

	Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV	DIN VDE 0141
Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden. Earthing system for power installations with rated voltages above 1 kV Ersatz für DIN 57141/ VDE 0141/07.76 Siehe jedoch Übergangsfrist! Für den Anwendungsbereich dieser Norm bestehen keine entsprechenden regionalen oder internationalen Normen. Beginn der Gültigkeit Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. Juli 1989. Daneben gilt DIN 57141/VDE 0141/07.76 noch bis zum 30. Juni 1991. Norm-Entwurf war veröffentlicht als DIN VDE 0141 A1/10.86. Fortsetzung Seite 2 bis 28 Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	5.3 Erdungsmaßnahmen an Betriebsmitteln und Anlagen	16
2 Begriffe	2	5.4 Freileitungsmaste	18
2.1 Erde, Erder, Erden	2	5.5 Mastschalter, Maststationen und Kabelendmaste	18
2.2 Arten von Erdern	3	5.6 Ortsveränderliche Umspannstellen	19
2.3 Widerstandsarten	3	5.7 Erden und Kurzschließen an Arbeits- und Ausschaltstellen	19
2.4 Schutz-, Betriebs- und Blitzschutzterdung	4	5.8 Anschluß von Anlagen mit Nennspannungen über 1 kV und mit Nennspannungen bis 1000 V an gemeinsame oder getrennte Erdungsanlagen	19
2.5 Unterscheidung der Netze im Hinblick auf die Erfordernisse der Anlagenerdung bei verschiedener Sternpunktbehandlung	4	6 Erdungen gegen Blitzeinwirkungen	20
2.6 Spannungen bei stromdurchflossenen Erdungsanlagen	4	7 Überwachung und Messung von Erdungsanlagen	21
2.7 Erdschluß, Ströme bei Erdschlüssen, Schnellausschaltung, Reduktions- und Erwartungsfaktor	4	7.1 Allgemeines zur Nachprüfung bzw. Überwachung	21
3 Allgemeine Grundlagen für die Bemessung von Erdungsanlagen	6	7.2 Messung von spezifischen Erdwiderständen	21
3.1 Werte des spezifischen Erdwiderstandes und des Ausbreitungswiderstandes	6	7.3 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	21
3.2 Strombelastbarkeit von Erdungsleitungen und Erdern	7	7.4 Bestimmung der Erdungsspannung	23
4 Bemessung von Erdungsanlagen	8	7.5 Messung von Berührungsspannungen	23
4.1 Allgemeines	8	7.6 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen	23
4.2 Bemessung von Erdern, Werkstoffe	9	Zitierte Normen und andere Unterlagen	24
4.3 Bemessung von Erdungsleitungen	11	Frühere Ausgaben	25
4.4 Bemessung der Erdungen von Schalt- und Umspannanlagen sowie von Kraftwerken im Hinblick auf Berührungsspannungen	11	Änderungen	25
5 Ausführung von Erdungsanlagen	15	Erläuterungen	26
5.1 Ausführung und Anordnung von Erdern	15		
5.2 Ausführung von Erdungsleitungen	16		

1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Norm gilt für das Errichten von Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV und Nennfrequenzen unter 100 Hz. Sie gilt sinngemäß auch für Gleichstromanlagen mit Nennspannungen über 1,5 kV.

Bezüglich der Besonderheiten im Bereich elektrischer Bahnen sind die Normen der Reihe DIN VDE 0115 zu beachten.

1.2 Diese Norm gilt nicht für

- elektrische Anlagen in bergbaulichen Betrieben unter Tage nach DIN VDE 0118
- Leuchtröhrenanlagen nach DIN VDE 0128
- Elektrofilteranlagen nach DIN VDE 0146
- ortsfeste elektrostatische Sprühanlagen nach DIN VDE 0147.

2 Begriffe

2.1 Erde, Erder, Erden

2.1.1 Erde ist die Benennung sowohl für die Erde als Ort, als auch für die Erde als Stoff, z. B. die Bodenarten Humus, Lehm, Sand, Kies, Gestein.

2.1.2 Bezugserde (neutrale Erde) ist der Teil der Erde, insbesondere der Erdoberfläche außerhalb des Einflußbereiches eines Erders bzw. einer Erdungsanlage, in wel-

chem zwischen zwei beliebigen Punkten keine merklichen vom Erdungsstrom herrührenden Spannungen auftreten (Bild 1).

2.1.3 Erder ist ein Leiter, der in die Erde eingebettet ist und mit ihr in leitender Verbindung steht, oder ein Leiter, der in Beton eingebettet ist, der mit der Erde großflächig in Berührung steht (z. B. Fundamenteerder).

