Betriebs gibt es verschiedene unterstützende Verfahren:

- Kurzzeit-Erdung zur Fehlererfassung;
- Kurzzeit-Erdung zur Abschaltung;
- Phasenerdung.

3.4.27

Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung

Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators, Sternpunktbildners oder Generators direkt oder über eine Impedanz geerdet ist, die so ausgelegt ist, dass ein Erdfehler an irgendeiner Stelle wegen der Höhe des Fehlerstromes zuverlässig zu einer automatischen Abschaltung führt

[IEV 601-02-25, 601-02-26]

3.4.28

Erdfehlerstrom

I_F

Strom, der vom Betriebsstromkreis zur Erde oder zu geerdeten Teilen an der Fehlerstelle (Ort des Erdfehlers) fließt (Bild 2 und Bild 3)

Das ist bei einpoligen Erdfehlern

- in Netzen mit isoliertem Sternpunkt der kapazitive Erdschlussstrom
- in Netzen mit hochohmiger Sternpunkterdung der ohmsche-kapazitive Erdschlussstrom
- in Netzen mit Erdschlusskompensation der Erdschlussreststrom
- in Netzen mit niederohmiger Sternpunkterdung der Anfangskurzschlusswechselstrom

3.4.29

Erdungsstrom

I_E

Strom, der über die Erdungsimpedanz in die Erde fließt (siehe Bild 2)

ANMERKUNG Der Erdungsstrom ist der Teil des Erdfehlerstromes I_F , durch den die Potentialanhebung der Erdungsanlage verursacht wird. Zur Bestimmung von I_F siehe auch Anhang L.

3.4.30

Reduktionsfaktor

r

das Verhältnis des Erdungsstromes zur Summe der Nullströme in den Leitern des Betriebsstromkreises einer Drehstromleitung ($r = I_E / 3 I_0$), bei entsprechender Entfernung vom Ort des Kurzschlusses und von der Erdungsanlage der Station

3.4.31

Sternpunkt-Ausgleichsstrom

Fehlerstromanteil, der über elektrisch leitfähige Teile oder die Erdungsanlage zum Transformatorsternpunkt zurückfließt, ohne sich in den Erdboden abzuleiten

3.4.32

Oberflächenerder

Erder, der in geringer Tiefe im Allgemeinen bis etwa 1 m verlegt ist. Er kann z. B. aus Band, Rundmaterial oder Seil bestehen und als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder oder als eine Kombination dieser Arten ausgeführt sein

3.4.33

Kabel mit Erderwirkung

Kabel, deren Mäntel, Schirme oder Bewehrungen die gleiche Wirkung haben wie Bänderder

3.4.34

Fundamenterder

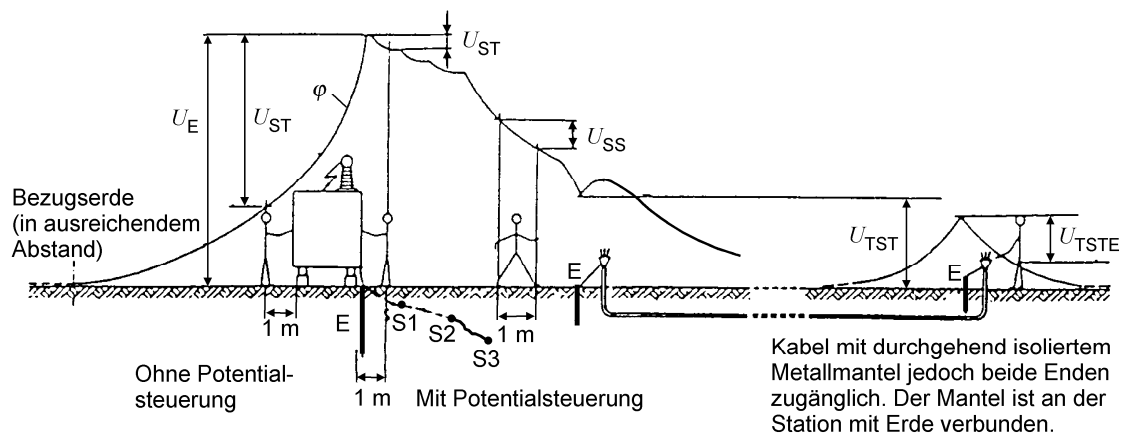
Teil eines Bauwerkes mit leitenden Eigenschaften, das in Beton eingebettet ist, welcher mit Erde großflächig in leitendem Kontakt steht

[IEV 826-13-08, mod.]

3.4.35

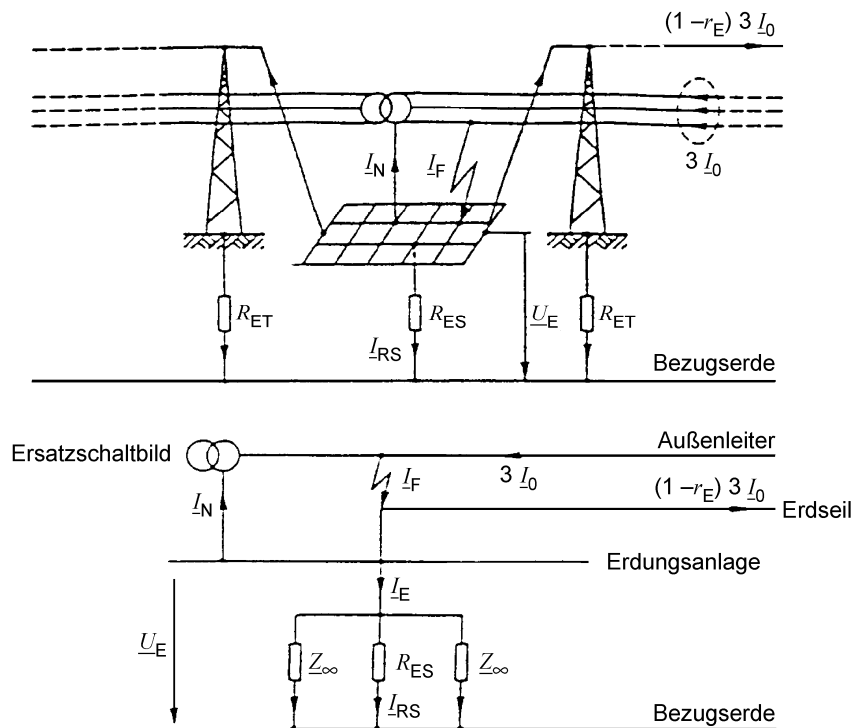
Potentialsteuerungserder

Leiter, der durch Form und Anordnung mehr zur Potentialsteuerung als zum Erreichen eines bestimmten Widerstands zur Erde verwendet wird



E	Erder
S1, S2, S3	Potentialsteuerer (z. B. Ringerder), die mit dem Erder E verbunden sind
U_E	Erdungsspannung (EPR)
U_{SS}	Leerlauf-Schrittspannung
U_{ST}	Leerlauf-Berührungsspannung
U_{TST}	Verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende nicht geerdet ist
U_{TSTE}	Verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende ebenfalls geerdet ist
ϕ	Erdoberflächenpotential

Bild 1 – Beispiel für den Verlauf des Erdoberflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenen Erden



$$I_F = 3 I_0 + I_N$$

$$I_E = r_E \times (I_F - I_N)$$

$$U_E = I_E \times Z_E$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + n \frac{1}{Z_{\infty}}}$$

Für gleiche Kettenleiter-Impedanzen
der angeschlossenen Freileitungen

$3 I_0$ Dreifacher Nullstrom der Leitung

I_N Über die Sternpunktterdung des Transformators fließender Strom

I_F Erdfehlerstrom

I_E Erdungsstrom (kann nicht direkt gemessen werden)

