

	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

Einsprüche bis 2022-02-10

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN EN 50522
(VDE 0101-2):2011-11

Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche und Englische Fassung prEN 50522:2021

Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.;
German and English version prEN 50522:2021

Prises de terre des installations électriques en courant alternatif
de puissance supérieure à 1 kV;
Version allemande et anglaise prEN 50522:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-12-10 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 150 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 50522:2021-03 "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 der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der prEN 50522:2021-03 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument prEN 50522:2021-03 "Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c." wurde vom CLC/TC 99X "Power installations exceeding 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" FprEN nur 8 Wochen beträgt und zum "Schluss-Entwurf" FprEN 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 dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 222 "Errichten von Starkstromanlagen über 1 kV und deren Erdung" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2011-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) komplette Überarbeitung des Dokuments;
- b) Anpassungen in allen Abschnitten;
- c) Aufnahme eines neuen Anhangs M;
- d) Aufnahme der Literaturhinweise.

Deutsche Fassung

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 Entwurf für eine Europäische Norm wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.
CENELEC Termin: 2021-06-11.

Er wurde von CLC/TC 99X erstellt.

Wenn aus diesem 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 Entwurf für eine Europäische Norm 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 CEN-CENELEC Management Centre 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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

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.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	9
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	11
4 Grundlegende Anforderungen.....	19
4.1 Allgemeine Anforderungen	19
4.2 Elektrische Anforderungen	19
4.2.1 Arten der Sternpunktbehandlung	19
4.2.2 Kurzschlussstrom	19
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
5.2.1 Erder	20
5.2.2 Erdungsleiter	20
5.2.3 Potentialausgleichsleiter.....	21
5.3 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung	21
5.3.1 Allgemeines	21
5.3.2 Strombelastbarkeit.....	21
5.4 Bemessung im Hinblick auf Berührungsspannungen	23
5.4.1 Zulässige Werte.....	23
5.4.2 Maßnahmen zur Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen	24
5.4.3 Auslegungsverfahren.....	25
6 Maßnahmen zur Vermeidung von Potentialverschleppung	28
6.1 Potentialverschleppung von Hochspannungsanlagen zu Niederspannungsanlagen	28
6.1.1 Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannung.....	28
6.1.2 Niederspannungsversorgung nur innerhalb der Hochspannungsanlage.....	28
6.1.3 Niederspannungsversorgung mit Zu-/Ableitung außerhalb der Hochspannungsanlage	28
6.1.4 Niederspannung in der Nähe von Hochspannungsanlagen.....	28
6.2 Potentialverschleppung zu Telekommunikationsanlagen und anderen Systemen.....	29
7 Errichtung von Erdungsanlagen	30
7.1 Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	30
7.2 Blitz und transiente Beanspruchungen.....	30
7.3 Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen	31
8 Messungen	31
9 Instandhaltbarkeit	31
9.1 Inspektion	31

9.2	Messungen	31
10	Inspektion und Dokumentation von Erdungsanlagen	31
Anhang A (normativ)	Verfahren zur Berechnung von zulässigen Berührungsspannungen	32
A.1	Verfahren zur Berechnung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp}	32
A.2	Verfahren zur Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{VTp}	33
A.3	Verfahren zur Berechnung der zulässigen Schrittspannungen	33
Anhang B (normativ)	Berechnung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} , zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{VTp}	35
B.1	Allgemeines	35
B.2	Berechnung der zulässigen Berührungsspannung	35
B.3	Berechnung der Werte der zulässigen Berührungsspannung (U_{Tp}) für das Diagramm in Bild 8	35
B.4	Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung	38
Anhang C (normativ)	Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen	40
Anhang D (normativ)	Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern oder Erdern	42
Anhang E (normativ)	Beschreibung der anerkannten festgelegten Maßnahmen M	47
Anhang F (normativ)	Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung der Auswirkungen von Hochfrequenzstörungen	49
Anhang G (normativ)	Spezielle Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen	50
G.1	Anlagenumzäunungen	50
G.2	Rohrleitungen	51
G.3	Anschlussgleise	51
G.4	Maststationen und/oder Mastschalter	51
G.5	Sekundärstromkreise von Messwandlern	52
Anhang H (normativ)	Messung von Berührungsspannungen	53
Anhang I (informativ)	Reduktionsfaktoren von Erdseilen bei Freileitungen und metallenen Schirmen bei Kabeln	54
I.1	Allgemeines	54
I.2	Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz)	54
I.3	Einfluss der Stationsausbreitungswiderstände auf den Strom im Kabelschirm	55
Anhang J (informativ)	Grundlagen für die Ausführung von Erdungsanlagen	57
Anhang K (informativ)	Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	61
K.1	Ausführung von Erdern	61
K.1.1	Oberflächenerder	61
K.1.2	Senkrechte oder schräg eingetriebene Tiefenerder	61
K.1.3	Verbinden der Erder	61
K.2	Ausführung der Erdungsleiter	61
K.2.1	Allgemeines	61
K.2.2	Einbau der Erdungsleiter	61
K.2.3	Verbinden der Erdungsleiter	62

Anhang L (informativ) Messungen für und an Erdungsanlagen	63
L.1 Messung und Analyse von spezifischen Erdwiderständen	63
L.1.1 Einleitung	63
L.1.2 Messung des spezifischen Erdwiderstandes	63
L.1.3 Auswertung des gemessenen spezifischen Erdwiderstandes	64
L.2 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	65
L.3 Bestimmung der Erdungsspannung	67
L.4 Messung von Berührungsspannungen und Leerlauf-Berührungsspannungen.....	68
L.5 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen.....	72
Anhang M (informativ) Die Verwendung von Bewehrungsstählen in Beton für Erdungszwecke	73
Anhang N (informativ) Globales Erdungssystem.....	74
Anhang O (normativ) Besondere Nationale Bedingungen	75
Anhang P (informativ) A-Abweichungen.....	76
Literaturhinweise.....	78

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 50522:2021) wurde vom CLC/TC 99X „Starkstromanlagen über 1 kV ac (1,5 kV dc)“ erarbeitet.

Dieses Dokument wird derzeit zur Umfrage vorgelegt.

Nachstehende Daten wurden vorgeschlagen:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): dor + 6 Monate
- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): dor + 12 Monate
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): dor + 36 Monate
(bei einer Abstimmung zu bestätigen oder zu ändern)

Dieses Dokument wird EN 50522:2010 und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden) ersetzen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anwendbar zur Festlegung von Anforderungen für die Projektierung und Errichtung von Erdungsanlagen für Starkstromanlagen in Netzen mit Nennwechselspannungen über 1 kV AC und einer Nennfrequenz bis einschließlich 60 Hz, um damit eine sichere und störungsfreie Funktion im bestimmungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.

ANMERKUNG 1 Die technischen Prinzipien und Verfahren dieses Standards können auch Anwendung finden, wenn in unmittelbarer Nähe der Starkstromanlagen weitere Anlagen und Installationen geplant und/oder errichtet werden.

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

- a) Schalt- und Umspannanlagen, einschließlich Schaltanlagen zur Speisung von Bahnanlagen;
- b) elektrische Starkstromanlagen 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.
- e) elektrische Starkstromanlagen auf Offshore-Plattformen mit der Aufgabe der Erzeugung, der Übertragung, der Verteilung und/oder der Speicherung von elektrischer Energie.
- f) Übergangsmaste zwischen Freileitungs- und Kabelstrecken

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 2 Grundsätzlich haben Festlegungen von Betriebsmittelnormen Vorrang vor dieser Norm.

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

- Freileitungen und Kabel zwischen getrennten Anlagen;

ANMERKUNG 3 Die Normenreihe EN 50341, Freileitungen über 1 kV AC, spezifiziert die Anforderungen an Planung und Errichtung der Erdungsanlagen von Freileitungen.

- elektrifizierte Bahnstrecken und Fahrzeuge;
- Bergwerksausrüstungen und -anlagen;
- Leuchtröhrenanlagen;

- Anlagen auf Schiffen und Offshore-Plattformen;
- elektrostatischen Einrichtungen (z. B. Elektrofilter, Pulverbeschichtungsanlagen);
- Prüffeldern;
- medizinischen Einrichtungen, zum Beispiel medizinischen Röntgeneinrichtungen.

ANMERKUNG 4 Der Anwendungsbereich dieses Standards gilt nicht für die Anforderungen zur Durchführung von Arbeiten unter Spannung an elektrischen Starkstromanlagen.

ANMERKUNG 5 Anwendungsbereich dieses Standards umfasst die Sicherheitsanforderungen an Hochspannungsanlagen und ihre Wirkung auf Niederspannungsanlagen. Für elektrische Installationen bis zu 1 kV ist die Normenreihe IEC 60364 maßgebend.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 60909 (alle Teile), *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen (Reihe IEC 60909)*

EN 60909-3:2010, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Teil 3: Ströme bei Doppelerdkurzschluss und Teilkurzschlussströme über (IEC 60909-3:2009)*

EN IEC 62561-2, *Blitzschutzsystembauteile (LPSC) – Teil 2: Anforderungen an Leiter und Erder (IEC 62561-2)*

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

IEC 60479-1:2018, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 61936-1:2010, *Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61936-1:2010 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Ringerder

im Boden liegender Erder, der ein Gebäude oder einen Mast als geschlossener Ring umgibt

3.2

effektive Berührungsspannung

Berührungsspannung

U_T

Spannung zwischen leitfähigen Teilen, wenn diese gleichzeitig berührt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert der Berührungsspannung kann durch die Impedanz des mit diesem leitfähigen Teil im elektrischen Kontakt stehenden Menschen erheblich beeinflusst werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Person berührt das leitfähige Teil mit blanker Haut.

[QUELLE: IEC 60050-195:1998, 195-05-11, modifiziert]

[QUELLE: IEC 61936-1:2010, 3.7.4, modifiziert – Anmerkung 2 hinzugefügt]

3.3 zulässige Berührungsspannung

U_{Tp}

Grenzwert für die Berührungsspannung U_T

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 8.

3.4 Leerlauf-Berührungsspannung

U_{vT}

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

[QUELLE: IEC 60050-195:1998, 195-05-09, modifiziert]

[QUELLE: IEC 61936-1:2010, 3.7.15, modifiziert – Anmerkung hinzugefügt]

3.5 zulässige Leerlauf-Berührungsspannung

U_{vTp}

Grenzwert für die Leerlauf-Berührungsspannung U_{vT}

3.6 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

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

[QUELLE: IEC 61936-1:2010, 3.7.17, modifiziert – Bezug zum Bild 1 hinzugefügt]

3.7 globales Erdungssystem

ein durch die Verbindung von örtlichen Erdungsanlagen hergestelltes Erdungssystem, das sicherstellt, dass durch den geringen gegenseitigen Abstand dieser Erdungsanlagen keine Berührungsspannungen auftreten, die die zulässigen Berührungsspannungswerte überschreiten.

Anmerkung 1 zum Begriff: 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 2 zum Begriff: Das Bestehen eines globalen Erdungssystems kann durch Muster-Messungen oder Berechnungen für typische Anordnungen nachgewiesen werden. Typische Beispiele für globale Erdungssysteme sind Stadtzentren, städtische oder industrielle Bereiche mit verteilten Nieder- und Hochspannungserdungen (siehe Anhang N).

[QUELLE: IEC 61936-1:2010, 3.7.19, modifiziert – Referenz zum Anhang in Anmerkung 2 hinzugefügt]

3.8 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

[QUELLE: IEC 601-02-24, modifiziert]

3.9

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 1 zum Begriff: Im Fall von nicht selbstverlöschenden Erdschlüssen sind zwei verschiedene Verfahren gebräuchlich:

- automatische Unterbrechung
- unterbrechungsfreier Betrieb während der Fehlerortung

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

- Kurzzeit-Erdung zur Fehlererfassung
- Kurzzeit-Erdung zur Abschaltung
- Betriebliche Maßnahmen, z. B. Trennen von gekuppelten Sammelschienen
- Phasenerdung

Anmerkung 2 zum Begriff: Erdschlusslöschspulen können einen hohen ohmschen Widerstand parallelgeschaltet haben, um die Fehlersuche zu erleichtern.