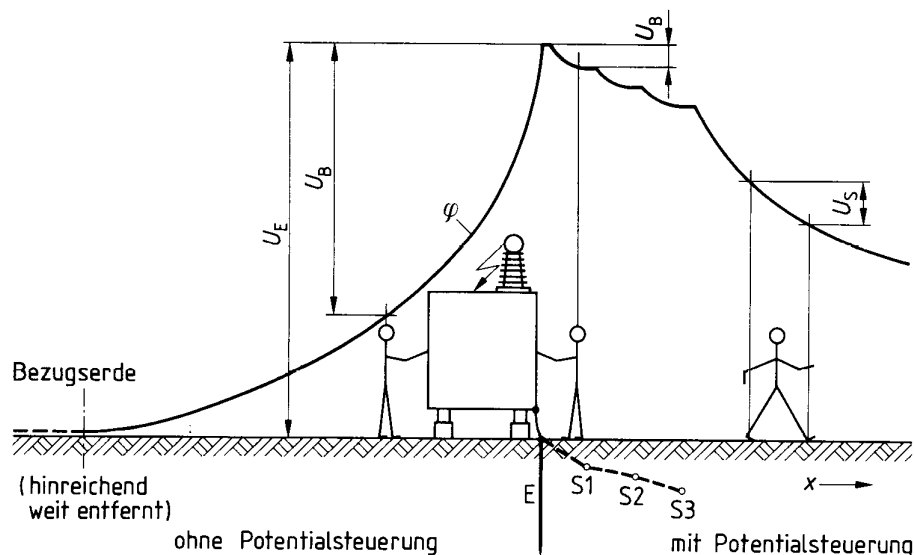
2.1.4 Erdungsleitung ist eine Leitung, die einen zu erdenden Anlagenteil mit einem Erder verbindet, soweit sie außerhalb der Erde oder isoliert in Erde verlegt ist.

Ist in die Verbindung zwischen einem Mittelpunkt- oder Außenleiter und dem Erder eine Trennlasche, ein Trennschalter oder eine Erdschlußspule eingebaut, so gilt nur die Verbindung zwischen dem Erder und der erdseitigen Klemme des nächsten der genannten Geräte als Erdungsleitung.

2.1.5 Erdungssammelleitung ist eine Erdungsleitung, an die mehrere Erdungsleitungen angeschlossen sind.

Nicht dazu gehören jedoch:

- Erdungsleitungen, die die zu erdenden Teile der Einzelgeräte von Drehstromsätzen (3 Wandler, 3 Endverschlüsse, 3 Stützer usw.) zusammenfassen,
- bei Anlagen in Zellenbauweise: Erdungsleitungen, die zu erdende Teile mehrerer Geräte einer Zelle zusammenfassen und die innerhalb dieser Zelle mit einer (durchlaufenden) Erdungssammelleitung verbunden sind.



U_E	Erdungsspannung	E	Erder
U_B	Berührungsspannung	S1, S2, S3	mit dem Erder verbundene Potentialsteuer- erder (Ringerder)
U_S	Schrittspannung		
φ	Erdflächenpotential	x	Entfernung vom Erder E

Bild 1. Beispiel für den Verlauf des Erdflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenem Erder

2.1.6 Erdungsanlage ist eine örtlich abgegrenzte Gesamtheit miteinander leitend verbundener Erder oder in gleicher Weise wirkender Metallteile (z. B. Mastfüße, Bewehrungen, Kabelmetallmäntel) und Erdungsleitungen.

2.1.7 Erden heißt, ein elektrisch leitfähiges Teil über eine Erdungsanlage mit der Erde zu verbinden.

2.1.8 Erdung ist die Gesamtheit aller Mittel und Maßnahmen zum Erden.

2.2 Arten von Erdern

2.2.1 Einteilung nach der Lage

Man unterscheidet z. B.:

- Oberflächenerder ist ein Erder, der im allgemeinen in geringer Tiefe bis etwa 1 m eingebracht wird. Er kann z. B. aus Band-, Rundmaterial oder Seil bestehen und als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder oder als Kombination aus diesen ausgeführt werden.
- Tiefenerder ist ein Erder, der im allgemeinen lotrecht in größere Tiefen eingebracht wird. Er kann z. B. aus Rohr-, Rund- oder anderem Profilmaterial bestehen.

2.2.2 Einteilung nach der Form und dem Profil

Man unterscheidet z. B.:

Bänderer, Seilerder, Rohrerder.

2.2.3 Natürlicher Erder ist ein mit der Erde oder mit Wasser unmittelbar oder über Beton in Verbindung stehendes Metallteil, dessen ursprünglicher Zweck nicht die Erdung ist, das aber als Erder wirkt.