I_{RS} Über den Ausbreitungswiderstand des Maschenerders fließender Strom

r_E Reduktionsfaktor der Freileitung

R_{ES} Ausbreitungswiderstand des Maschenerders

R_{ET} Ausbreitungswiderstand des Mastes

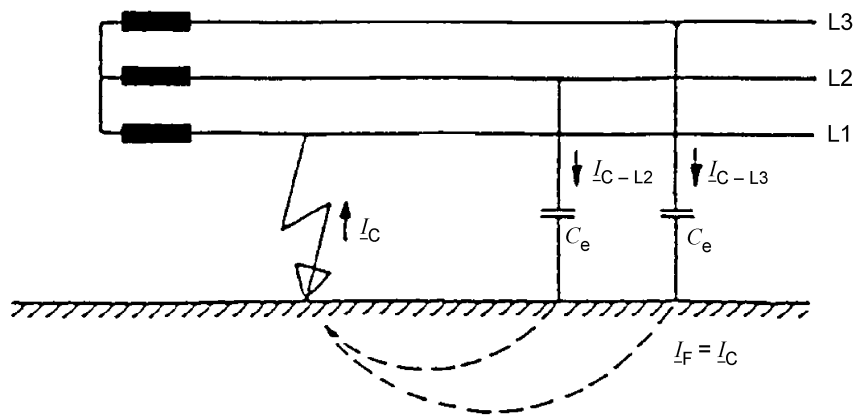
Z_{∞} Kettenleiterimpedanz (Erdseil/Mastfuß) der Freileitungen, als unendlich angenommen

Z_E Erdungsimpedanz

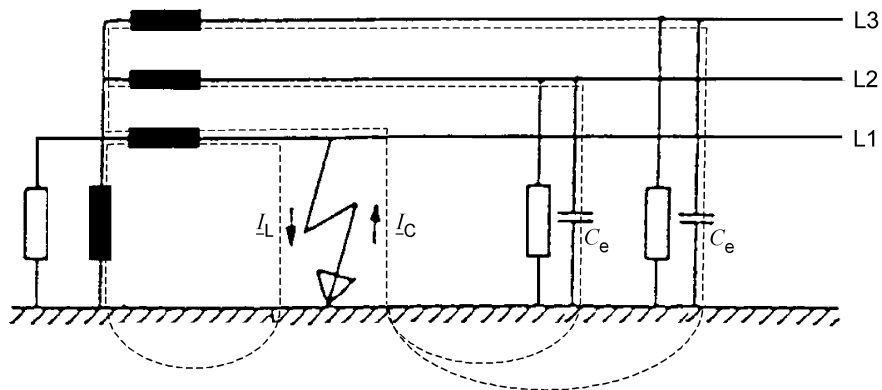
U_E Erdungsspannung

n Anzahl der aus der Anlage führenden Freileitungen (hier: $n = 2$)

**Bild 2 – Beispiel für Ströme, Spannungen und Widerstände bei einem Erdfehler
in einer Umspannanlage mit niederohmiger Sternpunktterdung**

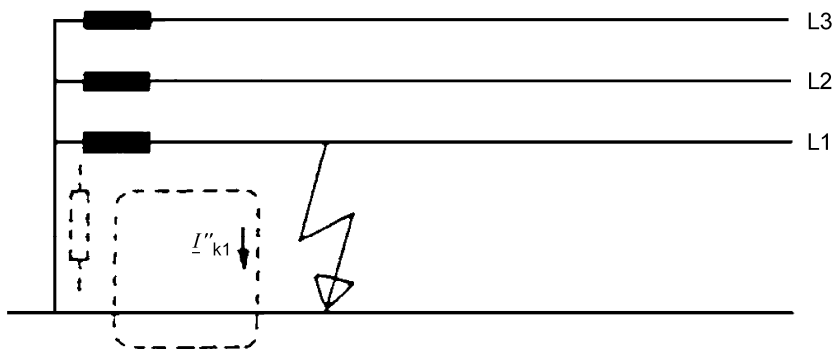


a) Erdfehlerstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt



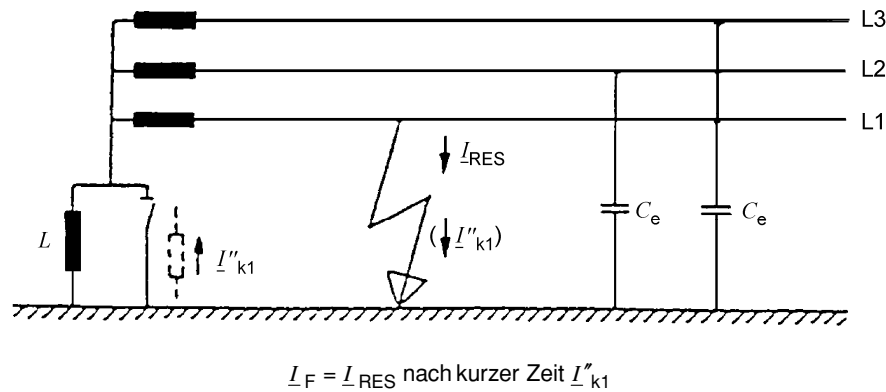
$$I_F = I_{RES} = (I_C - I_L) + I_R + I_H$$

b) Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlusskompensation

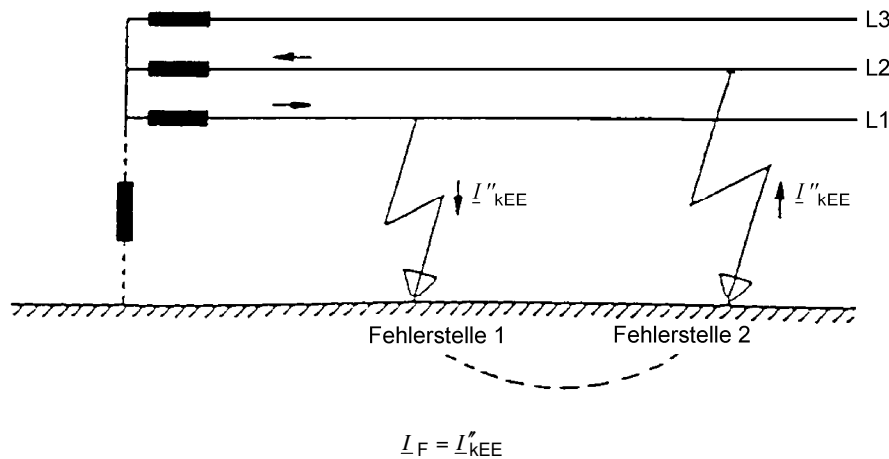


$$I_F = I''_{k1}$$

c) Erdfehlerstrom in einem Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung



d) **Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlusskompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung**



e) **Doppelerdschlussstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlusskompensation**

- I_F Erdfehlerstrom
- I_C Kapazitiver Erdungsstrom
- I_L Summe der Ströme paralleler Erdschlusslöschspulen
- I_R Ableitstrom
- I_H Oberschwingungsstrom
- I_{RES} Erdschlussreststrom
- I''_{k1} Anfangskurzschlusswechselstrom für einpoligen Erdkurzschluss
- I''_{kEE} Doppelerdschlussstrom

Bild 3 – Die wesentlichen Komponenten der Erdfehlerströme in Hochspannungsnetzen

4 Grundlegende Anforderungen

4.1 Allgemeine Anforderungen

Diese Norm enthält die Anforderungen an Planung, Errichtung, Prüfung und Instandhaltung von Erdungsanlagen, damit diese unter allen Bedingungen wirksam sind und die Sicherheit von Personen an jedem Ort, zu dem sie berechtigten Zutritt haben, gewährleistet ist. Der Abschnitt enthält auch die Anforderungen mit

denen die Funktionsfähigkeit von Betriebsmitteln, die an die Erdungsanlage angeschlossen sind oder sich in der Nähe befinden, aufrechterhalten wird.

Anlagen und Betriebsmittel müssen den am Einsatzort zu erwartenden elektrischen, mechanischen, klimatischen und Umwelteinflüssen standhalten.

Die Gestaltung sollte berücksichtigen:

- Der Zweck der Anlage;
- die Anforderungen des Betreibers, wie z. B. Spannungsqualität, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Fähigkeit des elektrischen Netzes, den Einflüssen von vorübergehenden Beanspruchungen standzuhalten, wie Anlauf von großen Motoren, kurze Leistungsausfälle und Wiederherstellung der Versorgung;
- die Sicherheit für Betriebspersonal und die Öffentlichkeit;
- die Möglichkeit für Erweiterungen (wenn gefordert) und für Instandhaltung.

4.2 Elektrische Anforderungen

4.2.1 Arten der Sternpunktterdung

Die Art der Sternpunktterdung hat starken Einfluss auf die Größe und Dauer des Fehlerstroms. Weiterhin ist die Art der Sternpunktterdung eines Netzes wichtig für:

- Wahl des Isolationspegels,
- Kennwerte von überspannungsbegrenzenden Einrichtungen, wie Funkenstrecken oder Überspannungsableitern,
- Auswahl von Schutzrelais.