3.10

Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung

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

[QUELLE: IEC 601-02-25, 601-02-26]

3.11

Erdfehlerstrom

I_F

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bilder 2 bis 7](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das ist bei einpoligen Erdfehlern:

- in Netzen mit isoliertem Sternpunkt der kapazitive Erdschlussstrom
- in Netzen mit hochohmiger Sternpunktterdung der ohmsch-kapazitive Erdschlussstrom
- in Netzen mit Erdschlusskompensation der Erdschlussreststrom
- in Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung der Anfangskurzschlusswechselstrom

Anmerkung 3 zum Begriff: Darüber hinaus kann ein Erdfehlerstrom durch Doppelerdschluss und zweiphasigen Kurzschluss mit Erdberührung entstehen.

[QUELLE: IEC 61936-1:2010, 3.7.25, modifiziert – Referenz zu den Bildern hinzugefügt]

3.12

Erdungsstrom

I_E

Strom, der über die Erdungsimpedanz in die Erde fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 2](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Erdungsstrom ist der Teil des Erdfehlerstromes I_F , durch den die Potentialanhebung der Erdungsanlage verursacht wird. Zur Bestimmung von I_E siehe auch [Anhang L](#).

3.13

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

3.14

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

3.15

Kabel mit Erderwirkung

Kabel, deren Mäntel, Schirme oder Bewehrungen die gleiche Wirkung haben wie ein horizontaler, blanker und runder Banderder

3.16

Fundamenterder

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

[QUELLE: IEC 826-13-08, modifiziert]

3.17

Potentialsteuererder

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

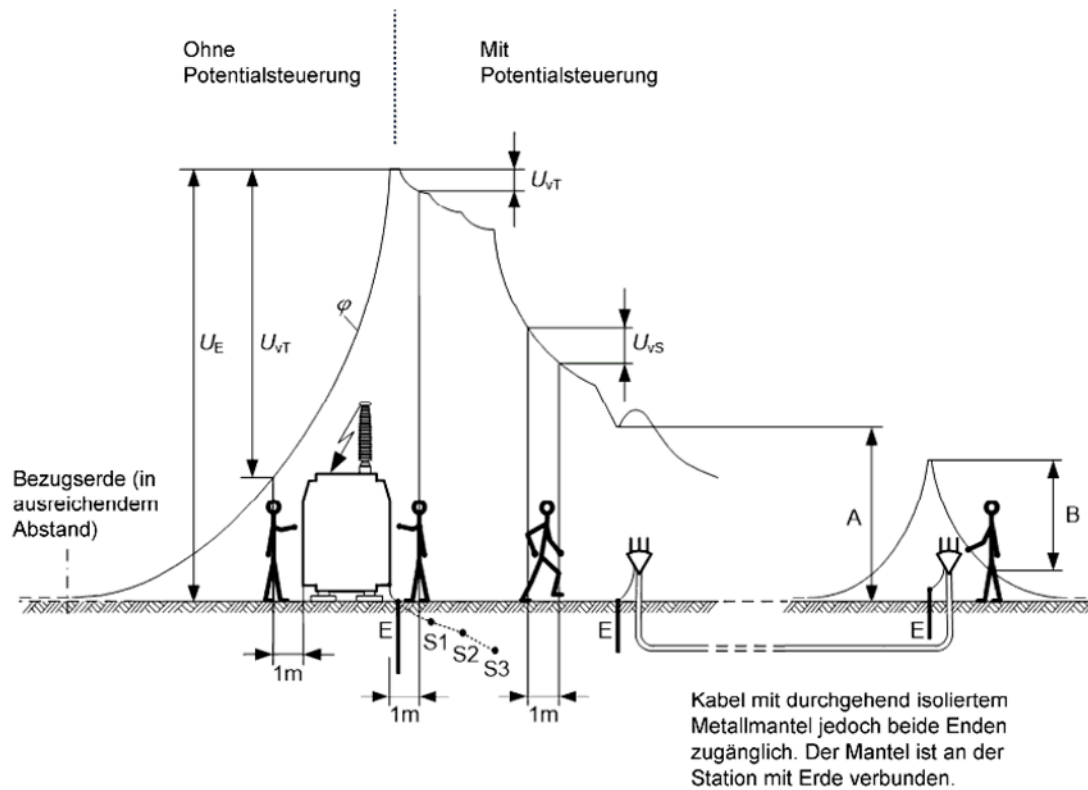
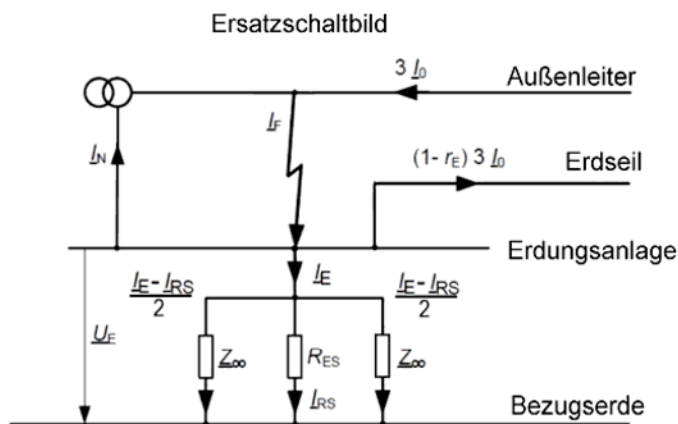
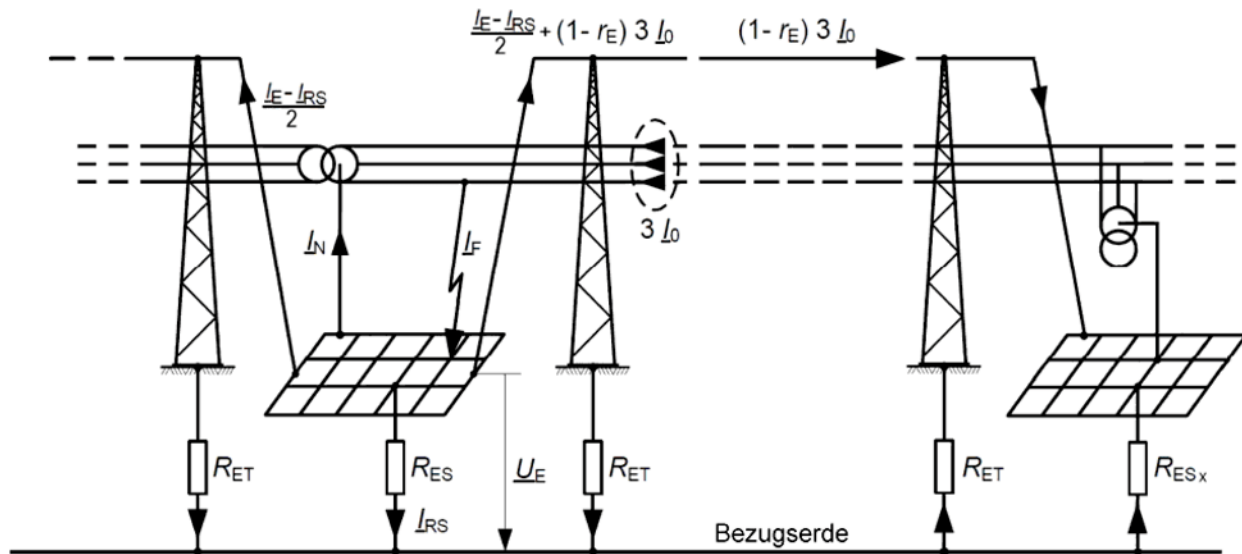


Bild 1 – Beispiel für den Verlauf des Erdoberflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenem Erder



$$I_F = 3 I_0 + I_N$$

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

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

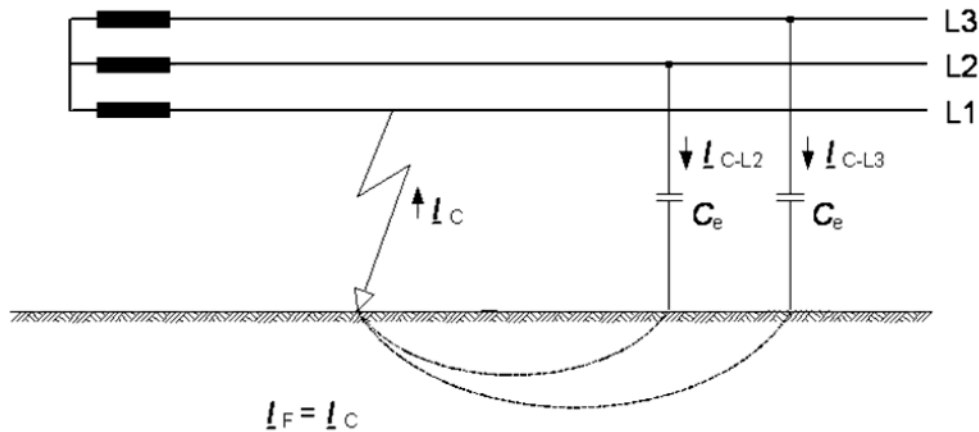
$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + n \frac{1}{Z_{\infty}}}$$

Für gleiche Kettenleiter-Impedanzen der angeschlossenen Freileitungen

Legende

- $3I_0$ 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}, R_{ESx} Ausbreitungswiderstand des Maschenerders
- R_{ET} Ausbreitungswiderstand des Mastes
- Z_{∞} Kettenleiterimpedanz (eine gewisse Anzahl von Masten mit ihrem Ausbreitungswiderstand R_{ET} über das Erdseil verbunden) stellt den Wert einer als unendlich lang angenommen Freileitung dar
- Z_E Erdungsimpedanz
- U_E Erdungsspannung
- n Anzahl der aus der Anlage führenden Freileitungen (hier: $n = 2$)

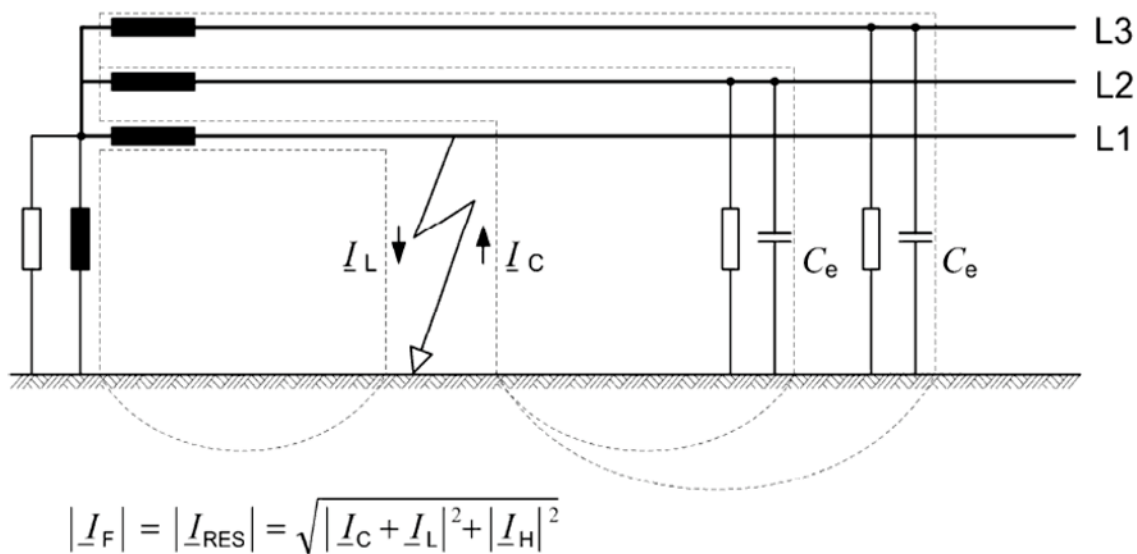
Bild 2 – Beispiel für Ströme, Spannungen und Widerstände bei einem Erdfehler in einer Umspannanlage mit niederohmiger Sternpunktterdung