Anmerkung: Hierzu gehören z. B. Rohrleitungen, Spundwände, Betonpfahlbewehrungen, Stahlteile von Gebäuden usw.

2.2.4 Kabel mit Erderwirkung ist ein Kabel, bei dem metallene Mäntel, Schirme oder Bewehrungen eine Ableitung gegen Erde haben, die in der Größenordnung der Ableitung von Bänderdern liegt.

2.2.5 Fundamenterder ist ein Leiter, der in Beton eingebettet ist, der mit der Erde großflächig in Berührung steht¹⁾.

2.2.6 Steuererder ist ein Erder, der nach Form und Anordnung mehr zur Potentialsteuerung (siehe Abschnitt 2.6.5) als zur Einhaltung eines bestimmten Ausbreitungswiderstandes dient (siehe Bild 1).

2.3 Widerstandsarten

2.3.1 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E ist der spezifische elektrische Widerstand der Erde. Er wird meist in $\Omega\text{m}^2/\text{m} = \Omega\text{m}$ angegeben und stellt dann den Widerstand eines Erdwürfels von 1 m Kantenlänge zwischen zwei gegenüberliegenden Würfelflächen dar.

2.3.2 Ausbreitungswiderstand R_A eines Erders ist der Widerstand der Erde zwischen dem Erder und der Bezugserde (siehe Bild 3).

R_A ist praktisch ein Wirkwiderstand.

2.3.3 Erdungsimpedanz Z_E einer Erdungsanlage ist die Impedanz, die zwischen der Erdungsanlage und der Bezugserde wirkt.

¹⁾ Siehe auch „Richtlinien für das Einbetten von Fundamenterdern in Gebäudefundamenten“. 1987. Herausgegeben von der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW).

Anmerkung: Die Erdungsimpedanz wird, außer durch direkt angeschlossene Erder, bestimmt durch angeschlossene Erdseile und Bodenseile von Freileitungen (siehe Bilder 2 und 3), durch angeschlossene Kabel mit Erderwirkung sowie durch andere Erdungsanlagen, die über leitfähige Kabelmäntel oder -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise mit der betrachteten Erdungsanlage leitend verbunden sind.

2.3.4 Stoßerdungswiderstand R_{st} ist der beim Durchgang von Blitzströmen zwischen einem Punkt einer Erdungsanlage und der Bezugserde wirksame Widerstand.

2.4 Schutz-, Betriebs- und Blitzschutzterdung

2.4.1 Schutzterdung im Sinne dieser Norm ist die Erdung eines nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Teils zum Schutz von Personen gegen zu hohe Berührungsspannungen.

2.4.2 Betriebserdung ist die Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises, die für den ordnungsgemäßen Betrieb von Geräten oder Anlagen notwendig ist.

Sie wird bezeichnet:

- a) als unmittelbar, wenn sie außer der Erdungsimpedanz keine weiteren Widerstände enthält.
- b) als mittelbar, wenn sie über zusätzliche ohmsche, induktive oder kapazitive Widerstände hergestellt ist.

2.4.3 Blitzschutzterdung ist eine Erdung zur Ableitung des Blitzstromes in die Erde.

2.5 Unterscheidung der Netze im Hinblick auf die Erfordernisse der Anlagenerdung bei verschiedener Sternpunktbehandlung

2.5.1 Netz mit isoliertem Sternpunkt

Netz, in dem die Sternpunkte von Transformatoren, Generatoren und von Sternpunktbildnern betriebsmäßig, außer über hochohmige Melde-, Meß- oder Schutzeinrichtungen, keine Verbindung mit einer Erdungsanlage haben.

2.5.2 Netz mit Erdschlußkompensation

Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators oder Sternpunktbildners über eine Erdschlußspule geerdet ist und die resultierende Induktivität aller Erdschlußspulen für die Betriebsfrequenz weitgehend auf die Erdkapazität des Netzes abgestimmt ist.

2.5.3 Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung

Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators, Sternpunktbildners oder Generators unmittelbar oder über einen ohmschen Widerstand oder eine Drosselschule geerdet ist und Netz und Netzschutz so ausgebildet sind, daß es bei Erdschluß an einer beliebigen Stelle zu einer selbsttätigen Abschaltung kommen muß.

Hierzu gehören auch Netze mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation, in denen der Sternpunkt grundsätzlich zu Erdschlußbeginn kurzzeitig geerdet ist.

2.5.4 Netz mit vorübergehender niederohmiger Sternpunkt- oder Leiterterdung

Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation, in dem bei einem nicht von selbst erlöschenden Erdschluß ein Sternpunkt oder ein Leiter des Betriebsstromkreises (aktiver Leiter) einige Sekunden nach Erdschlußbeginn kurzzeitig geerdet wird.