Beispiele für Sternpunktterdungen sind:

- Netz mit isoliertem Sternpunkt
- Netz mit Erdschlusskompensation
- Netz mit hochohmiger Sternpunktterdung
- Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung

Die Wahl der Sternpunktterdung berücksichtigt normalerweise folgende Kriterien:

- Örtliche Vorschriften (falls vorhanden)
- Geforderte Versorgungssicherheit des Netzes
- Begrenzung der Schäden an Betriebsmitteln durch Erdschlüsse
- Selektive Abschaltung fehlerhafter Netzteile
- Feststellung der Fehlerstelle
- Berührungs- und Schrittspannungen
- Induktiver Scheinwiderstand
- Betriebs- und Instandhaltungsgesichtspunkte

In einem galvanisch verbundenen Netz gibt es nur eine Art der Sternpunktterdung. Galvanisch nicht verbundene Netze können unterschiedliche Arten der Sternpunktterdung haben. Wenn unterschiedliche Sternpunktterdungskonfigurationen während des Normalbetriebs oder bei anormalen Betriebsbedingungen vorkommen können, sollten die Geräte und die Schutzeinrichtungen für diese Betriebsbedingungen ausgelegt sein.

4.2.2 Kurzschlussstrom

4.2.2.1 Anlagen müssen so ausgelegt, konstruiert und errichtet werden, dass sie den mechanischen und thermischen Auswirkungen eines Kurzschlussstromes sicher standhalten.

4.2.2.2 Ziel ist es, für jeden maßgebenden Gesichtspunkt der funktionellen Anforderungen den ungünstigsten Fehlerfall zu bestimmen, da dieser unterschiedlich sein kann. Die nachfolgenden Fehlerarten sind für jede Spannungsebene, die in der Anlage vorkommt, zu überprüfen.

- a) Drei Leiter gegen Erde
- b) Zwei Leiter gegen Erde
- c) Ein Leiter gegen Erde
- d) Leiter gegen Leiter über Erde (Doppelerdschluss)

Es sind Fehler innerhalb und außerhalb der Anlage zu betrachten, um den ungünstigsten Fehlerort zu bestimmen.

Gleichzeitige Fehler in galvanisch getrennten Netzen müssen nicht berücksichtigt werden.

Für Anlagen müssen selbsttätige Einrichtungen zum Abschalten von dreipoligen und zweipoligen Kurzschlüssen vorgesehen werden.

Für Anlagen müssen entweder Einrichtungen zum selbsttätigen Abschalten von gefährlichen Erdschlüssen oder zum Anzeigen des Erdschlusszustandes vorgesehen werden. Die Auswahl der Einrichtungen ist hauptsächlich von der Art der Sternpunktterdung abhängig.

4.2.2.3 Der genormte Wert für die Bemessungs-Kurzschlussdauer beträgt 1 s.

ANMERKUNG 1 Wenn ein von 1 s abweichender Wert zweckmäßig ist, werden Werte von 0,5 s, 2,0 s und 3,0 s empfohlen.

ANMERKUNG 2 Die Bemessungsdauer muss die Zeit der Kurzschlussabschaltung berücksichtigen.

4.3 Sicherheitskriterien

Für Personen besteht die Gefahr, dass ein Strom durch die Herzregion fließt, der groß genug ist, um Herzkammerflimmern hervorzurufen. Die Grenzwerte für betriebsfrequente Vorgänge sind von IEC/TS 60479-1:2005 abgeleitet. Diese Grenzwerte für Körperströme sind unter Berücksichtigung der nachstehenden Faktoren in Spannungsgrenzwerte umgewandelt worden, um mit den berechneten Schritt- und Berührungsspannungen verglichen werden können:

- Anteil des Stromes der durch die Herzregion fließt;
- Körperimpedanz entlang des Strompfades;
- Übergangswiderstand an den Berührungspunkten des Körpers, z. B. Metallkörper zu Hand (einschließlich Handschuhe), Bezugserde zu Fuß (einschließlich Schuhe oder Kies);
- Fehlerdauer.

Für die Anlagenplanung ist die Kurve in Bild 4 gemäß dem im Anhang A festgelegten Verfahren berechnet.

ANMERKUNG Die Kurve ist auf Daten aus IEC/TS 60479-1:2005 bezogen.

- Körperimpedanz aus IEC/TS 60479-1:2005, Tabelle 1 (nicht übertroffen bei 50 % der Bevölkerung);
- zulässiger Körperstrom entsprechend der Kurve C2 aus IEC/TS 60479-1:2005, Bild 20 und Tabelle 11 (Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern kleiner als 5 %);
- Herzstromfaktor aus IEC/TS 60479-1:2005, Tabelle 12.

Die Kurve in Bild 4, welche die zulässige Berührungsspannung darstellt, sollte verwendet werden.

In der Regel werden die Anforderungen zur Schrittspannung erfüllt, wenn die Anforderungen zur Berührungsspannung eingehalten werden, da die zulässigen Schrittspannungswerte, wegen der unterschiedlichen Strompfade durch den Körper, sehr viel größer als die Berührungsspannungswerte sind.

Für Anlagen, bei denen die Hochspannungsbetriebsmittel nicht in einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte angeordnet sind, z. B. in industrieller Umgebung, sollte ein globales Erdungssystem verwendet werden, um zu verhindern, dass die Berührungsspannung die Grenzwerte aus HD 60364-4-41 überschreitet.

4.4 Funktionale Anforderungen

Die Erdungsanlage, ihre Komponenten und Potentialausgleichsleiter müssen in der Lage sein den Fehlerstrom zu führen und gegen Erde abzuleiten, ohne ihre thermischen oder mechanischen Grenzen zu überschreiten, die auf die Ausschaltzeiten des Reserveschutzes bezogen sind.

Die Erdungsanlage muss ihre Funktionsfähigkeit für die vorgesehene Lebensdauer der Anlage behalten, gegebenenfalls sind Zuschläge für Korrosion und mechanische Belastung erforderlich.

Die Erdungsanlage muss so wirken, dass Beschädigungen von Betriebsmitteln vermieden werden. Solche Beschädigungen können hervorgerufen werden, durch besonders hohe Potentialanhebungen, Potentialdifferenzen innerhalb der Erdungsanlage und besonders hohe Ströme in Nebenwegen, die nicht dafür vorgesehen sind Fehlerstromanteile zu führen.

Die Erdungsanlage muss, in Verbindung mit geeigneten Maßnahmen, die Schritt- und Berührungsspannungen sowie Potentialverschleppungen auf die zulässigen Spannungen begrenzen, die auf die Ausschaltzeiten der Schutzeinrichtungen und der Schaltgeräte bezogen sind.

ANMERKUNG Die Anforderungen zur Einhaltung der zulässigen Schritt- und Berührungsspannungen gelten nicht für vorübergehende Erdungen (tragbare Erdungsvorrichtungen) an Arbeitsstellen.

Die Leistungsfähigkeit der Erdungsanlage muss mitwirken, die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) zwischen elektrischen und elektronischen Geräten der Hochspannungsanlage in Übereinstimmung mit IEC 61000-5-2 sicherzustellen.

5 Auslegung von Erdungsanlagen

5.1 Allgemeines

Demzufolge sind für die Bemessung der Erdungsanlage folgende Parameter von Bedeutung:

- Höhe des Fehlerstromes¹⁾,
- Fehlerdauer¹⁾,
- Beschaffenheit der Erde.

5.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung

5.3.1 Erder

Da Erder mit Erde in engem Kontakt stehen, müssen sie aus Werkstoffen bestehen, die korrosionsbeständig sind (chemische oder biologische Einwirkungen, Oxidation, Bildung eines elektrolytischen Korrosions-elementes, Elektrolyse usw.). Sie müssen die mechanischen Beanspruchungen, die während der Montage sowie während des bestimmungsgemäßen Betriebes auftreten, aushalten. In Betonfundamente eingebetteter Stahl und Stahlpfähle oder andere natürliche Erder dürfen als Teil der Erdungsanlage verwendet werden. Die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bestimmen die Mindestabmessungen für Erder, wie sie im Anhang C angegeben sind. Wenn ein anderer Werkstoff verwendet wird, z. B. rostfreier Stahl, muss dieser Werkstoff den funktionalen Anforderungen entsprechen.

¹⁾ Diese Parameter sind insbesondere abhängig von der Art der Sternpunktbehandlung des Hochspannungsnetzes.