Legende

- I_F Erdfehlerstrom
- I_C Kapazitiver Erdfehlerstrom (komplexer Wert, einschließlich ohmscher Anteil)
- I_C kann einen ohmschen Anteil enthalten

Bild 3 – Erdfehlerstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt

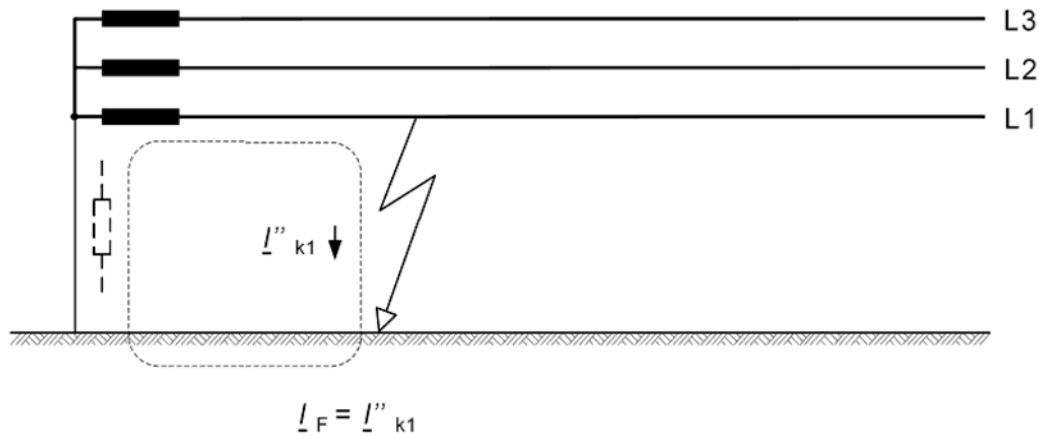


Legende

- I_F Erdfehlerstrom
- I_C Kapazitiver Erdfehlerstrom (komplexer Wert, einschließlich ohmscher Anteil)
- I_L Summe der parallelen Erdschlusskompensationsspulen (komplexer Wert, enthält ohmschen Anteil)
- I_H Harmonischer Anteil (verschiedene Frequenzen)
- I_{RES} Erdschlussreststrom

ANMERKUNG I_R ist der ohmsche Anteil des komplexen Wertes von $(I_C + I_L)$.

Bild 4 – Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlusskompensation



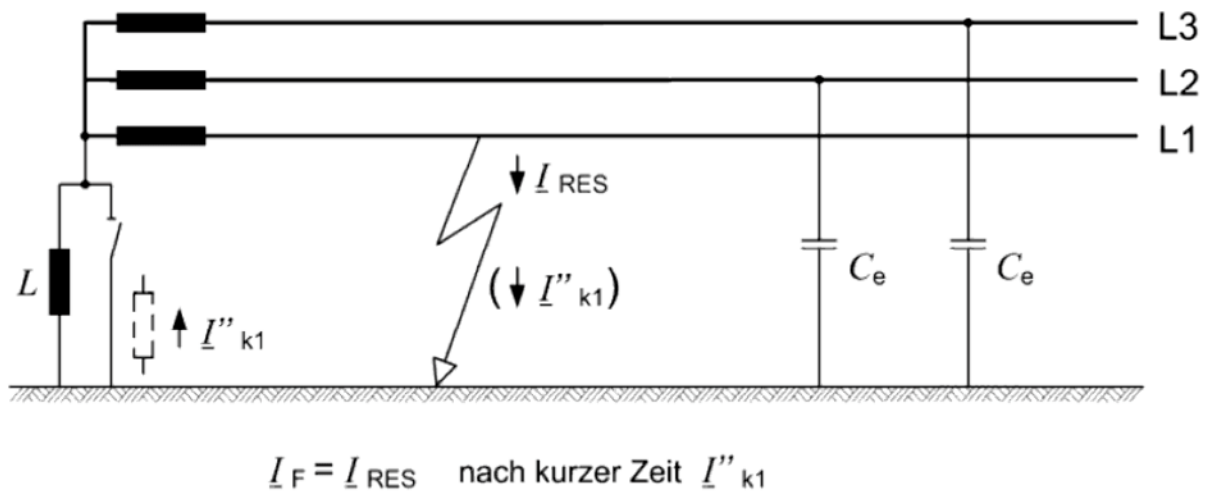
Legende

I_F Erdfehlerstrom

I''_{k1} Anfangs-Kurzschlusswechselstrom für einen Leiter-Erde-Kurzschluss

Wenn I_C in der gleichen Größenordnung wie I''_{k1} ist, muss dieser Strom zusätzlich berücksichtigt werden

Bild 5 – Erdfehlerstrom in einem Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung



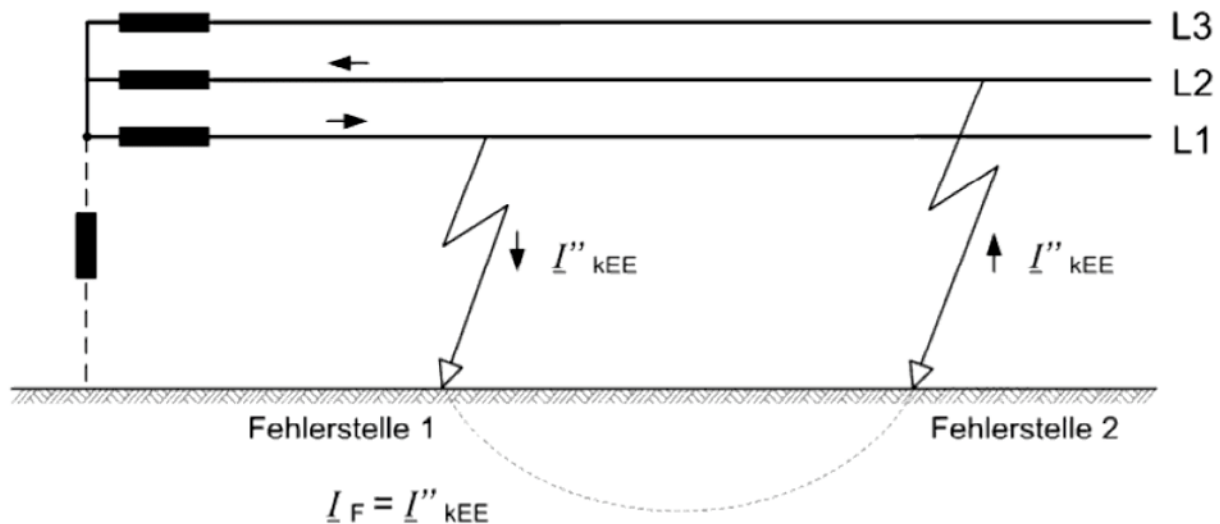
Legende

I_F Erdfehlerstrom

I_{RES} Erdschlussreststrom

I''_{k1} Anfangs-Kurzschlusswechselstrom für einen Leiter-Erde-Kurzschluss

Bild 6 – Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlusskompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung (Kurzzeit-Erdung)



Legende

I_F Erdfehlerstrom

I''_{kEE} Doppelerdschlussstrom

Bild 7 – Doppelerdschlussstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlusskompensation

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, sichergestellt ist. Der Abschnitt enthält auch die Anforderungen, mit denen die Funktionsfähigkeit von Betriebsmitteln, die an die Erdungsanlage angeschlossen sind oder sich in deren Nähe befinden, aufrechterhalten wird.

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 4.1.1 Absätze 1 und 2 sind anzuwenden.

4.2 Elektrische Anforderungen

4.2.1 Arten der Sternpunktbehandlung

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 4.2.1 sind anzuwenden.

4.2.2 Kurzschlussstrom

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 4.2.4 Absätze 1, 2, 3, 4, 5 und Anmerkung 1 sind anzuwenden.

Die Bemessungsdauer sollte unter Berücksichtigung der Zeit der Kurzschlussabschaltung nach IEC 448-13-15 bestimmt werden.

4.3 Sicherheitskriterien

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.1 Absätze 1 und 2 sind anzuwenden.

Für die Anlagenplanung ist die Kurve in Bild 8 nach dem im Anhang A und Anhang B festgelegten Verfahren berechnet.

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.1 Anmerkung sind anzuwenden.

Die Kurve in Bild 8, welche die zulässige Berührungsspannung darstellt, muss verwendet werden.

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.1 Absatz 5 sind anzuwenden.

Siehe A.3

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 Berührungsspannungen zu verhindern die die zulässigen Berührungsspannungswerte überschreiten.

4.4 Funktionale Anforderungen

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.2 Absätze 1, 2, 3 und 4 sind anzuwenden.

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

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.2 Absatz 5 sind anzuwenden.

5 Auslegung von Erdungsanlagen

5.1 Allgemeines

Für die Bemessung der Erdungsanlage sind folgende Parameter von Bedeutung:

- Höhe des Fehlerstromes;
- Fehlerdauer;
- Beschaffenheit der Erde.

ANMERKUNG Die Höhe des Fehlerstromes und die Fehlerdauer hängen im Wesentlichen von der Art der Sternpunktbehandlung des Hochspannungssystems ab

5.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung

5.2.1 Erder

Erder, die mit Erde in direktem Kontakt stehen, müssen aus Werkstoffen bestehen, die korrosionsbeständig sind (chemische oder biologische Einwirkungen, Oxidation, Bildung eines elektrolytischen Elementes, Elektrolyse usw.). Sie müssen den mechanischen Beanspruchungen standhalten, die während ihrer Montage sowie während des bestimmungsgemäßen Betriebes auftreten. 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 in der Tabelle C.1 im Anhang C angegeben sind. Wenn ein anderer Werkstoff verwendet wird, muss dieser Werkstoff den funktionalen Anforderungen entsprechen.

5.2.2 Erdungsleiter

Aus Gründen der mechanischen Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit betragen die Mindestquerschnitte:

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

5.2.3 Potentialausgleichsleiter

Es wird empfohlen, die Bemessung von Potentialausgleichsleitern nach 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 sind die im störungsfreien Betrieb auftretenden Nullströme für die Bemessung der betreffenden Erdungsanlage zu berücksichtigen.

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

In der Erdungsanlage teilt sich der Fehlerstrom häufig auf; es ist deshalb zulässig, jeden Erder und Erdungsleiter nur für einen Teil des Fehlerstromes 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](#) 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.

Die Strombelastbarkeit der verwendeten Verbindungen z. B. geschraubte Verbindungen ist als Funktion der Dauer des Kurzschlussstromes und der Stromgröße zu berücksichtigen (z. B. 4 kA (50 Hz) / 1 s / 300 °C).

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				
		I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \times I_C^b$
Netze mit Erdschlusskompensation einschließlich Kurzzeit-Erdung zur Fehlerortung				
	In Anlagen ohne Erdschlussspule ^f	I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \times I_{RES}^b$
	In Anlagen mit Erdschlussspule	I''_{kEE}	I''_{kEE}^c	$I_E = r \times \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}^{b h}$
Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung einschließlich Kurzzeit-Erdung zur Abschaltung ^g				
	Anlagen ohne Sternpunktterdung	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \times I''_{k1}$
	Anlage mit Sternpunktterdung	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \times (I''_{k1} - I_N)^d$
Legende				
I_C Berechneter oder gemessener kapazitiver Erdschlussstrom.				
I_{RES} Erdschlussreststrom (siehe Bild 4). 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 der Reihe EN 60909 (für I''_{kEE} dürfen 85 % des dreipoligen Anfangskurzschlusswechselstromes als Höchstwert verwendet werden).				
I''_{k1} Anfangskurzschlusswechselstrom für einen einpoligen Erdkurzschluss, berechnet nach der Reihe EN 60909.				
I_E Erdungsstrom (siehe Bild 2).				
I_N Strom über den Transformator-Sternpunkt (siehe Bild 2)				
r Reduktionsfaktor (siehe Anhang I).				
Wenn die aus der Anlage abgehenden Leitungen und Kabel unterschiedliche Reduktionsfaktoren haben, ist der maßgebende Strom zu bestimmen (nach Anhang L).				
^a Sind mehrere Stromflusswege möglich, darf die sich ergebende Stromverteilung für die Auslegung des Erdernetzes berücksichtigt werden.				
^b Wenn eine automatische Abschaltung von Erdschlüssen nicht vorgesehen ist, ist die Notwendigkeit zur Berücksichtigung von Doppelerdschlüssen abhängig von den Betriebserfahrungen.				
^c Erdungsleiter an Erdschlussspulen sind nach dem größten Strom 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 kann die generelle Annahme von 10 % I_C nicht verwendet werden. Die Blindkomponente des Erdschlussreststromes ist zusätzlich zu berücksichtigen.				
^g Die Kurzzeit-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.				