2.6 Spannungen bei stromdurchflossenen Erdungsanlagen

2.6.1 Erdungsspannung U_E ist die zwischen einer Erdungsanlage und Bezugserde auftretende Spannung (siehe Bild 1).

2.6.2 Erdoberflächenpotential ϕ ist die Spannung zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und Bezugserde (siehe Bild 1).

2.6.3 Berührungsspannung U_B ist der Teil der Erdungsspannung, der von Menschen überbrückt werden kann (siehe Bild 1), wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Hand zu Fuß (waagerechter Abstand vom berührbaren Teil 1 m) oder von Hand zu Hand verläuft.

2.6.4 Schrittspannung U_S ist der Teil der Erdungsspannung, der vom Menschen mit einem Schritt von 1 m Länge überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Fuß zu Fuß verläuft (siehe Bild 1).

Für die Größe der Schrittspannung sind keine Grenzwerte vorgeschrieben.

2.6.5 Potentialausgleich ist die elektrisch leitende Verbindung zwischen leitfähigen Teilen, um Potentialunterschiede zwischen diesen Teilen zu beseitigen.

2.6.6 Potentialsteuerung ist die Beeinflussung des Erdpotentials, insbesondere des Erdoberflächenpotentials, durch Erder (siehe Bild 1).

2.6.7 Potentialverschleppung liegt vor, wenn das durch einen Erdungsstrom angehobene Potential einer Erdungsanlage über einen mit dieser verbundenen Leiter (z. B. Kabelmantel, PEN-Leiter, Rohrleitung, Schiene) in Gebiete mit geringerer oder keiner Potentialanhebung (Bezugserde) verschleppt wird, so daß an diesem Leiter ein Potentialunterschied gegen die Umgebung abgreifbar ist. Dies gilt sinngemäß auch für einen Leiter, der aus dem Bereich der Bezugserde kommt und in den Bereich der Potentialanhebung führt.

2.6.8 Isolierung des Standortes im Sinne dieser Norm ist eine Maßnahme zur Erhöhung des Widerstandes zwischen Standort und Erde derart, daß unzulässige Berührungsspannungen nicht auftreten können (siehe Bild 10 und Ersatzmaßnahme E 1.3 nach Abschnitt 4.4.2).

2.6.9 Gebiete mit geschlossener Bebauung sind Gebiete, in denen durch die Dichte der Bebauung Fundamentterder und Versorgungseinrichtungen mit Erderwirkung in ihrer Gesamtheit wie ein Maschenerder wirken.

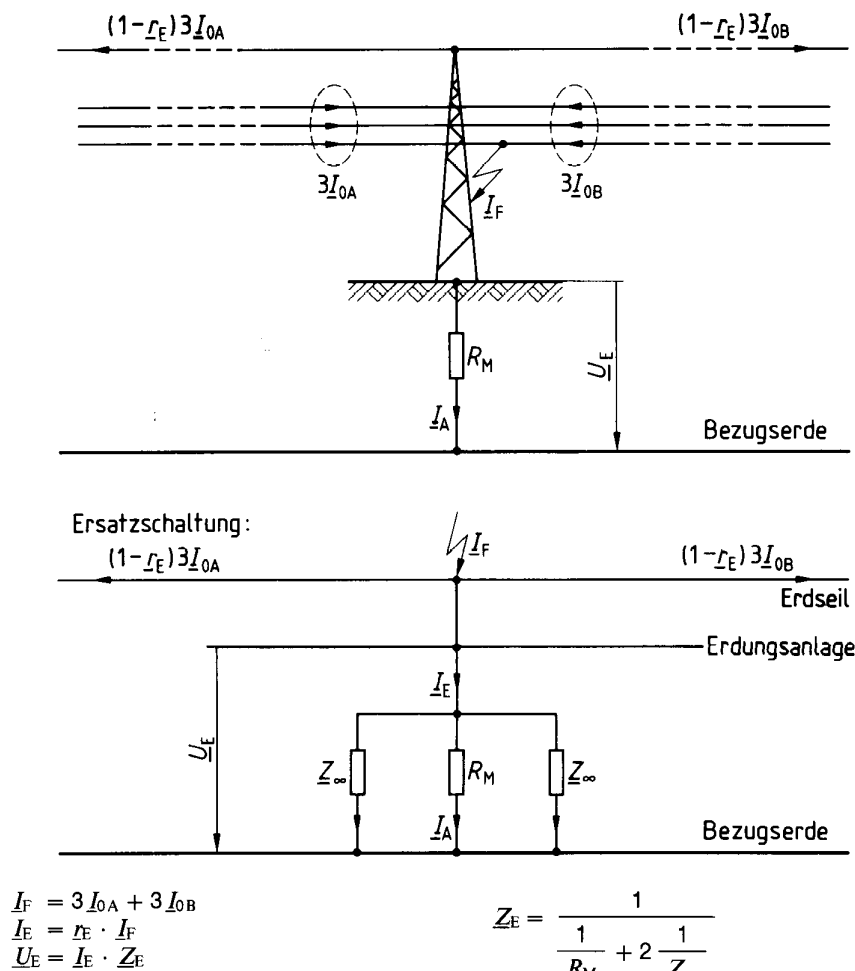
2.7 Erdschluß, Ströme bei Erdschlüssen, Schnellausschaltung, Reduktions- und Erwartungsfaktor