5.2.2 Erdungsleiter

Aus Gründen der mechanischen Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sind folgende Mindestquerschnitte festgelegt:

- Kupfer: 16 mm² (Ausnahme siehe Abschnitt G.5)
- Aluminium: 35 mm²
- Stahl: 50 mm²

5.2.3 Potentialausgleichsleiter

Es wird empfohlen, die Bemessung von Potentialausgleichsleitern entsprechend 5.2.2 vorzunehmen.

ANMERKUNG Erdungs- und Potentialausgleichsleiter aus Stahl erfordern einen passenden und geeigneten Korrosionsschutz.

5.3 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung

5.3.1 Allgemeines

Die für Erdungsleiter und Erder zu berücksichtigenden Ströme sind in Tabelle 1 festgelegt.

ANMERKUNG 1 In manchen Fällen müssen die im störungsfreien Betrieb auftretenden Nullströme für die Bemessung der betreffenden Erdungsanlage berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Für Projektierungszwecke sollte bei den zur Berechnung des Leiterquerschnitts verwendeten Strömen die Möglichkeit eines späteren Anstiegs dieser Ströme in Betracht gezogen werden.

In der Erdungsanlage teilt sich der Fehlerstrom häufig auf; es ist deshalb zulässig, jeden Erder nur für einen Teil des Fehlerstroms zu bemessen.

Die Endtemperaturen, die bei der Auslegung zu berücksichtigen sind und die im Anhang D angesprochen werden, sind so zu wählen, dass eine Minderung der Werkstofffestigkeit sowie die Beschädigung von Materialien in der Umgebung, z. B. Beton oder Isolierstoffe, verhindert wird. In dieser Norm wird keine zulässige Erwärmung für das Erdreich um die Erder angegeben, da die Erfahrung zeigt, dass diese Erwärmung im Allgemeinen unwesentlich ist.

5.3.2 Strombelastbarkeit

Die Berechnung des Querschnittes von Erdungsleitern oder Erdern in Abhängigkeit von der Höhe und Dauer des Fehlerstromes ist im Anhang D (normativ) beschrieben. Dort wird zwischen Fehlerdauern bis einschließlich 5 s (adiabatischer Temperaturanstieg) und größer 5 s unterschieden. Die Endtemperatur ist in Abhängigkeit vom Material und den Umgebungsbedingungen zu wählen. Unabhängig davon müssen die Mindestquerschnitte nach 5.2.2 beachtet werden.

ANMERKUNG Die Strombelastbarkeit der verwendeten Verbindungen (insbesondere geschraubte Verbindungen) ist zu berücksichtigen.

Tabelle 1 – Maßgebende Ströme für die Bemessung von Erdungsanlagen

Art des Hochspannungsnetzes			Maßgebend für die thermische Belastung ^{a, e}		Maßgebend für Erdungs- und Berührungsspannungen
			Erder	Erdungsleiter	
Netze mit isoliertem Sternpunkt					
	Abschaltung innerhalb von 5 s		I_C	I_C	$I_E = r \cdot I_C$
	Betrieb mit Erdkurzschluss		I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I''_{KEE}$
Netze mit Erdschlusskompensation					
	Abschaltung innerhalb von 5 s	In Anlagen ohne Erdschlussspule ^f	I_{RES}	I_{RES}	$I_E = r \cdot I_{RES}$
		In Anlagen mit Erdschlussspule	I_{RES}	I_{RES}^c	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}^h$
	Betrieb mit Erdkurzschluss, einschließlich vorübergehender Erdung zur Fehlersuche		I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I''_{KEE}^b$
Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung, einschließlich vorübergehender Erdung zur Abschaltung ^g			I''_{k1}^c	I''_{k1}	I_E^e
	Anlagen, ohne Sternpunktterdung		I''_{k1}	I''_{K1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
	Anlage mit Sternpunktterdung		I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I''_N)^d$

^a Sind mehrere Stromflusswege möglich, darf die sich ergebende Stromverteilung für die Auslegung des Erdernetzes berücksichtigt werden.

^b Wenn statistische Nachweise zeigen, dass ein Doppelerdschluss unwahrscheinlich ist und umgehend abgeschaltet wird, kann der Erdschlussreststrom verwendet werden.

^c Erdungsleiter an Erdschlussspulen sind nach deren Bemessungsstrom der Spulen auszulegen.

^d Es ist zu prüfen, ob außenliegende Fehler maßgeblich sind.

^e Die Mindestquerschnitte im Anhang C müssen beachtet werden.

^f Bei merklicher Verstimmung eines kompensierten Netzes ist die Blindkomponente des Erdschlussreststroms zusätzlich zu berücksichtigen.

^g Die vorübergehende Erdung von Netzen mit Erdschlusskompensation beginnt innerhalb von 5 s nach Feststellung des Erdschlusses.

^h Im Falle eines Fehlers in der Anlage muss der kapazitive Erdungsstrom I_C berücksichtigt werden. Weitere Erdschlussspulen außerhalb der Anlage können berücksichtigt werden.

Legende:

I_C Berechneter oder gemessener kapazitiver Erdschlussstrom

I_{RES} Erdschlussreststrom (siehe Bild 3b). Wenn der exakte Wert nicht bekannt ist, dürfen 10 % von I_C angenommen werden

I_L Summe der Bemessungsströme paralleler Erdschlussspulen der betrachteten Anlage

I''_{KEE} Doppelerdschlussstrom, berechnet nach EN 60909 (für I''_{KEE} dürfen 85 % des 3-poligen Anfangskurzschlusswechselstromes als Höchstwert verwendet werden)

I''_{k1} Anfangskurzschlusswechselstrom für einen einpoligen Erdkurzschluss, berechnet nach EN 60909

I_E Erdungsstrom (siehe Bild 2)

I_N

r Reduktionsfaktor (siehe Anhang I (informativ)).

Wenn die aus der Anlage abgehenden Leitungen und Kabel unterschiedliche Reduktionsfaktoren haben, ist der maßgebende Strom zu bestimmen (entsprechend Anhang L).

4 Bemessung im Hinblick auf Berührungs- und Schrittspannungen

5.4.1 Zulässige Werte

Grenzwerte für Berührungsspannungen sind in Bild 4 angegeben, wie in 4.3 (Sicherheitskriterien) beschrieben.

Jedoch ist die Kurve in Bild 4 nur auf den Kontakt zwischen den bloßen Händen und Füßen bezogen. Es ist es zulässig, das im Anhang A (normativ) angegebene Rechenverfahren anzuwenden, um Zusatzwiderstände zu berücksichtigen z. B. Schuhwerk, hochohmiges Oberflächenmaterial.

Jeder Erdschluss wird automatisch oder von Hand abgeschaltet. Demnach treten als Folge von Erdfehlern keine zeitlich unbegrenzten Berührungsspannungen auf.

5.4.2 Maßnahmen zur Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen

Die Anwendung der grundlegenden Anforderungen ergibt die Grundausslegung der Erdungsanlage. Diese Auslegung ist hinsichtlich der Berührungsspannungen zu überprüfen und kann danach als eine typgeprüfte Ausführung bei vergleichbaren Randbedingungen angesehen werden.

Für die Werte der zulässigen Berührungsspannungen U_{Tp} ist Bild 4 zu verwenden. Zusatzwiderstände können entsprechend Anhang A (normativ) berücksichtigt werden. Diese Anforderung bezüglich der Berührungsspannungen wird als erfüllt angesehen, wenn

- entweder eine der Voraussetzungen C erfüllt ist
 - C1: Die betreffende Anlage ist Teil eines Globalen Erdungssystems.
 - C2: Die durch Messung oder Berechnung ermittelte Erdungsspannung überschreitet nicht den zweifachen Wert der zulässigen Berührungsspannung nach Bild 4.
- oder die zutreffenden anerkannten festgelegten Maßnahmen M in Abhängigkeit von der Höhe der Erdungsspannung und der Fehlerdauer durchgeführt wurden. Diese Maßnahmen werden im Anhang E beschrieben.

Ein Flussdiagramm dieser Auslegungsablaufs ist in Bild 5 enthalten.

Wenn weder die Bedingungen C erfüllt, noch die anerkannten festgelegten Maßnahmen M durchgeführt sind, muss die Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} nach Bild 4 überprüft werden, im Allgemeinen durch Messungen.

Alternativ dazu darf eine typgeprüfte Ausführung angewendet werden, die sicherstellt, dass alle Anforderungen nach 5.4.1 erfüllt sind.

ANMERKUNG Als Alternative zur Anwendung der Voraussetzungen C und der anerkannten festgelegten Maßnahmen M können die Berührungsspannungen durch Messungen vor Ort überprüft werden.