5.4 Bemessung im Hinblick auf Berührungsspannungen

5.4.1 Zulässige Werte

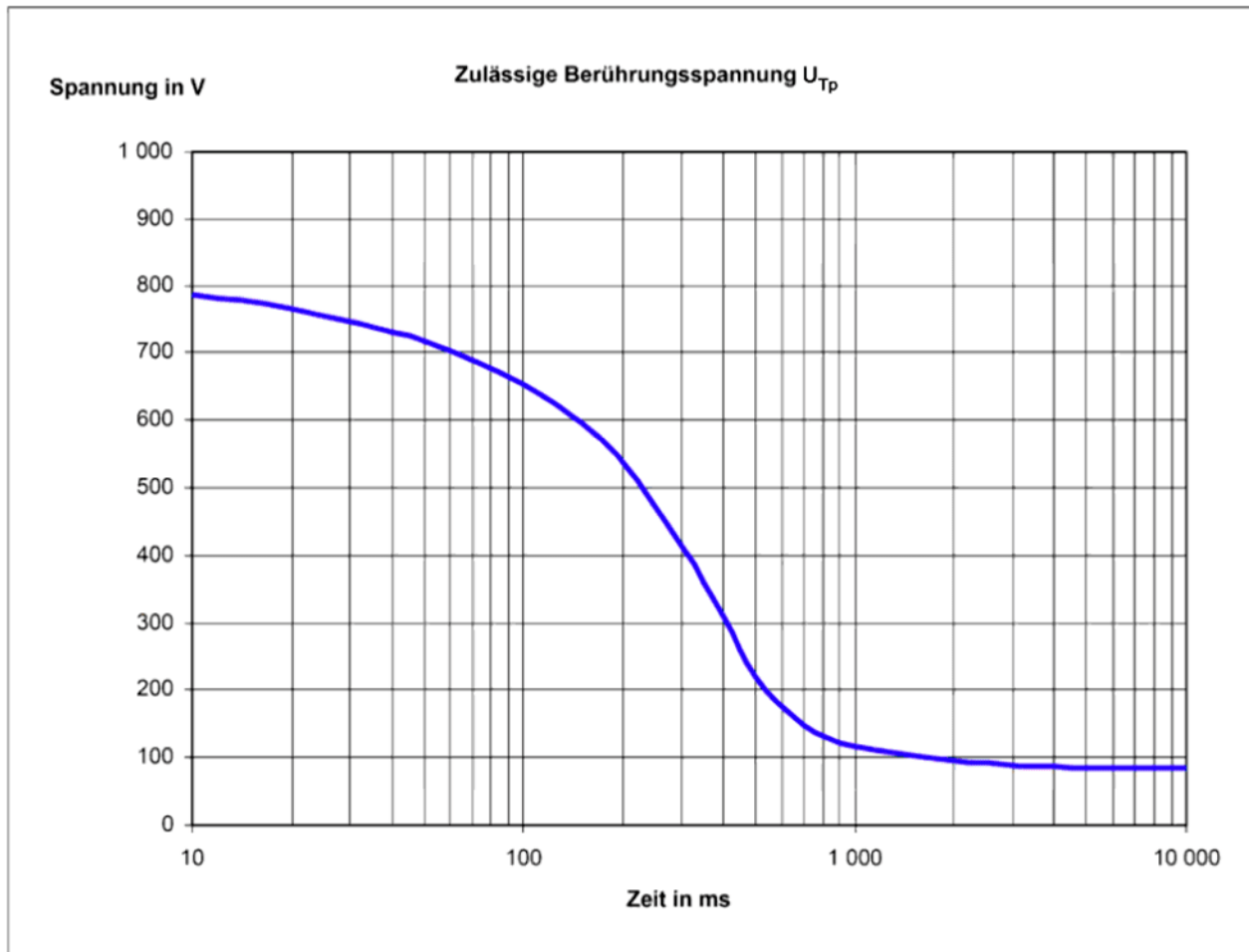
Der Grenzwert für die Berührungsspannung (U_T) ist die zulässige Berührungsspannung (U_{Tp}). Diese wird im [Bild 8](#) basierend auf den Sicherheitskriterien aus [4.3](#) angegeben. [Bild 8](#) gibt die Grenzwerte der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer an.

Grenzwerte für Schrittspannungen können nach [A.3](#) bestimmt werden. Diese werden aber nur in außergewöhnlichen Fällen benötigt.

Jede Spannung über den menschlichen Körper (blanke Haut zu blanker Haut) bei gleichzeitigem Berühren von zwei leitfähigen Teilen muss kleiner oder gleich sein als der Wert nach [Bild 8](#).

Die Werte im [Bild 8](#) beziehen sich auf den blanken Hand-zu-Hand oder Hand-zu-Füße Kontakt (unmittelbarer Hautkontakt). Es ist zulässig mit den Berechnungsverfahren nach [Anhang A](#) und [Anhang B](#) zusätzliche Übergangswiderstände z. B. Schuhwerk, Handschuhe oder hochohmiges Oberflächenmaterial zu berücksichtigen.

Jeder Erdschluss wird automatisch oder von Hand abgeschaltet. Demnach treten als Folge von Erdfehlern keine Berührungsspannungen mit sehr langer oder zeitlich unbegrenzter Dauer auf.



[QUELLE: IEC 61936-1:2010, Bild 12]

Für eine Stromflussdauer beträchtlich länger als 10 s kann als zulässige Berührungsspannung U_{Tp} ein Wert von 80 V verwendet werden.

Bild 8 – Zulässige Berührungsspannung

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 8 zu verwenden. Diese Anforderung bezüglich der Berührungsspannungen wird als erfüllt angesehen, wenn

- C1: Die betreffende Anlage ist Teil eines Globalen Erdungssystems.
- C2: C1 ist nicht erfüllt und die Erdungsspannung, ermittelt durch Messung oder Berechnung, überschreitet nicht den zweifachen Wert der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} nach Bild 8.
- C3: C2 ist nicht erfüllt und die Erdungsspannung, ermittelt durch Messung oder Berechnung, überschreitet nicht den vierfachen Wert der zulässigen Berührungsspannung nach Bild 8 und die zutreffenden anerkannten festgelegten Maßnahmen M in Abhängigkeit von der Höhe der Erdungsspannung und der Fehlerdauer werden durchgeführt. Diese Maßnahmen sind in der [Tabelle E.1](#) im [Anhang E](#) beschrieben.
- C4: Wenn C3 ist nicht erfüllt ist, muss das Kriterium der Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} nach Bild 8 durch Rechnung und/oder Messung der Berührungsspannung (U_T) nachgewiesen werden.

Zusätzliche Übergangswiderstände können dabei zur Ermittlung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung (U_{VTp}), wie im [Anhang A](#) und [Anhang B](#) angegeben, berücksichtigt werden. Die Werte sind durch Berechnung und/oder Messung der Leerlauf-Berührungsspannung U_{VT} zu bestätigen. Allgemein gilt, dass der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen (U_{Tp} oder U_{VTp}) durch Messungen erfolgt. Wenn die Anforderungen für U_T oder U_{VT} immer noch nicht eingehalten werden muss eine Überarbeitung der Planung erfolgen und die Schritte C2 bis C4 müssen erneut durchlaufen werden.

Der Auslegungsablauf mit den Schritten C2 bis C4 ist als Flussdiagramm im [Bild 9](#) dargestellt.

Alternativ dazu darf eine typgeprüfte Ausführung angewendet werden, die sicherstellt, dass alle Anforderungen nach [5.4.1](#) erfüllt sind.

ANMERKUNG 1 Beispiele für hohen Erdungsspannungen, bei denen die Berücksichtigung von Schrittspannungen erforderlich sein kann, sind Erdungsanlagen mit z. B. $U_E > 20 \times U_{Tp}$

ANMERKUNG 2 Als Alternative zur Anwendung der Voraussetzungen C 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.

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 ist [Abschnitt 8](#) (unter Berücksichtigung von [Anhang H](#) und [Anhang L](#)) zu beachten.

5.4.3 Auslegungsverfahren

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.3.1 Absatz 1](#) Unterpunkte a) – f) sind anzuwenden.

- g) Bestimmung der Erdungsspannung U_E , siehe [Bild 1](#);
- h) Bestimmung der zulässigen Berührungsspannung in Abhängigkeit von der maßgebenden Fehlerdauer aus [Bild 8](#).
- i) Die Auslegung ist abgeschlossen, wenn die Erdungsspannung U_E kleiner als die zulässige Berührungsspannung ist und die Anforderungen der [Tabelle 2](#) erfüllt sind.

Die Auslegung ist auch abgeschlossen, wenn die Erdungsspannung U_E kleiner als $2 U_{Tp}$ nach [5.4.2](#) ist und die Anforderungen der [Tabelle 2](#) erfüllt sind.

Die Auslegung ist auch abgeschlossen, wenn die Erdungsspannung U_E kleiner als $4 U_{Tp}$ nach [5.4.2](#) ist, die anerkannten Maßnahmen M angewendet und die Anforderungen der [Tabelle 2](#) erfüllt sind.

E DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2022-01
prEN 50522:2021

Die Anforderungen der **IEC 61936-1:2010, 10.3.1** Absatz 1 Unterpunkt j) ist anzuwenden

ANMERKUNG 1 Siehe Berechnungsmethoden im **Anhang A** und **B**.

Die Anforderungen der **IEC 61936-1:2010, 10.3.1** Absatz 1 Unterpunkte k) – l) sind anzuwenden

Bezüglich der Potentialverschleppung in Niederspannungssystemen ist **Tabelle 2** zu berücksichtigen.