2.7.1 Erdschluß ist eine durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung eines Leiters des Betriebsstromkreises mit Erde oder einem geerdeten Teil. Die leitende Verbindung kann auch über einen Lichtbogen bestehen.

Liegt Erdschluß bei zwei oder mehreren Leitern des gleichen Netzes an örtlich getrennten Stellen vor, so bezeichnet man den Zustand als **Doppel- oder Mehrfacherschluß**.

In Netzen mit niederohmiger Sternpunkterdung bezeichnet man den Erdschluß als Erdkurzschluß.

2.7.2 Erdfehlerstrom I_F ist der Strom, der bei Vorhandensein nur eines Erdschlußpunktes an der Fehlerstelle



$3I_{0A}$ Dreifacher Nullstrom aus dem Netzteil A
 $3I_{0B}$ Dreifacher Nullstrom aus dem Netzteil B
 I_F Erdfehlerstrom
 I_E Erdungsstrom (nicht unmittelbar meßbar)
 I_A Strom über den Ausbreitungswiderstand des Fehlermastes

l_E Reduktionsfaktor der Freileitung
 R_M Ausbreitungswiderstand des Mastes
 Z_∞ Kettenleiterimpedanz der Freileitung
 Z_E Erdungsimpedanz
 U_E Erdungsspannung

Bild 2. Beispiele für Ströme, Spannungen und Widerstände bei Erdschluß an einem Mast

(Erdschlußstelle) vom Betriebsstromkreis zur Erde oder zu geerdeten Teilen übertritt (siehe Bilder 2 und 3).

Dies ist

- in Netzen mit isoliertem Sternpunkt der kapazitive Erdschlußstrom I_C
- in Netzen mit Erdschlußkompensation der Erdschlußreststrom I_{Rest}
- in Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung der Erdkurzschlußstrom I_{K1pol}''

2.7.3 Erdungsstrom I_E ist der gesamte über die Erdungsimpedanz in die Erde fließende Strom (siehe Bilder 2 und 3).

Anmerkung: Der Erdungsstrom ist der Anteil des Erdfehlerstromes I_F , durch den die Potentialanhebung einer Erdungsanlage verursacht wird.

Zur Bestimmung von I_E siehe auch Abschnitt 7.4.

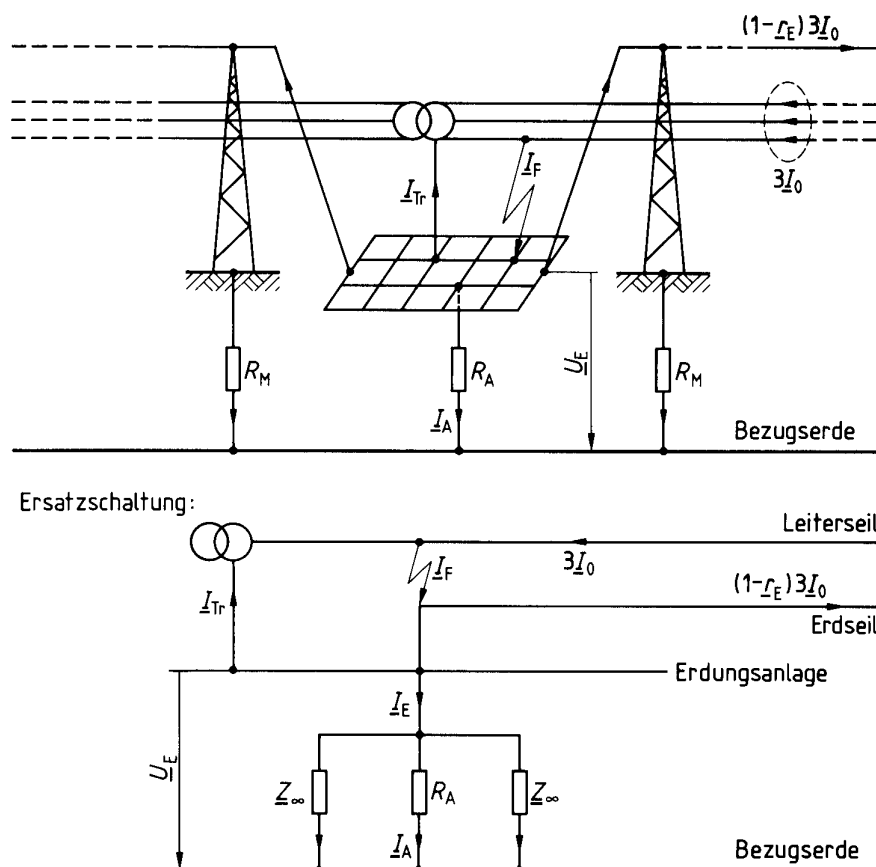
2.7.4 Schnellausschaltung im Sinne dieser Norm ist die Ausschaltung eines Erdfehlerstromes innerhalb 0,5 Sekunden.