Potentialverschleppungen müssen immer zusätzlich überprüft werden.

Die Erdungs- und Berührungsspannungen einer Erdungsanlage dürfen aus bekannten Daten (spezifischer Erdwiderstand, Erdungsimpedanz von vorhandenen Erdungsanlagen, siehe Anhang J) errechnet werden. Für die Berechnung dürfen alle Erder und sonstigen Erdungsanlagen berücksichtigt werden, die bei ausreichender Strombelastbarkeit mit der betreffenden Erdungsanlage zuverlässig verbunden sind. Das gilt insbesondere für angeschlossene Freileitungserdseile, Bodenseile und Kabel mit Erderwirkung. Das gilt auch für Erdungsanlagen, die mit der betrachteten Erdungsanlage über Kabelmäntel oder -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise verbunden sind.

Für den rechnerischen Nachweis mit Hilfe von Bild J.3 dürfen alle Kabel mit Erderwirkung berücksichtigt werden, sofern sie auf nicht mehr als vier Trassen verlegt sind. Diese Kabel können Netzen mit unterschiedlichen Nennspannungen angehören.

ANMERKUNG Bei mehr als vier Trassen darf die gegenseitige Beeinflussung nicht vernachlässigt werden; daher sollen aus den vorhandenen Trassen nur vier ausgewählt werden. Bei mehreren Kabeln in einer Trasse kann nur eine Länge berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung von Erdungs- und Berührungsspannungen sind die Ströme nach Tabelle 1 maßgebend.

Für den Nachweis durch Messung sind Abschnitt 8 (bzw. der Anhänge H und L) zu beachten.

5.4.3 Auslegungsverfahren

Die Auslegung einer Erdungsanlage kann in folgenden Schritten durchgeführt werden:

- a) Datenerfassung, z. B. Erdfehlerstrom, Fehlerdauer und räumliche Anordnung;*
- b) Erstentwurf der Erdungsanlage unter Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen;*
- c) Feststellen, ob ein globales Erdungssystem vorliegt;*
- d) wenn nicht: Bestimmung der Bodenkennwerte, z. B. spezifischer Widerstand der Erdschichten;*
- e) Bestimmung des Fehlerstromanteils, der im Bereich der Erdungsanlage in das Erdreich eintritt, bezogen auf dem Erdfehlerstrom;*
- f) Bestimmung der Gesamtimpedanz zur Erde, beruhend auf der räumlichen Anordnung, den Bodeneigenschaften und parallelen Erdungsanlagen;*
- g) Bestimmung der Erdungsspannung (EPR);*
- h) Bestimmung der zulässigen Berührungsspannung.*
- i) Die Auslagerung ist abgeschlossen, wenn die Erdungsspannung (EPR) kleiner als die zulässige Berührungsspannung ist. Die Auslegung ist auch abgeschlossen, wenn die Anforderungen der Tabelle 1 erfüllt werden.*
- j) Falls nicht, ist festzustellen ob die Berührungsspannungen innerhalb und am Rande der Erdungsanlage unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen.*
- k) Bestimmung, ob Potentialverschleppungen eine Gefährdung außerhalb oder innerhalb der Starkstromanlage darstellen. Falls ja, sind Abminderungen an den exponierten Stellen vorzusehen.*
- l) Bestimmung, ob Niederspannungsbetriebsmittel einer besonders hohen Spannungsbeanspruchung ausgesetzt werden. Falls ja, sind Abminderungsmaßnahmen vorzusehen zu denen die Trennung der Hochspannung- und Niederspannungs-Erdungsanlagen zählt.*
- m) Bestimmung, ob durch Sternpunktausgleichsströme der Transformatoren große Potentialdifferenzen innerhalb der Erdungsanlage entstehen können. Falls ja, sind geeignete Abminderungsmaßnahmen vorzusehen.*
- n) Wenn die zuvor genannten Kriterien erfüllt sind, kann, falls notwendig, die Auslegung durch Wiederholen der obigen Bearbeitungsschritte verfeinert werden. Eine detaillierte Auslegung ist erforderlich um sicherzustellen, dass sämtliche zugänglichen leitfähigen Teile der elektrischen Betriebsmittel geerdet werden. Fremde leitfähige Teile müssen, falls erforderlich, geerdet werden.*

Konstruktionsteile mit Erderwirkung müssen mit der Erdungsanlage verbunden werden und sind somit Teil der Erdungsanlage. Falls sie nicht verbunden werden, muss nachgewiesen werden, dass alle Sicherheitsanforderungen erfüllt werden.

Metallteile mit kathodischem Schutz können von der Erdungsanlage getrennt werden. Es sind Vorkehrungen, wie Kennzeichnung, zu treffen, um sicherzustellen, dass wenn solche Maßnahmen ergriffen wurden, diese nicht durch Instandhaltungsarbeiten oder Änderungen unabsichtlich aufgehoben werden.