Die Anforderungen der **IEC 61936-1:2010, 10.3.1** Absatz 1 Unterpunkt m) ist anzuwenden

Die Anforderungen der **IEC 61936-1:2010, 10.3.1** Absatz 2 sind anzuwenden

Die Anforderungen der **IEC 61936-1:2010, 10.3.1** Absätze 4 und 5 sind anzuwenden

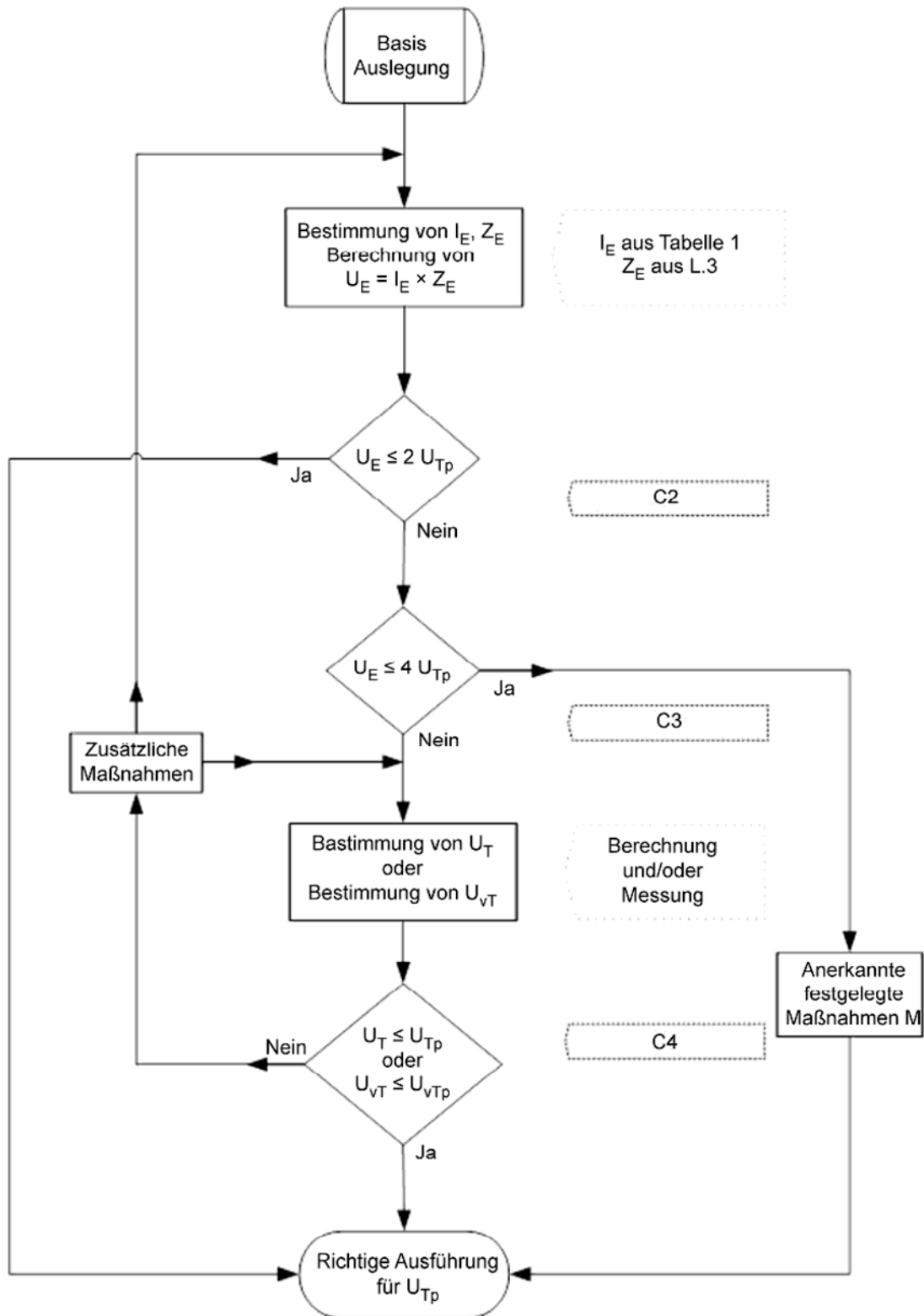


Bild 9 – Auslegung von Erdungsanlagen, die nicht Teil eines Globalen Erdungssystems (C1 von 5.4.2) sind, im Hinblick auf zulässige Berührungsspannung U_{Tp} durch Überprüfung der Erdungsspannung U_E oder der Berührungsspannung U_T und ohne die Berücksichtigung von Potentialverschleppung

6 Maßnahmen zur Vermeidung von Potentialverschleppung

6.1 Potentialverschleppung von Hochspannungsanlagen zu Niederspannungsanlagen

6.1.1 Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannung

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.3 sind anzuwenden.

6.1.2 Niederspannungsversorgung nur innerhalb der Hochspannungsanlage

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.3.1 sind anzuwenden.

6.1.3 Niederspannungsversorgung mit Zu-/Ableitung außerhalb der Hochspannungsanlage

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.3.2 Absatz 1, erster Satz sind anzuwenden.

Wenn kein globales Erdungssystem vorliegt, müssen die Minimal-Anforderungen aus [Tabelle 2](#) angewendet werden, um denjenigen Sachverhalt festzustellen, bei dem ein Zusammenschluss von Erdungsanlagen mit Niederspannungsversorgungen außerhalb der Hochspannungsanlage möglich ist.

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.3.2, Absatz 2 sind anzuwenden.

ANMERKUNG Für Anlagen mit einer Bemessungsspannung unter 50 kV wird in vielen Fällen ein Abstand von 20 m zwischen getrennten Erdungsanlagen angewendet. Andere Werte können für bestimmte Erdbodenverhältnisse zutreffend sein.

6.1.4 Niederspannung in der Nähe von Hochspannungsanlagen

Die Anforderungen der IEC 61936-1:2010, 10.2.3.3 Absätze 1 und 2 sind anzuwenden.

Tabelle 2 – Minimalanforderungen für den Zusammenschluss von Niederspannungs- und Hochspannungs-Erdungsanlagen basierend auf der Erdungsspannung U_E

Art des Niederspannungssystems ^{a, b}		Anforderungen zur Erdungsspannung U_E		
		Berührungsspannung	Beanspruchungsspannung ^c	
			Fehlerdauer $t_f \leq 5 \text{ s}$	Fehlerdauer $t_f > 5 \text{ s}$
TT		nicht zutreffend	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
TN		$U_E \leq F \times U_{Tp}^{d, e}$	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
IT	Gleichmäßig verteilter PE-Leiter	wie im TN System	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
	PE-Leiter nicht gleichmäßig verteilt	nicht zutreffend	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
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 Bodenschichtungen kann der Wert für F bis zu 5 betragen. Vorsicht ist geboten, wenn diese Regel bei Böden mit großen Unterschieden im spezifischen Widerstand und einer oberen Lage mit höherem spezifischem Widerstand angewendet wird. Die Berührungsspannung kann in diesem Fall 50 % der Erdungsspannung U_E überschreiten. ^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 oder wenn die Erdungsspannung U_E durch gemessene oder berechnete Potentialdifferenzen für diesen Ort ersetzt wird. ^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_{Tp} ist abgeleitet von Bild 8. [QUELLE: IEC 61936-1:2010, Tabelle 5, Bezug zum Bild modifiziert]				

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-Empfehlungen und Richtlinien) 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 an der Bewehrung auftreten. Die Isolation der Kabelmäntel oder Rohre 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 eingegraben oder eingetriebenen Erdern zusammengestellt.

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

Oberflächenerder werden vorzugsweise 0,5 m bis 1 m tief verlegt. 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.

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.4](#) sind anzuwenden.

Weitere Einzelheiten zur Ausführung von Erdungsanlagen können dem [Anhang K](#) und [Anhang M](#) entnommen werden.

7.2 Blitz und transiente Beanspruchungen

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.3.3](#) sind anzuwenden.

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.

Sofern es angemessen ist, müssen alle nicht zu elektrischen Betriebsmitteln gehörenden Metallteile geerdet werden, z. B. wegen Lichtbögen, mechanischer Fehler, kapazitiver und induktiver Kopplung.

Ausführliche Hinweise zur Erdung von Anlagenumzäunungen, Rohrleitungen, Anschlussgleisen usw. können dem [Anhang G](#) entnommen werden.

8 Messungen

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.5](#) sind anzuwenden.

Einzelheiten sind im [Anhang H](#) und [Anhang L](#) enthalten.

9 Instandhaltbarkeit

9.1 Inspektion

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.6.1](#) sind anzuwenden.

9.2 Messungen

Die Anforderungen der [IEC 61936-1:2010, 10.6.2](#) sind anzuwenden.

10 Inspektion und Dokumentation von Erdungsanlagen

Es sollte ein Lageplan des Erdungsnetzes vorhanden sein, in dem das Material, die Lage der Erder, ihre Verzweigungspunkte und die Verlegungstiefe eingetragen sind.

Vor der Inbetriebnahme sollte ein Prüfprotokoll erstellt werden, in dem nachgewiesen wird, dass alle Anforderungen dieser Norm beachtet wurden.

Der Ausbreitungswiderstand jeder Anlage außerhalb des Bereiches eines Globalen Erdungssystems muss berechnet oder systematisch gemessen (Einzelheiten zur Messtechnik sind im [Anhang L](#) angegeben) und die Erdungsspannung berechnet oder gemessen werden. Falls erforderlich hat die Überprüfung der Berührungsspannung ebenfalls mittels Rechnung oder Messung zu erfolgen.

Innerhalb des Bereiches eines Globalen Erdungssystems ist eine Feststellung des Ausbreitungswiderstandes oder der Erdungsspannung nicht erforderlich, da hier die Grundausslegung einer Erdungsanlage ausreichend ist.

Falls Ersatzmaßnahmen zum Einhalten der zulässigen Berührungsspannungen erforderlich sind, müssen sie im Lageplan eingetragen und in der Dokumentation beschrieben sein.

Anhang A (normativ)

Verfahren zur Berechnung von zulässigen Berührungsspannungen

A.1 Verfahren zur Berechnung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp}

Bild 8 zeigt den Grenzwert für die zulässige Berührungsspannung U_{Tp} . Diese Kurve zeigt die Werte der Berührungsspannung, die von berechneten oder gemessenen Berührungsspannungen in allen Fällen unter keinen Umständen überschritten werden dürfen.

Gleichung (1) im Anhang A ist die Gleichung, mit der die zulässige Berührungsspannung U_{Tp} für jede Anordnung berechnet werden kann, basierend auf vier spezifischen Parametern:

- 1) Die Fehlerdauer t_f , die den Grenzwert des Körperstromes $I_B(t_f)$ bestimmt
- 2) Die Empfindlichkeit des Herzmuskels zum Fibrillieren (HF = Herzstromfaktor)
- 3) Die Körperimpedanz Z_T , sie ist eine Funktion der Berührungsspannung U_T
- 4) die Berührungsspannungs-Konfiguration (z. B. Hand zu Hand, Hand gegen Füße; einschließlich Korrekturfaktor für die Körperimpedanz BF)

Unterschiedliche Berührungsspannungs-Konfigurationen führen zu unterschiedlichen Werten für die Berührungsspannung. Die Grenzwerte für die zulässige Berührungsspannung U_{Tp} in diesem Standard (siehe **Bild 8**) basieren auf einem gewichteten Mittelwert von vier verschiedenen Berührungsspannungs-Konfigurationen die jeweils mit Gleichung (1) berechnet wurden. Die vier Konfigurationen sind:

- Berührungsspannung U_{Tp1} , linke Hand gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung U_{Tp2} , rechte Hand gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung U_{Tp3} , beide Hände gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung U_{Tp4} , Hand zu Hand (Wichtungsfaktor 0,7)

$$U_{Tp} = (U_{Tp1} + U_{Tp2} + U_{Tp3} + U_{Tp4} \cdot 0,7) / 4$$

Gleichung (1):

Die erste Gleichung der **IEC 61936-1:2010, Anhang B** ist anzuwenden.

Faktoren:

[QUELLE: **IEC 61936-1:2010, Anhang B**, Faktoren modifiziert]

Berührungsspannung	U_T	Blanke Haut gegen blanke Haut
Zulässige Berührungsspannung	U_{Tp}	
Fehlerdauer	t_f	
Zulässiger Körperstrom	$I_B(t_f)$	c_2 in IEC 60479-1:2018, Bild 20 und Tabelle 11, Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern weniger als 5 %. I_B ist abhängig von der Fehlerdauer

Herzstromfaktor	HF	IEC 60479-1:2018, Tabelle 12 d. h. 1,0 für linke Hand zu den Füßen, 0,8 für rechte Hand zu den Füßen, 0,4 für Hand zu Hand
Körperimpedanz	$Z_T(U_T)$	IEC 60479-1:2018, Tabelle 1 und Bild 3 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	IEC 60479-1:2018, Bild 3 d. h. 0,75 für Hand zu beiden Füßen, 0,5 für beide Hände zu beiden Füßen

A.2 Verfahren zur Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp}

Die Gleichung (2) dient zur Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung und ergibt sich aus der Erweiterung der Gleichung (1) mit zusätzlichen Widerständen ($R_A = R_H + R_F$). Mit diesen zusätzlichen Widerständen können z. B. Handschuhe, Schuhwerk berücksichtigt werden. Ziel ist es den berechneten oder gemessenen Wert der Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp} mit dem Grenzwert der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp} zu vergleichen.

Gleichung (2):

Die zweite Gleichung der [IEC 61936-1:2010, Anhang B](#) ist anzuwenden.