2.7.5 Reduktionsfaktor r einer Drehstromleitung oder Bahnstromfernleitung ist das Verhältnis des über Erde fließenden Rückstromes zur Summe $3I_0$ bzw. $2I_0$ der Ströme in den Leitern des Betriebsstromkreises

r_E Erdseilreduktionsfaktor für Freileitungen

r_K Kabelmantelreduktionsfaktor

2.7.6 Erwartungsfaktor w für den Erdungsstrom berücksichtigt die Tatsache, daß der Berechnung dieses Stromes die ungünstigsten Verhältnisse zugrunde gelegt werden, deren Zusammentreffen unwahrscheinlich ist.



$$\begin{aligned} I_F &= 3 I_0 + I_{Tr} \\ I_E &= l_E \cdot (I_F - I_{Tr}) \\ U_E &= I_E \cdot Z_E \end{aligned}$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_A} + n \frac{1}{Z_\infty}} \quad ^2)$$

$3 I_0$	Dreifacher Nullstrom der Nullstrom führenden Leitung
I_{Tr}	Strom über Sternpunktterdung des Transformators
I_F	Erdfehlerstrom
I_E	Erdungsstrom (nicht unmittelbar meßbar)
I_A	Strom über den Ausbreitungswiderstand des Maschenerders
U_E	Erdungsspannung

l_E	Reduktionsfaktor der Nullstrom führenden Leitung
R_A	Ausbreitungswiderstand des Maschenerders
R_M	Ausbreitungswiderstand des Mastes
Z_∞	Kettenleiterimpedanz der angeschlossenen Freileitungen
Z_E	Erdungsimpedanz
n	Anzahl der aus der Anlage führenden Freileitungen (im Beispiel ist $n = 2$)

Bild 3. Beispiele für Ströme, Spannungen und Widerstände bei Erdschluß in einem Umspannwerk

3 Allgemeine Grundlagen für die Bemessung von Erdungsanlagen

3.1 Werte des spezifischen Erdwiderstandes und des Ausbreitungswiderstandes

3.1.1 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E

Der spezifische Erdwiderstand ist je nach Bodenart, Körnung, Druck und Feuchtigkeit örtlich sehr verschieden (siehe Tabelle 1).

Bis zu einigen Metern Tiefe können sich durch Veränderungen des Feuchtigkeitsgehalts auch zeitliche Schwan-

kungen des spezifischen Erdwiderstandes ergeben. Ferner ist zu beachten, daß sich der spezifische Erdwiderstand bei der im allgemeinen gegebenen Schichtung des Erdreiches mit der Tiefe stark ändern kann.

3.1.2 Ausbreitungswiderstand R_A

Der Ausbreitungswiderstand eines Erders hängt vom spezifischen Erdwiderstand sowie von den Maßen und der Anordnung des Erders ab. Er ist hauptsächlich von der Länge des Erders, weniger von seinem Querschnitt abhängig. Die Bilder 4 und 5 zeigen Werte des Ausbreitungswiderstandes für Oberflächenerder bzw. Tiefererder in Abhängigkeit von der Gesamtlänge.

2) Die Gleichung gilt für gleiche Kettenleiterimpedanzen der Freileitungen.

Bei sehr langen Oberflächenerdern (z. B. Kabel mit Erderwirkung) nimmt der Ausbreitungswiderstand zwar mit der Länge ab, nähert sich aber einem Endwert (siehe Bild 6).