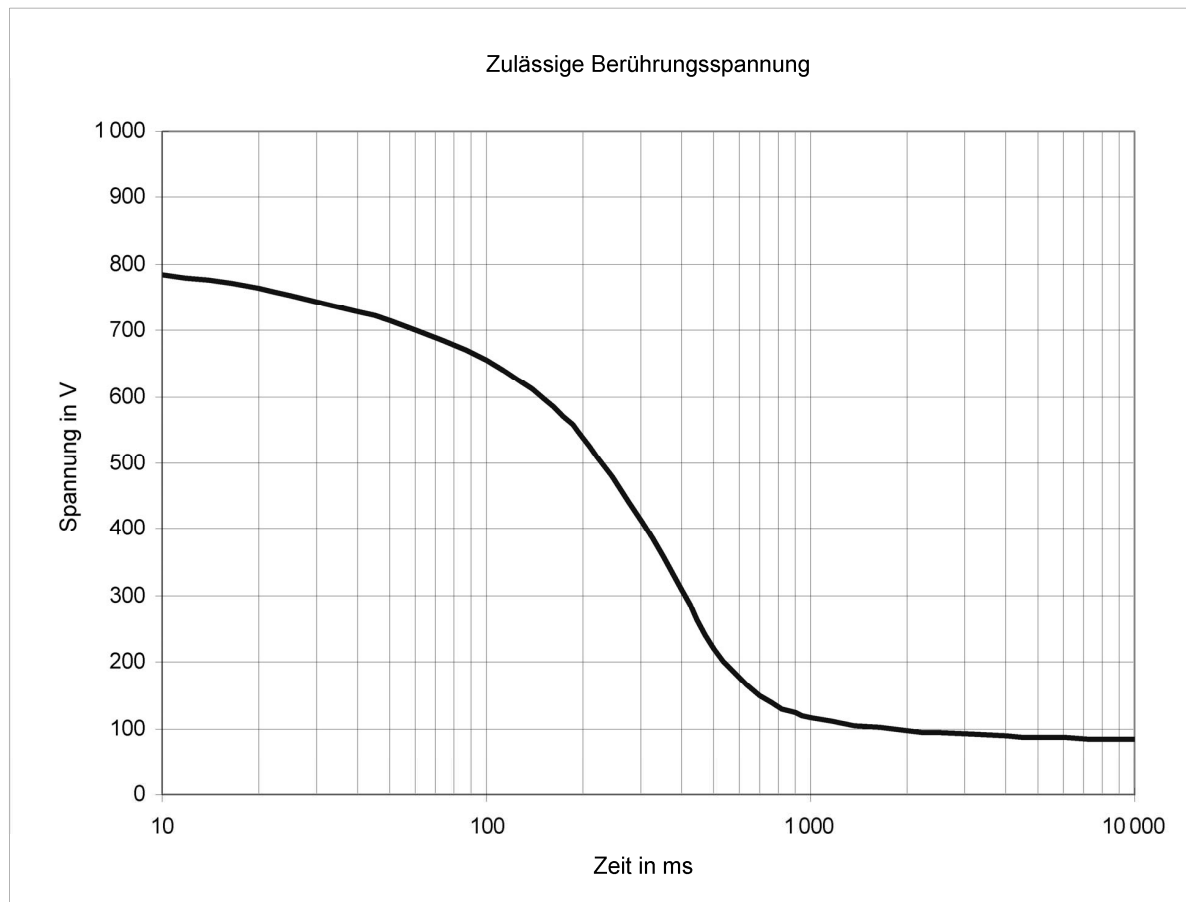


Bild 4 – Berührungsspannungskurve

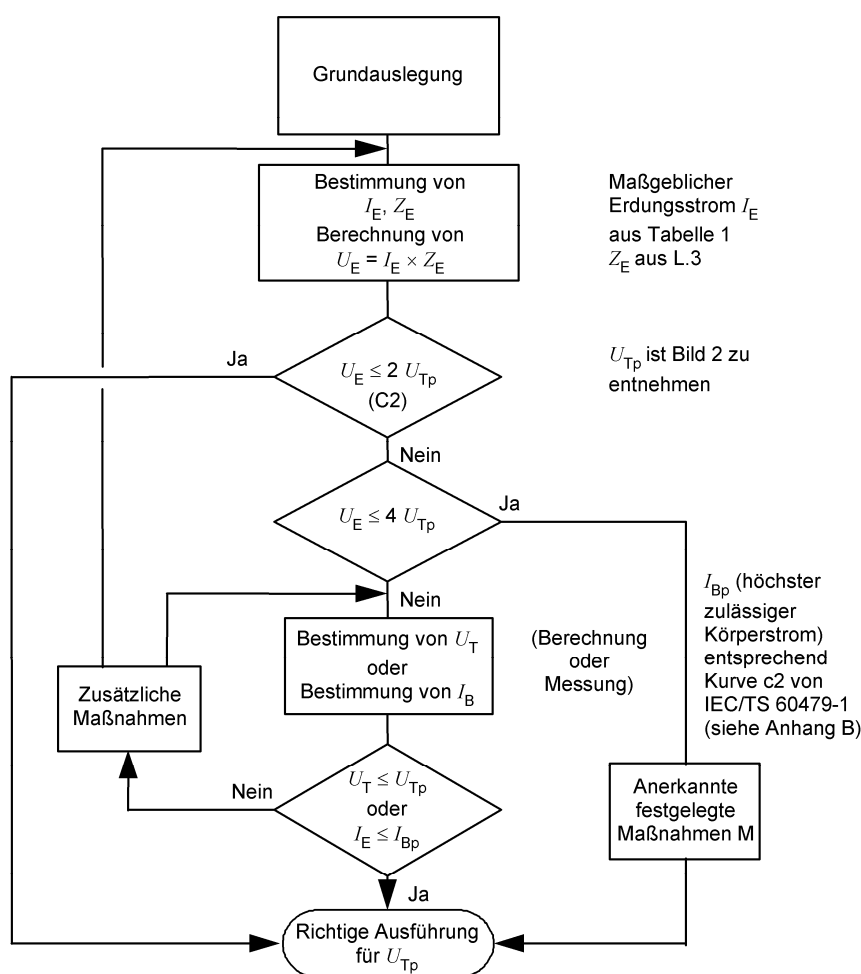


Bild 5 – Auslegung von Erdungsanlagen, die nicht Teil eines Globalen Erdungssystems (C1 von 5.4.2) sind, im Hinblick auf zulässige Berührungsspannung U_{Tp} durch Überprüfung der Erdungsspannung U_E oder der Berührungsspannung U_T

6 Maßnahmen zur Vermeidung von Potentialverschleppung

6.1 Potentialverschleppung von Hochspannungsanlagen zu Niederspannungsanlagen

6.1.1 Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannung

Wenn Hochspannungs- und Niederspannungs-Erdungsanlagen dicht nebeneinander liegen und nicht ein globales Erdungssystem bilden, kann ein Teil der Erdungsspannung (EPR) in das Niederspannungssystem übertragen werden.

Zwei Methoden werden zurzeit verwendet:

- Zusammenschluss aller Hochspannungs-Erdungsanlagen mit den Niederspannungs-Erdungsanlagen
- Trennung der Hochspannungs- und Niederspannungs-Erdungsanlagen

In jedem Fall müssen die nachstehenden Anforderungen an Berührungsspannungen, Schrittspannungen und Potentialverschleppung in der Hochspannungsanlage und in der von ihr versorgten Niederspannungsanlage erfüllt werden.

ANMERKUNG Wenn machbar, ist vorzugsweise der Zusammenschluss anzuwenden.

6.1.2 Niederspannungsversorgung nur innerhalb der Hochspannungsanlage

Wenn sich das Niederspannungsnetz nur innerhalb des Bereiches des Hochspannungsnetzes befindet, müssen beide Erdungsanlagen zusammengeschlossen werden, auch wenn dort kein globales Erdungssystem vorhanden ist.

6.1.3 Niederspannungsversorgung mit Zu-/Ableitung außerhalb der Hochspannungsanlage

Die Anforderungen werden vollständig erfüllt, wenn die Hochspannungs-Erdungsanlage Teil eines globalen Erdungssystems ist oder mit einem mehrfach geerdeter Neutralleiter des Hochspannungsnetzes in einem symmetrischen System verbunden ist. Wenn kein globales Erdungssystem vorliegt, müssen die Mindest-Anforderungen aus Tabelle 2 angewendet werden, um denjenigen Sachverhalt festzustellen, bei dem ein Zusammenschluss von Erdungsanlagen mit Niederspannungsversorgungen außerhalb der Hochspannungsanlage möglich ist.

Bei einer Trennung von Hochspannungs- und Niederspannungs-Erdungsanlagen muss durch die Verwendung von getrennten Erden gewährleistet sein, dass keine Gefahr für Personen oder Betriebsmittel in der Niederspannungsanlage auftreten kann. Das bedeutet, dass Schrittspannung, Berührungsspannung sowie Potentialverschleppung und Beanspruchungsspannung in der Niederspannungsanlage, die durch einen Hochspannungsfehler hervorgerufen werden, unter den entsprechenden Grenzwerten bleiben muss.

ANMERKUNG Für Anlagen mit einer Bemessungsspannung unter 50 kV wird in vielen Fällen ein kleinster Abstand von 20 m angewendet. Für bestimmte Erdbodenverhältnisse können größere Werte erforderlich sein.

6.1.4 Niederspannung in der Nähe von Hochspannungsanlagen

Niederspannungsanlagen, die sich im Einflussbereich von Hochspannungs-Erdungsanlagen befinden, sollten besonders beachtet werden.

Bei industriellen und gewerblichen Anlagen ist eine gemeinsame Erdungsanlage üblicherweise die einzige Lösung. Unter Berücksichtigung der unmittelbaren Nähe der Geräte ist es nicht möglich, die Erdungsanlagen zu trennen.

Tabelle 2 – Mindestanforderungen für den Zusammenschluss von Niederspannungs- und Hochspannungs-Erdungsanlagen basierend auf der Erdungsspannung (EPR)

Art des Niederspannungssystems ^{a, b}		Anforderungen zur Erdungsspannung (EPR)	
		Berührungsspannung	Beanspruchungsspannung ^c
			für $t_F \leq 5 \text{ s}$ für $t_F > 5 \text{ s}$
TT		nicht zutreffend	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$ $EPR \leq 250 \text{ V}$
TN		$EPR \leq F \cdot U_T^{d, e}$	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$ $EPR \leq 250 \text{ V}$
IT	Gleichmäßig verteilter PE-Leiter	wie im TN System	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$ $EPR \leq 250 \text{ V}$
	PE-Leiter nicht gleichmäßig verteilt	nicht zutreffend	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$ $EPR \leq 250 \text{ V}$
^a Definition der Arten der Niederspannungssysteme siehe HD 60364-1. ^b Für Telekommunikationsanlagen sollten die ITU-Richtlinien beachtet werden. ^c Der Grenzwert kann angehoben werden, wenn geeignete Niederspannungsgeräte eingebaut sind. ^d Wenn der PEN-Leiter oder Neutralleiter des Niederspannungssystems nur mit der Hochspannungs-Erdungsanlage verbunden ist, muss für F der Wert 1 sein. ^e U_T ist abgeleitet von Bild 4			
ANMERKUNG: Der typische Wert für F ist 2. Größere Werte für F können verwendet werden, wenn zusätzliche Verbindungen zwischen PEN-Leiter und Erde vorhanden sind. Bei bestimmten Bodenarten kann der Wert für F bis zu 5 betragen. Vorsicht ist geboten, wenn diese Regel bei Böden mit großen Unterschieden im spezifischem Widerstand und einer oberen Lage mit höherem spezifischem Widerstand angewendet wird. Die Berührungsspannung kann in diesem Fall 50 % der Erdungsspannung (EPR) überschreiten.			