Für spezielle Konfigurationen können Berührungsspannungen entsprechend dem spezifischen Körperstrompfad bestimmt werden

Eine weitere Möglichkeit zur Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung ist mit der Gleichung (3) gegeben, in der der Körperstrom $I_B(t_f)$ für den Körperstrompfad linke Hand zu beiden Füßen (Herzstromfaktor HF = 1) und die zulässige Berührungsspannung $U_{Tp}(t_f)$ nach [Bild 8](#) sind.

Gleichung (3):

$$U_{vTp}(t_f) = U_{Tp}(t_f) + \frac{I_B(t_f)}{HF} \cdot (R_H + R_F)$$

Zusätzliche Faktoren:

R_H Hand-Widerstand (z. B. Handschuhe)

R_F Fuß-Widerstand ($R_F = R_{F1} + R_{F2}$)

R_{F1} Widerstand des Schuhwerkes

R_{F2} Ausbreitungswiderstand des Standortes, mit $R_{F2} = 1,5 \text{ m}^{-1} \cdot \rho_s$

ρ_s spezifischer Erdwiderstand an der Oberfläche

A.3 Verfahren zur Berechnung der zulässigen Schrittspannungen

Es müssen immer Berührungsspannungen und Schrittspannungen betrachtet werden. Es gilt aber im Allgemeinen, dass die Anforderungen an die Schrittspannungen erfüllt sind, wenn die Berührungsspannungen eingehalten werden, da die Grenzwerte für die Schrittspannungen wesentlich höher liegen als die für die Berührungsspannungen. Der Grund dafür liegt in dem anderen Stromweg durch den Körper (Herzstromfaktor HF = 0,04).

In besonderen Fällen mit hohen Werten der Erdungsspannung sind die Schrittspannungen zu betrachten. In diesen Fällen wird die zulässige Schrittspannung entsprechend der in [A.1](#) beschriebenen Art ohne Berücksichtigung der Wichtung unter Anwendung der Gleichung (1) berechnet.

Schrittspannungen sollten am Anlagenrand betrachtet werden, wenn z. B. $U_E > 20 \times U_{Tp}$ ist, wobei U_{Tp} eine Funktion der Fehlerdauer ist.

Zulässiger Körperstrom	$I_B(t_f)$	c_2 in IEC 60479-1:2018, Bild 20 und Tabelle 11, Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern weniger als 5%
Herzstromfaktor	HF	IEC 60479-1:2018, Tabelle 12, d. h. 0,04 von einem Fuß zum anderen
Körperimpedanz	$Z_T(U_T)$	IEC 60479-1:2018, Tabelle 1 und Bild 3 , Z_T nicht überschritten von 50 % der Bevölkerung
Korrekturfaktor für Körperimpedanz	BF	IEC 60479-1:2018, Bild 3 , d. h. 1,0 von einem Fuß zum anderen

Anhang B (normativ)

Berechnung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} , zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp}

B.1 Allgemeines

Im Anhang B sind in den Tabelle B.1, B.2 und B.3 die Werte für die zulässigen Körperströme und die Gesamtkörperimpedanzen angegeben, die den Berechnungen der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} im Bild 8 zu Grunde liegen. Weiterhin sind zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp} angegeben.

B.2 Berechnung der zulässigen Berührungsspannung

Zur Berechnung von zulässigen Werten der Berührungsspannung in Hochspannungsanlagen, die als Werte von U_{Tp} im Bild 8 angegeben sind, wird das im Anhang A beschriebene Verfahren mit folgenden Annahmen verwendet:

- Gleichung (1) aus dem Anhang A.1
- eine gewichtete Anordnung der Stromwege nach A.1;
- 50 % Wahrscheinlichkeit für den Wert der Körperimpedanz;
- 5 % Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Herzkammerflimmern;
- keine zusätzlichen Widerstände.

ANMERKUNG Diese Annahmen ergeben eine Berührungsspannungskurve U_{Tp} , die im Bild 8 dargestellt ist. Sie enthält unter Berücksichtigung von Erfahrungen, besonders ausgebildetem Personal, vertretbaren Kosten usw. ein Restrisiko, das bei Erdfehlern in einer Hochspannungsanlage akzeptiert werden kann.

B.3 Berechnung der Werte der zulässigen Berührungsspannung (U_{Tp}) für das Diagramm in Bild 8

Unter der Annahme, dass die Grundlage für Berechnungen im Zusammenhang mit Körperströmen die IEC 60479-1 ist und bei Berücksichtigung von Kurve c_2 in Bild 20 und Tabelle 11 von IEC 60479-1:2018 (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, t_f s	Körperstrom, $I_B(t_f)$ mA
0,05	900
0,10	800
0,20	600
0,50	200
1,00	80
2,00	60
5,00	51
10,00	50

Um nun die zutreffenden zulässigen Berührungsspannungen zu erhalten, ist es erforderlich, die Gesamtkörperimpedanz zu bestimmen, die sich aus dem internen Körperwiderstand und der Impedanz der Haut zusammensetzt. Diese Impedanz ist abhängig von der Berührungsspannung und vom Stromweg; für den Stromweg Hand zu Hand oder Hand zu einem Fuß werden in IEC 60479-1 Werte angegeben, aus denen die nachfolgende Tabelle B.2 abgeleitet wurde (Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass die Körperimpedanzen kleiner oder gleich im Vergleich zu den angegebenen Werten sind):

Tabelle B.2 – Gesamtkörperimpedanz Z_T in Abhängigkeit von der Berührungsspannung U_T für einen Stromweg Hand zu Hand (Werte von Z_T auf 25 Ω gerundet)

Berührungsspannung, U_T V	Gesamtkörperimpedanz, $Z_T(U_T)$ 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

Für die Berechnung von $U_T = f(t_f)$ wurde die Tabelle B.2 mit der Maßgabe U_T ist definiert als $U_T = I_B \times Z_T$ in die Tabelle B.3 umgewandelt

Tabelle B.3 – Gesamtkörperimpedanz Z_T in Abhängigkeit vom Körperstrom I_B für einen Stromweg Hand zu Hand

Körperstrom, I_B mA	Gesamtkörperimpedanz, $Z_T(U_T)$ Ω
8	3 250
20	2 500
38	2 000
58	1 725
81	1 550
107	1 400
132	1 325
157	1 275
184	1 225
421	950
588	850
903	775
1 290	775

Bild B.1 zeigt die Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz vom Körperstrom für einen Stromweg Hand zu Hand.

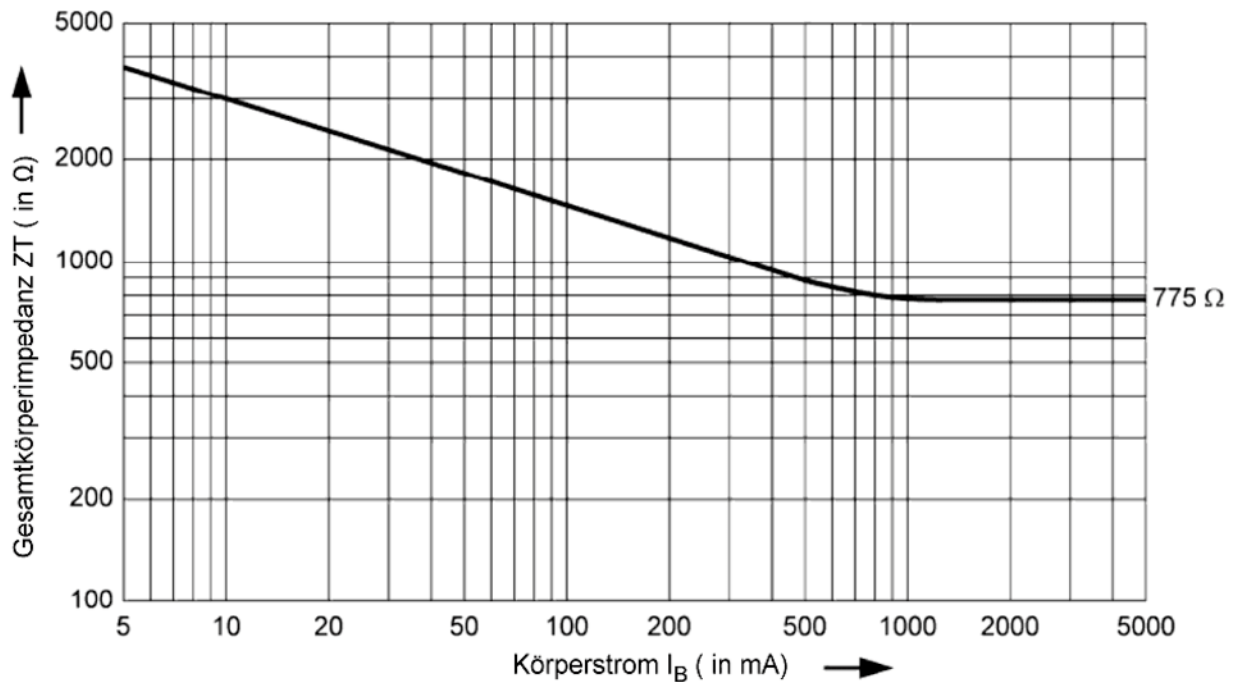


Bild B.1 – Gesamtkörperimpedanz Z_T in Abhängigkeit vom Körperstrom I_B für einen Stromweg Hand zu Hand

Die Wichtungsfaktoren:

Jeder Wert der Berührungsspannung im Bild 8 stellt einen gewichteten Mittelwert aus vier Berechnungen für unterschiedliche Berührungssituationen dar:

- Berührungsspannung linke Hand gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung rechte Hand gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung beide Hände gegen die Füße (Wichtungsfaktor 1,0)
- Berührungsspannung Hand zu Hand (Wichtungsfaktor 0,7)

Resultierende Werte der zulässigen Berührungsspannung:

In Tabelle B.4 sind ausgewählte Werte der zulässigen Berührungsspannung aus dem Diagramm in Bild 8 dargestellt.

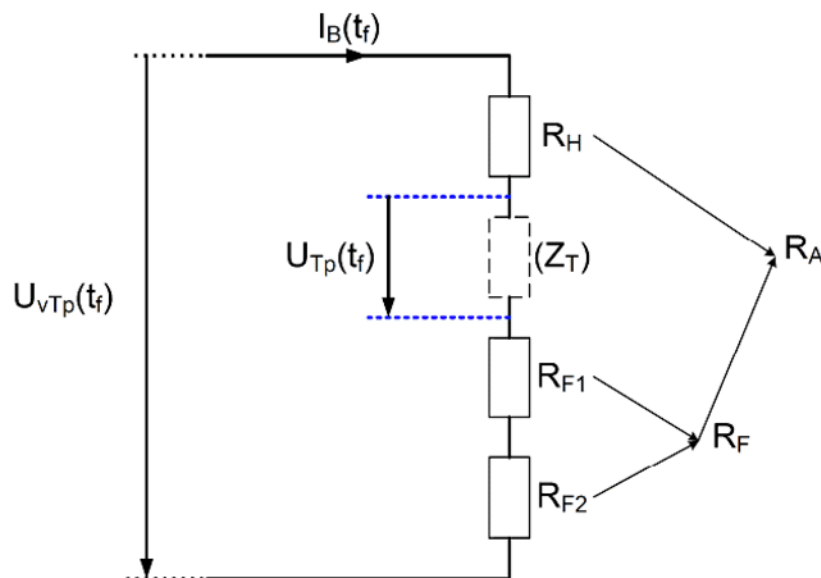
Tabelle B.4 – Berechnete Werte der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_f (Werte von U_{Tp} auf 5 V gerundet)

Fehlerdauer t_f s	Zulässige Berührungsspannung U_{Tp} V
0,05	725
0,10	655
0,20	525
0,50	225
1,00	115
2,00	95
5,00	85
10,00	85

Für eine Stromflussdauer beträchtlich länger als 10 s kann als zulässige Berührungsspannung U_{Tp} ein Wert von 80 V verwendet werden.