Tabelle 1. **Spezifische Erdwiderstände für die Frequenzen technischer Wechselströme (Bereich von Werten, die häufiger gemessen wurden)**

Bodenart	Spezifischer Erdwiderstand ϱ_E Ωm
Moorboden	5 bis 40
Lehm, Ton, Humus	20 bis 200
Sand	200 bis 2500
Kies	2000 bis 3000
Gebirge	
Verwittertes Gestein	meist unter 1000
Granit, Grauwacke	2000 bis 3000

Bei Fundamentenerdern darf so gerechnet werden, als wenn der Leiter im umgebenden Erdreich verlegt wäre.

Der Ausbreitungswiderstand eines Maschenerders ist näherungsweise

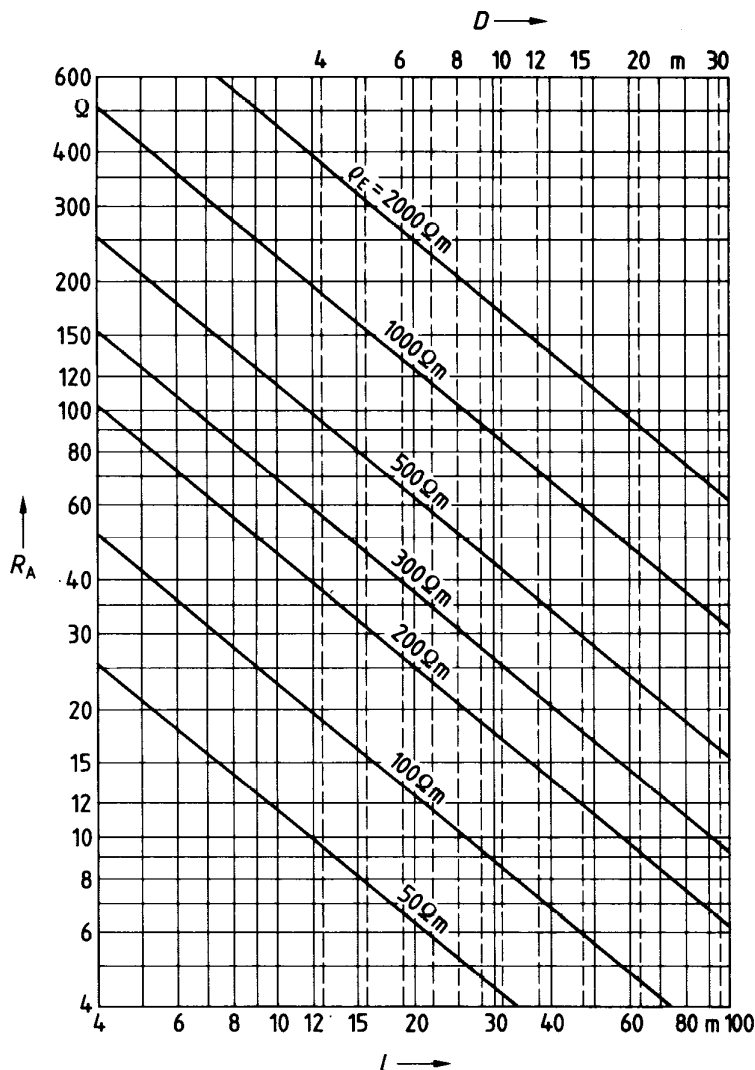
$$R_A = \frac{\varrho_E}{2D} \quad (1)$$

Hierbei ist D der Durchmesser eines Kreises, der den gleichen Flächeninhalt wie der Maschenerder hat.

3.2 Strombelastbarkeit von Erdungsleitungen und Erdern

3.2.1 Angaben für die Strombelastbarkeit von Erdungsleitungen enthalten die Bilder 7 bis 9 und Tabelle 3.

Die dort genannten Endtemperaturen dürfen nur überschritten werden, wenn die dabei auftretende Entfestigung keine Rolle spielt und eine Schädigung der Erdungsleitungen (z. B. bei verzinnenden Leitungen und Leitungen mit Bleimantel) oder ihrer Umgebung (z. B. bei Anschlußstellen an Bleimänteln von Kabeln) nicht zu erwarten ist.



$$\text{Banderder: } R_{AB} = \frac{\varrho_E}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d}$$

$$\text{Ringerder: } R_{AR} = \frac{\varrho_E}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{2\pi D}{d}$$