6.2 Potentialverschleppung zu Telekommunikationsanlagen und anderen Systemen

Regeln für Fernmeldeanlagen in oder in der Nähe von Hochspannungserdungsanlagen gehören nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm. Bei Potentialverschleppung im Zusammenhang mit Fernmeldeanlagen sind die internationalen Bestimmungen (z. B. ITU-Empfehlung K33) zu berücksichtigen.

Auf in die Anlage eingeführte Kabel und isolierte metallene Rohrleitungen können bei Erdfehlern innerhalb der Anlage Spannungsdifferenzen einwirken.

Abhängig von der Behandlung des Kabelschirms und/oder der Kabelbewehrung (einseitige oder beidseitige Erdung) können beträchtliche Spannungsbeanspruchungen oder Ströme am Schirm und/oder der Bewehrung auftreten. Die Isolation zwischen Kabelmantel oder Rohr und dem umgebenden Erdreich muss entsprechend dimensioniert sein.

Die einseitige Erdung darf innerhalb oder außerhalb der Anlage erfolgen. Es ist dabei zu beachten, dass am anderen isolierten Ende Berührungsspannungen auftreten.

Wo es nötig ist, können Vorsichtsmaßnahmen angewendet werden, wie sie nachfolgend beispielhaft angegeben sind:

- Auftrennung der nach außen führenden Metallteile, dort, wo sie den Bereich der Erdungsanlage verlassen,
- Isolierung von leitfähigen Teilen oder Bereichen,
- Verwendung angemessener Abschränkungen, um ein Berühren leitfähiger Teile oder Bereiche zu verhindern,
- Einbau einer Isolierung zwischen Teilen, die an verschiedene Erdungsanlagen angeschlossen sind,

- Geeignete Potentialsteuerung,
- Spannungsbegrenzung durch geeignete Einrichtungen.

Wenn eine Hochspannungserdungsanlage Teil eines Globalen Erdungssystems ist, in dem definitionsgemäß keine gefährlichen Potentialunterschiede auftreten, können dennoch Probleme entstehen, wenn leitfähige Teile von isolierten Rohren, Kabeln usw., die mit ferner Erde verbunden sind, und geerdete leitfähige Teile der Hochspannungsanlage gleichzeitig berührt werden können.

Diese Einrichtungen sind deshalb in ausreichender Entfernung von den Bereichen anzuordnen, die durch die Erdungsanlage beeinflusst werden. Sofern dies nicht möglich ist, sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Ein allgemein gültiger Abstand kann nicht angegeben werden; der Grad der Gefährdung muss in jedem Einzelfall ermittelt werden.

7 Errichtung von Erdungsanlagen

7.1 Ausführung von Erdern und Erdungsleitern

Eine Erdungsanlage wird im Allgemeinen aus mehreren waagrecht, senkrecht oder schräg in die Erde eingegrabenen oder eingetriebenen Erdern zusammengestellt.

Die Verwendung von Chemikalien, um den spezifischen Erdwiderstand zu reduzieren, wird nicht empfohlen.

Oberflächenerder sollten vorzugsweise 0,5 m bis 1 m tief verlegt werden. Dies bietet ausreichenden mechanischen Schutz. Es wird empfohlen, den Erder unterhalb der Frostgrenze zu verlegen.

Bei Tiefenerdern liegt deren Anschluss üblicherweise unter der Erdoberfläche. Senkrecht oder schräg eingeschlagene Stäbe sind besonders dann von Vorteil, wenn mit der Tiefe der spezifische Erdwiderstand sinkt.

Metallkonstruktionen, die nach dieser Norm geerdet sind und die konstruktiv eine Einheit bilden, können als Erdungsleiter verwendet werden, um die Teile zu erden, die an diesen Konstruktionen direkt befestigt sind. Dazu müssen für die gesamte Konstruktion die leitenden Metallquerschnitte ausreichend, die Verbindungsstellen elektrisch leitend und mechanisch zuverlässig sein. Es ist sicherzustellen, dass durch den vorübergehenden Ausbau von Teilen der Konstruktion die Erdung anderer Teile nicht unterbrochen wird. Ausgedehnte Konstruktionen sind an einer ausreichenden Zahl von Punkten mit der Erdungsanlage zu verbinden.

Bei Errichtungsarbeiten im Bereich von vorhandenen Erdungsanlagen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um den Schutz von Personen bei Fehlerzuständen sicherzustellen.

Weitere Einzelheiten zur Ausführung von Erdungsanlagen können dem Anhang K entnommen werden.

7.2 Blitz und transiente Beanspruchungen

Blitzeinschlag und Schalthandlungen sind Quellen für hoch- und niederfrequente Ströme und Spannungen. Überspannungen treten typischerweise beim Schalten von langen Kabelstrecken, Trennerschaltungen in gasisolierten gekapselten Schaltanlagen oder Schalten von Kondensatorbänken auf. Eine erfolgreiche Dämpfung erfordert eine ausreichende Dichte der Erder am Einleitungspunkt, um die hochfrequenten Strömen beherrschen zu können, zusammen mit einer Erdungsanlage von ausreichender Ausdehnung, um die niederfrequenten Ströme zu bewältigen. Die Hochspannungs-Erdungsanlage muss Teil der Blitzschutzanlage sein und gegebenenfalls sind zusätzliche Erder am Einleitungspunkt vorzusehen.

Für besondere Fragestellungen im Zusammenhang mit dem transienten Verhalten der Erdungsanlage und ihrer Komponenten sind die maßgebenden Richtlinien aus dem Bereich der Elektromagnetischen Verträglichkeit und des Blitzschutzes heranzuziehen.

Wenn industrielle oder gewerbliche Anlagen mehr als ein Gebäude oder einen Standort umfassen, müssen die jeweiligen Erdungsanlagen zusammengeschlossen werden. Da während des Auftretens von Über-

spannungen, wie Blitzeinschlag, trotz Zusammenschluss große Potentialunterschiede zwischen den Erdungsanlagen einzelner Gebäude und Standorte auftreten, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um Schäden an empfindlichen Geräten zu vermeiden, die mit verschiedenen Gebäuden oder Standorten verbunden sind. Wenn möglich, sollten für den Austausch von Kleinsignalen zwischen solchen Standorten nicht-metallische Materialien, wie Glasfaserkabel, verwendet werden.

Im Anhang F sind Hinweise zur Auslegung und Ausführung von Erdungsanlagen enthalten, um hochfrequente Beeinflussungen zu vermindern.

7.3 Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen

Alle berührbaren, nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden Metallteile von elektrischen Betriebsmitteln (Körper), die Teil des elektrischen Netzes sind, müssen geerdet werden. In speziellen Fällen müssen isolierte Bereiche geschaffen werden.

Alle nicht zu elektrischen Betriebsmitteln gehörenden Metallteile sollten geerdet werden, sofern dies angemessen ist, z. B. aufgrund von Lichtbögen, kapazitiver und induktiver Kopplung.

Ausführliche Hinweise zur Erdung von Anlagenumzäunungen, Rohrleitungen, Anschlussgleisen usw. können dem Anhang G entnommen werden.

8 Messungen und Dokumentation

Messungen zum Nachweis, dass die Auslegung angemessen war, müssen, falls erforderlich, nach Fertigstellung durchgeführt werden. Messungen können die Bestimmung der Erdungsimpedanz, der Leerlauf Berührungs- und Schrittspannung an maßgebenden Punkten und, falls zutreffend, die Potentialverschleppung umfassen. Bei der Bestimmung von Schritt- und Berührungsspannungen durch Messung, z. B. Strominjektionstest, bestehen zwei Möglichkeiten. Entweder erfolgt die Messung der Leerlauf Schritt- und Berührungsspannung mit einem hochohmigen Voltmeter, oder es erfolgt die Messung der Schritt- und Berührungsspannung, die über einen Widerstand entsprechend dem Körperwiderstand abfällt. Einzelheiten sind in Anhang L und Anhang M enthalten.

9 Instandhaltbarkeit

9.1 Inspektion

Der Aufbau der Erdungsanlage muss so gestaltet sein, dass der Zustand der Teile der Erdungsanlage periodisch durch Kontrollen überprüft werden kann. Aufgrabungen an ausgewählten Stellen und visuelle Begutachtung sind geeignete Maßnahmen, die berücksichtigt werden müssen.

9.2 Messungen

Gestaltung und Errichtung der Erdungsanlage müssen Messungen ermöglichen, die periodisch, nach wesentlichen Änderungen der maßgebenden Parameter oder sogar kontinuierlich ausgeführt werden.