B.4 Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung

Ein geeignetes Verfahren zur Berechnung der zulässigen Leerlauf-Berührungsspannung U_{vTp} basiert auf dem Ersatzschaltbild Bild B.2. Darin sind $I_B(t_f)$ der Körperstrom für den Strompfad linke Hand zu beiden Füßen (Herzstromfaktor HF = 1) und $U_{Tp}(t_f)$ ist die zulässige Berührungsspannung nach Bild 8.



Legende

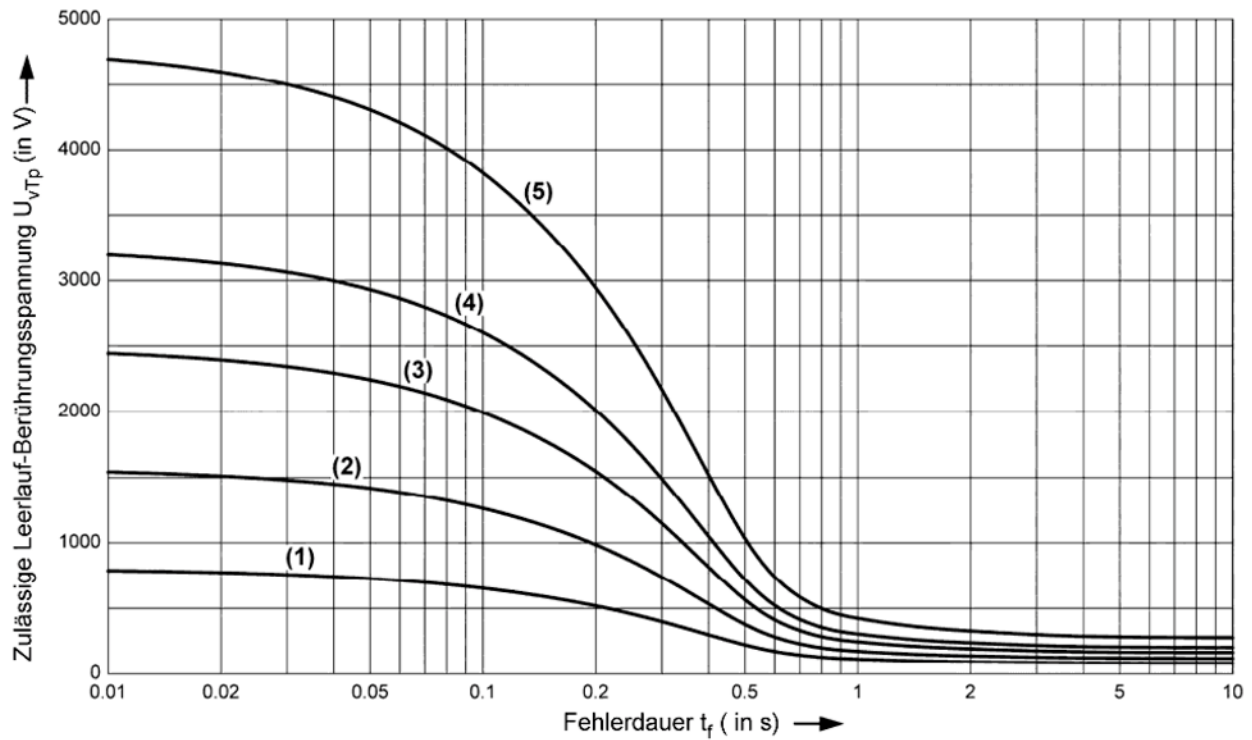
- $U_{vTp}(t_f)$ zulässige Leerlauf-Berührungsspannung
- $I_B(t_f)$ Körperstrom nach Tabelle B.1
- $U_{Tp}(t_f)$ zulässige Berührungsspannung nach Tabelle B.4
- (Z_T) Körperimpedanz
- R_A Zusatzwiderstände ($R_A = R_H + R_{F1} + R_{F2}$, mit $R_{F2} = 1,5 \text{ m}^{-1} \times \rho_S$)
- R_H zusätzlicher Hand Widerstand (z. B. Handschuh)
- R_F zusätzlicher Fuß Widerstand
- R_{F1} Widerstand des Schuhwerks
- R_{F2} Widerstand des Standortes
- t_f Fehlerdauer
- ρ_S spezifischer Erdwiderstand an der Oberfläche

Bild B.2 – Ersatzschaltbild für die Berechnung der U_{vTp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_f

Basierend auf dem Ersatzschaltbild ist die Gleichung (3) zur Berechnung von Werten der U_{vTp} zu verwenden.

$$U_{vTp}(t_f) = U_{Tp}(t_f) + \frac{I_B(t_f)}{HF} \cdot (R_H + R_F)$$

Bild B.3 zeigt Beispiele für Kurven $U_{vTp} = f(t_f)$ für verschiedene Zusatzwiderstände R_F



Legende

- (1) Zulässige Berührungsspannung (nach Bild 8)
- (2) $R_F = 750 \, \Omega$ ($R_{F1} = 0 \, \Omega$; $\rho_s = 500 \, \Omega m$)
- (3) $R_F = 1750 \, \Omega$ ($R_{F1} = 1000 \, \Omega$; $\rho_s = 500 \, \Omega m$)
- (4) $R_F = 2500 \, \Omega$ ($R_{F1} = 1000 \, \Omega$; $\rho_s = 1000 \, \Omega m$)
- (5) $R_F = 4000 \, \Omega$ ($R_{F1} = 1000 \, \Omega$; $\rho_s = 2000 \, \Omega m$)

$R_{F1} = 1000 \, \Omega$ ist ein Durchschnittswert für gebrauchte feuchte Schuhe. Größere Werte für Zusatzwiderstände von Schuhen können verwendet werden, sofern sie zutreffend sind.

Bild B.3 – Beispiele für Kurven $U_{VTp} = f(t_f)$ bei verschiedenen Zusatzwiderständen
 $R_F = R_{F1} + R_{F2}$

Anhang C (normativ)

Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen

Tabelle C.1 – Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen

Werkstoff und Oberfläche	Form	Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Dicke mm	Gewicht der Beschichtung g/m ²	Dicke der Beschichtung (Einzelwert) µm	Dicke der Beschichtung (Mittelwert) µm
Stahl (blank, feuerverzinkt oder rostfrei) in Beton verlegt	Runddraht	10					
	Profil oder Band		75	3			
Stahl feuerverzinkt ^c	Band ^b oder Streifen/Platte						
	– feste Platte		90	3	500	63	70
	– Gitter						
	– Profile						
	runder Stab als Tiefenerder	16			350	(45) 63	70
	Runddraht horizontal verlegt	10			350	45	50
	Rohr	25		2	350	45	55
	Drähte (mit Beton ummantelt)		70				
	Kreuzprofil als Tiefenerder		(290)	3			
Stahl mit extrudiertem Kupfermantel	runder Stab als Tiefenerder	(15)				2000	
Stahl elektrolytisch verkupfert	runder Stab als Tiefenerder	14				250 ^e	
	Runddraht horizontal verlegt	(8)				70	
	Band horizontal verlegt		90	3		70	

Werkstoff und Oberfläche	Form	Durchmesser	Querschnitt	Dicke	Gewicht der Beschichtung	Dicke der Beschichtung (Einzelwert)	Dicke der Beschichtung (Mittelwert)
		mm	mm ²	mm	g/m ²	µm	µm
Rostfreier Stahl ^a	Band ^b		90	3			
	runder Stab als Tiefenerder	16					
	Runddraht horizontal verlegt	10					
	Rohr	25		2			
Kupfer	Band		50	2			
	Runddraht horizontal verlegt		(25) ^d 50				
	Massiver runder Stab als Tiefenerder	(12) 15					
	Seil	1,8 für den Einzeldraht	(25) ^d 50				
	Rohr	20		2			
	feste Platte			(1,5) 2			
	Gitter			2			
Kupfer verzinkt	Seil	1,8 für den Einzeldraht	25			1	5
Kupfer verzinkt	Band		50	2		20	40
ANMERKUNG Werte in Klammern gelten nur für den Schutz gegen elektrischen Schlag. Werte ohne Klammer gelten für den Blitzschutz und den Schutz gegen elektrischen Schlag							
a Chrom ≥ 16 %, Nickel ≥ 5 %, Molybden ≥ 2 %, Kohlenstoff ≥ 0,08 %. (rostfreier Stahl Typ 1.4404 nach EN IEC 62561-2) b Band gewalzt oder geschnitten mit abgerundeten Kanten c Die Beschichtung muss glatt, durchgehend und frei von Fehlstellen sein d Wenn Erfahrungen zeigen, dass das Risiko von Korrosion und mechnaischen Beschädigungen sehr gering ist kann 16 mm² verwendet werden. e Die Dicke ist erforderlich um der mechanischen Beanspruchung der Kupferbeschichtung während der Installation zu widerstehen. Sie kann auf einen Wert von nicht weniger als 100 µm reduziert werden, wenn spezielle Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung von Beschädigungen während der Installation nach Vorgaben des Herstellers (z. B. Bohrlöcher oder Kappen) angewendet werden.							

Anhang D (normativ)

Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern oder Erdern

Für Fehlerströme, die innerhalb von 5 s abgeschaltet werden, ist der Querschnitt des Erdungsleiters oder des Erders aus folgender Gleichung (D.1) zu berechnen (siehe IEC 60949:1988):

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Dabei ist

- A der Querschnitt in mm²;
- I der Leiterstrom in A (Effektivwert);
- t_f die Fehlerstromdauer in s;
- K die vom Werkstoff des stromführenden Teiles abhängige Konstante; Tabelle D.1 enthält Werte für die gebräuchlichsten Werkstoffe, wobei eine Ausgangstemperatur von 20 °C angenommen ist;
- β der Kehrwert des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes des stromführenden Teiles bei 0 °C (siehe Tabelle D.1);
- Θ_i die Anfangstemperatur in °C. Werte dürfen aus IEC 60287-3-1 entnommen werden. Wenn in nationalen Tabellen kein Wert festgelegt ist, sollten 20 °C als Temperatur des umgebenden Erdreiches in einer Tiefe von 1 m angenommen werden;
- Θ_f die Endtemperatur in °C.

Tabelle D.1 – Werkstoff-Konstanten

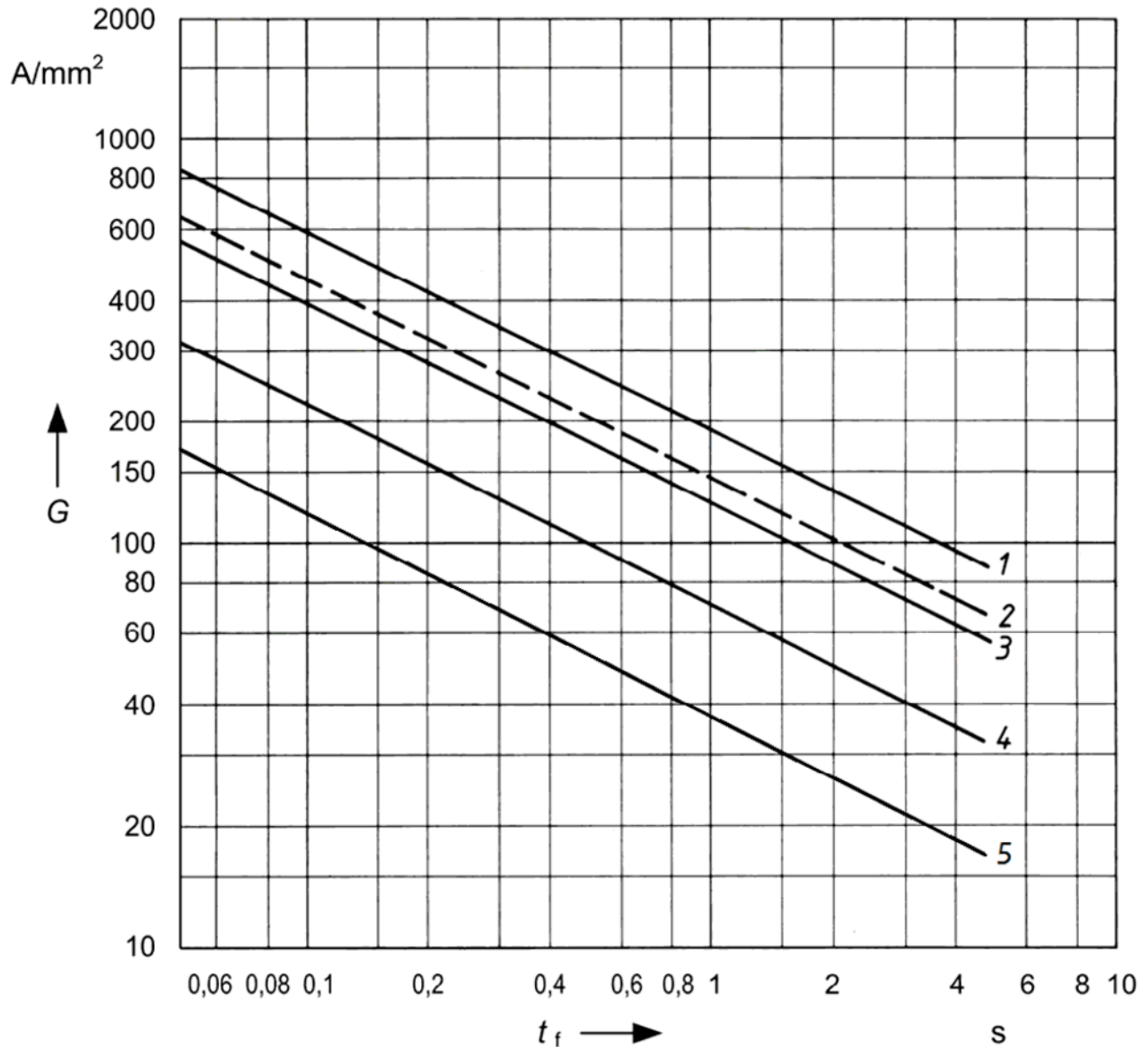
Werkstoff	β in °C	K in $A \times \sqrt{s}/mm^2$
Kupfer	234,5	226
Aluminium ^a	228	148
Stahl	202	78
Rostfreier Stahl – Typ 1.4404 ^b	160	39
^a Aluminium ist für Erder nicht geeignet.		
^b Rostfreier Stahl nach EN IEC 62561-2 .		

Bei üblichen Bedingungen, bei denen sich der Erdungsleiter in Luft und der Erder in Erde befindet, darf die Kurzschlussstromdichte $G (= I / A)$ für Anfangstemperaturen von 20 °C sowie für Endtemperaturen bis 300 °C aus **Bild D.1** entnommen werden.

Für länger andauernde Fehlerströme (wie sie in Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlusskompensation vorkommen) sind die zulässigen Querschnitte in den **Bildern D.2** und **D.3** angegeben. Wenn eine von 300 °C abweichende Endtemperatur (siehe **Bild D.2** und **Bild D.3**) gewählt wird, darf der Strom mit einem Faktor berechnet werden, der aus **Tabelle D.2** zu wählen ist. Zum Beispiel werden niedrigere Endtemperaturen für isolierte Leiter und in Beton eingebettete Leiter empfohlen.

**Tabelle D.2 – Faktoren zur Umrechnung des Dauerstromes von 300 °C Endtemperatur
auf eine andere Endtemperatur**

Endtemperatur °C	Umrechnungsfaktor
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6

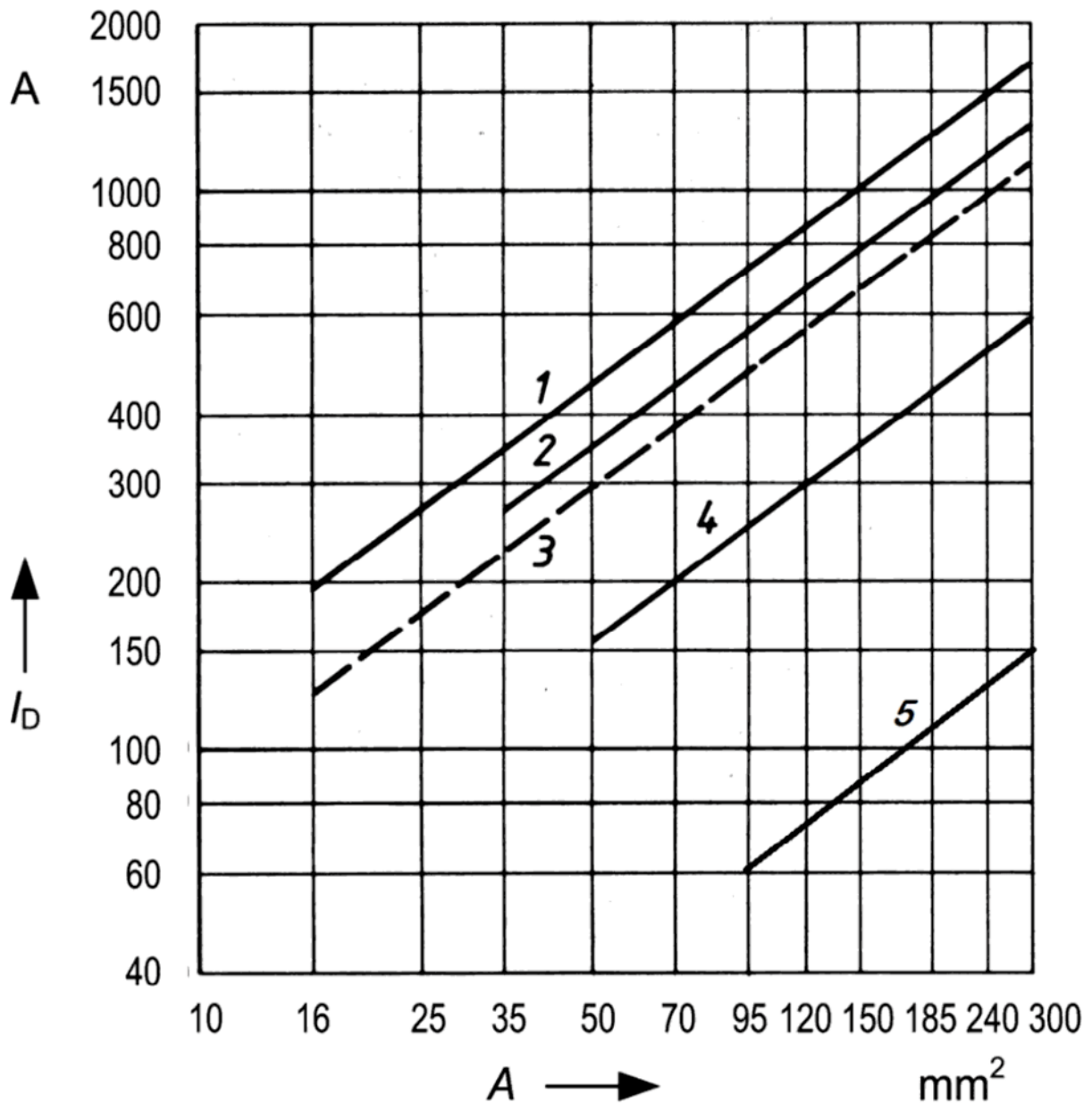


Legende

Die Linien 1, 3, 4 und 5 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 2 gilt für 150 °C.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Kupfer, verzinkt
- 3 Aluminium, nur für Erdungsleiter
- 4 Verzinkter Stahl
- 5 Rostfreier Stahl

Bild D.1 – Kurzschlussstromdichte G für Erdungsleiter und Erder in Abhängigkeit von der Fehlerstromdauer t_f

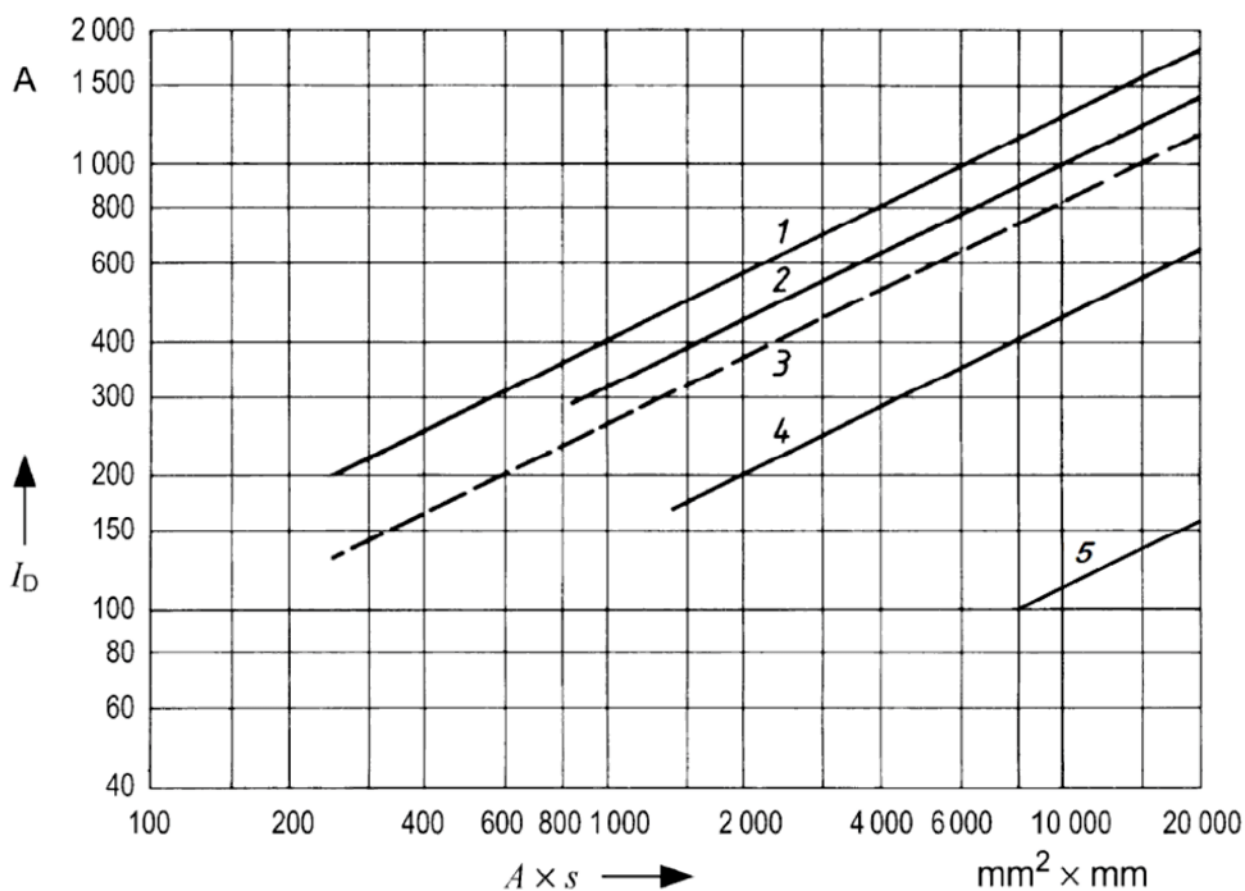


Legende

Die Linien 1, 2, 4 und 5 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 3 gilt für 150 °C. [Tabelle D.2](#) enthält Faktoren zur Umrechnung auf andere Endtemperaturen.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Aluminium
- 3 Kupfer, verzinkt
- 4 Verzinkter Stahl
- 5 Rostfreier Stahl

Bild D.2 – Dauerstrom I_D für Erdungsleiter mit kreisförmigem Querschnitt (A)



Legende

Linien 1, 2 4 und 5 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 3 gilt für 150 °C. [Tabelle D.2](#) enthält Faktoren zur Umrechnung auf andere Endtemperaturen.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Aluminium
- 3 Kupfer, verzinkt
- 4 Verzinkter Stahl
- 5 Rostfreier Stahl

Bild D.3 – Dauerstrom I_D für Erdungsleiter mit rechteckförmigem Querschnitt in Abhängigkeit vom Produkt Querschnitt mal Profilumfang ($A \times s$)