Anhang A (normativ)

Berechnungsverfahren für die höchste zulässige Berührungsspannung

Formel:

$$U_T = I_B(t_f) \times \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \times BF$$

Faktoren:

Berührungsspannung	U_T	
Fehlerdauer	t_f	
Zulässiger Körperstrom	$I_B(t_f)$	c2 in Bild 20 und Tabelle 11 aus IEC/TS 60479-1:2005 (Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern weniger als 5 %) I_B ist abhängig von der Fehlerdauer
Herzstromfaktor	HF	Tabelle 12 aus IEC/TS 60479-1:2005 das heißt: 1,0 für linke Hand zu beiden Füßen, 0,8 für rechte Hand zum Fuß, 0,4 für Hand zu Hand
Körperimpedanz	$Z_T(U_T)$	Tabelle 1 und Bild 3 aus IEC/TS 60479-1:2005 Z_T nicht überschritten von 50 % der Bevölkerung
	Z_T	ist abhängig von der Berührungsspannung. Daher muss die Berechnung zunächst mit einem abgeschätzten Wert beginnen
Korrekturfaktor für Körperimpedanz	BF	Bild 3 aus IEC/TS 60479-1:2005 das heißt: 0,75 für Hand zu beiden Füßen, 0,5 für beide Hände zum Fuß

ANMERKUNG Unterschiedliche Bedingungen der Berührungsspannung, z. B. linke Hand zum Fuß, Hand zu Hand, ergeben unterschiedliche zulässige Berührungsspannungen. Bild 4 dieser Norm beruht auf einem gewichteten Mittelwert, der sich aus verschiedenen Berührungsspannungskonfigurationen ergibt: Berührungsspannung linke Hand zum Fuß (gewichtet 1,0), Berührungsspannung beide Hände zum Fuß (gewichtet 1,0) und Berührungsspannung Hand zu Hand (gewichtet 0,7).

Bei besonderer Berücksichtigung von Zusatzwiderständen lautet die Formel:

$$U_T = I_B(t_f) \times \frac{1}{HF} \times (Z_T(U_T) \times BF + R_H + R_F)$$

Zusätzlicher Hand-Widerstand R_H

Zusätzlicher Fuß-Widerstand R_F

Anhang B (normativ)

Berührungsspannung und Körperstrom

B.1 Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom

Zur Berechnung von zulässigen Werten der Berührungsspannung in Hochspannungsanlagen werden folgende Annahmen gemacht:

- Stromweg über eine Hand und beide Füße,
- 50 % Wahrscheinlichkeit für den Wert der Körperimpedanz,
- 5 % Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Herzkammerflimmern,
- keine zusätzlichen Widerstände.

ANMERKUNG Diese Annahmen ergeben unter Berücksichtigung von Erfahrungen, besonders ausgebildetem Personal, vertretbaren Kosten usw. eine Berührungsspannungskurve mit einem Restrisiko, das bei Erdfehlern in einer Hochspannungsanlage akzeptiert werden kann.

Unter der Annahme, dass die Grundlage für Berechnungen im Zusammenhang mit Körperströmen die IEC/TS 60479-1:2005 ist, bei Berücksichtigung von Kurve c_2 in Bild 20 und Tabelle 11 der IEC/TS 60479-1:2005 (Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern kleiner als 5 % bei einem Stromweg linke Hand gegen beide Füße) als zulässige Grenze für den Strom, ergibt sich folgende Tabelle B.1:

Tabelle B.1 – Höchster zulässiger Körperstrom I_B in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F

Fehlerdauer s	Körperstrom mA
0,05	900
0,1	750
0,2	600
0,5	200
1	80
2	60
5	51
10	50

Um nun die zutreffenden zulässigen Berührungsspannungen zu erhalten, ist es erforderlich, die Gesamtkörperimpedanz zu bestimmen. Diese Impedanz ist abhängig von der Berührungsspannung und vom Stromweg; für den Stromweg Hand zu Hand oder Hand zu einem Fuß werden in IEC/TS 60479-1:2005 Werte angegeben, aus denen die nachfolgende Tabelle B.2 abgeleitet wurde (Wahrscheinlichkeit für die Körperimpedanz ≤ 50 %):

Tabelle B.2 – Gesamtkörperimpedanz Z_B in Abhängigkeit von der Berührungsspannung U_T für einen Stromweg Hand – Hand oder Hand – Fuß

Berührungsspannung V	Gesamtkörperimpedanz Ω
25	3 250
50	2 500
75	2 000
100	1 725
125	1 550
150	1 400
175	1 325
200	1 275
225	1 225
400	950
500	850
700	775
1 000	775

Wegen der Berücksichtigung eines Stromweges Hand gegen beide Füße muss ein Korrekturfaktor 0,75 für die Körperimpedanz verwendet werden (Bild 3 der IEC/TS 60479-1:2005). Bei Verknüpfung der beiden Tabellen und Berücksichtigung dieses Korrekturfaktors ist es mit einem Iterationsverfahren möglich, die Grenze für die Berührungsspannung für jede Fehlerdauer zu berechnen. Das Ergebnis in Bild 4 basiert auf dem gewichteten Durchschnitt (Anmerkung in Anhang A). In Tabelle B.1 sind Werte einiger Punkte der Kurve aus Bild 4 dargestellt.

Tabelle B.3 – Berechnete Werte der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F

Fehlerdauer t_F s	Zulässige Berührungsspannung U_{Tp} V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

B.2 Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände

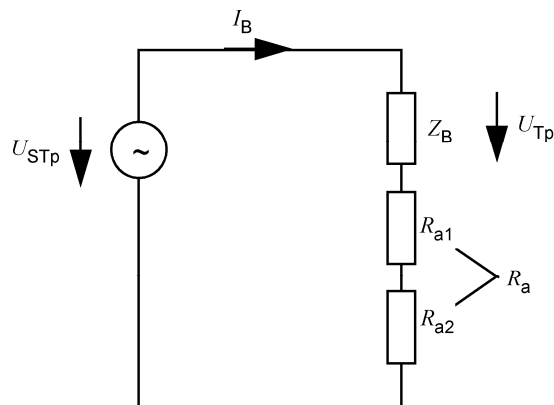
Tabelle B.4 – Annahmen für die Rechnungen mit zusätzlichen Widerständen

Art der Berührung	Linke Hand – beide Füße
Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Wert von Z_B nicht überschritten wird	50 %
Kurve $I_B = f(t_F)$	c_2 in Bild 20 von IEC/TS 60479-1:2005
Ersatzimpedanz des Stromkreises	$Z_B (50 \%) + R_a$
Zusatzwiderstand	$R_a = R_{a1} + R_{a2} = R_{a1} + 1,5 \text{ m}^{-1} \cdot \rho_s$
Legende: Siehe Bild B.1.	

Berechnungsweg:

$$\begin{aligned}
 &t_F \quad \text{Fehlerdauer} \\
 &\Downarrow \\
 &U_{Tp} = f(t_F) \quad \text{entsprechend B.1 (bzw. Bild 4)} \\
 &\Downarrow \\
 &Z_B = f(U_{Tp}) \quad \text{entsprechend B.1, Tabelle B.2} \\
 &I_B = \frac{U_{Tp}}{Z_B} \quad \text{lt. Definition} \\
 &\Downarrow \\
 &U_{STp}(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B \\
 &\quad = U_{Tp}(t_F) \cdot \left(1 + \frac{R_a}{Z_B}\right)
 \end{aligned}$$

In Bild B.2 werden Kurven $U_{STp} = f(t_F)$ für vier Werte von R_a dargestellt.



Legende zu Bild B.1 und Tabelle B.4

U_{STp}	Grenzwert der Potentialdifferenz, die im Berührungsstromkreis als Quellenspannung wirkt, durch den die Sicherheit einer Person sichergestellt ist, wenn bekannte zusätzliche Widerstände (z. B. Schuhe, hochohmiges Material am Standort) verwendet werden.
Z_B	Körperimpedanz
I_B	Strom, der durch den menschlichen Körper fließt
U_{Tp}	Zulässige Berührungsspannung (Spannung über den menschlichen Körper)
R_a	Zusätzlicher Widerstand ($R_a = R_{a1} + R_{a2}$)
R_{a1}	z. B. Widerstand der Schuhe
R_{a2}	Ausbreitungswiderstand des Standortes
ρ_s	Spezifischer Erdwiderstand an der Oberfläche in einer Anlage (in Ωm)
t_F	Fehlerdauer

Bild B.1 – Ersatzschaltbild des Berührungsstromkreises