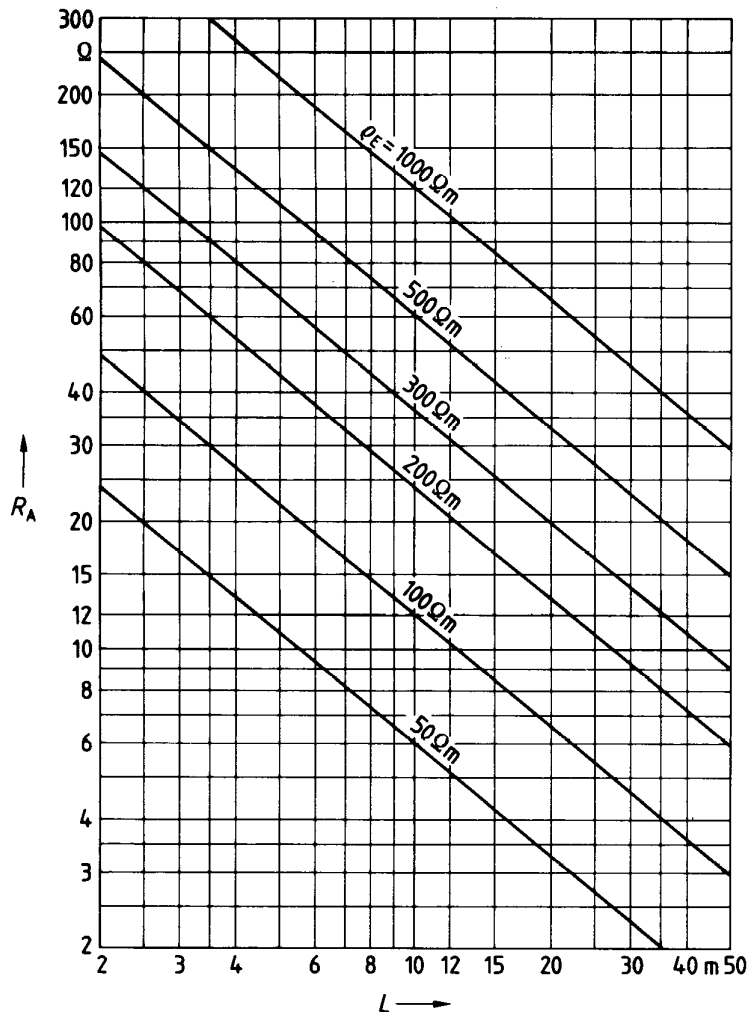
L = Länge des Banderders

$D = \left(= \frac{L}{\pi} \right)$ Durchmesser des Ringerders

d = Durchmesser des Erdungsseils oder halbe Breite eines Erdungsbandes (hier zu 1,5 cm angenommen)

ϱ_E = spezifischer Erdwiderstand in Ωm

Bild 4. Ausbreitungswiderstand von Oberflächenerdern (aus Band, Rundmaterial oder Seil) bei gestreckter Verlegung oder als Ring in homogenem Erdreich



$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d}$$

wobei

 L = Länge des Tiefenerders d = Durchmesser des Erders-
stabes (hier zu 2 cm ange-
nommen) ρ_E = spezifischer Erdwider-
stand in Ωm

Bild 5. Ausbreitungswiderstand von senkrecht in homogenem Erdreich eingebrachten Tiefenerdern

Zur Berechnung der zulässigen Kurzschlußstromdichte G , abhängig von der zulässigen Endtemperatur ϑ_e , kann folgende Gleichung verwendet werden:

$$G = M \cdot \sqrt{\ln \frac{\vartheta_e + \vartheta_0}{\vartheta_a + \vartheta_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_F}} \quad (2)$$

- G Kurzschlußstromdichte in A/mm^2
 M Materialkonstante
 ϑ_0 Materialkonstante in $^\circ\text{C}$
 ϑ_e gewählte zulässige Endtemperatur in $^\circ\text{C}$
 ϑ_a Ausgangstemperatur in $^\circ\text{C}$
 t_F Dauer des Fehlerstromes in s

Tabelle 2.

Material- konstante	Kupfer	Aluminium	Stahl
M	226	148	78
ϑ_0	235 $^\circ\text{C}$	228 $^\circ\text{C}$	202 $^\circ\text{C}$

Zur Umrechnung der Dauerströme bei 300 $^\circ\text{C}$ Endtemperatur auf andere Endtemperaturen gelten die Faktoren der Tabelle 3.

3.2.2 Erder brauchen nach Tabelle 4, Spalte 4, nur in Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung auf Strombelastbarkeit bemessen zu werden. Hierfür gilt Bild 7 und Gleichung (2).

Tabelle 3. Faktoren zur Umrechnung des Dauerstromes bei 300 $^\circ\text{C}$ Endtemperatur auf andere Endtemperaturen

Endtemperatur $^\circ\text{C}$	Umrechnungsfaktor
400	1,20
350	1,10
300	1,00
250	0,90
200	0,80
150	0,70
100	0,55

4 Bemessung von Erdungsanlagen

4.1 Allgemeines

4.1.1 Die Erdungsanlagen müssen im Hinblick auf die thermische Belastung und auf die Spannungen an der Erdungsanlage bemessen werden.

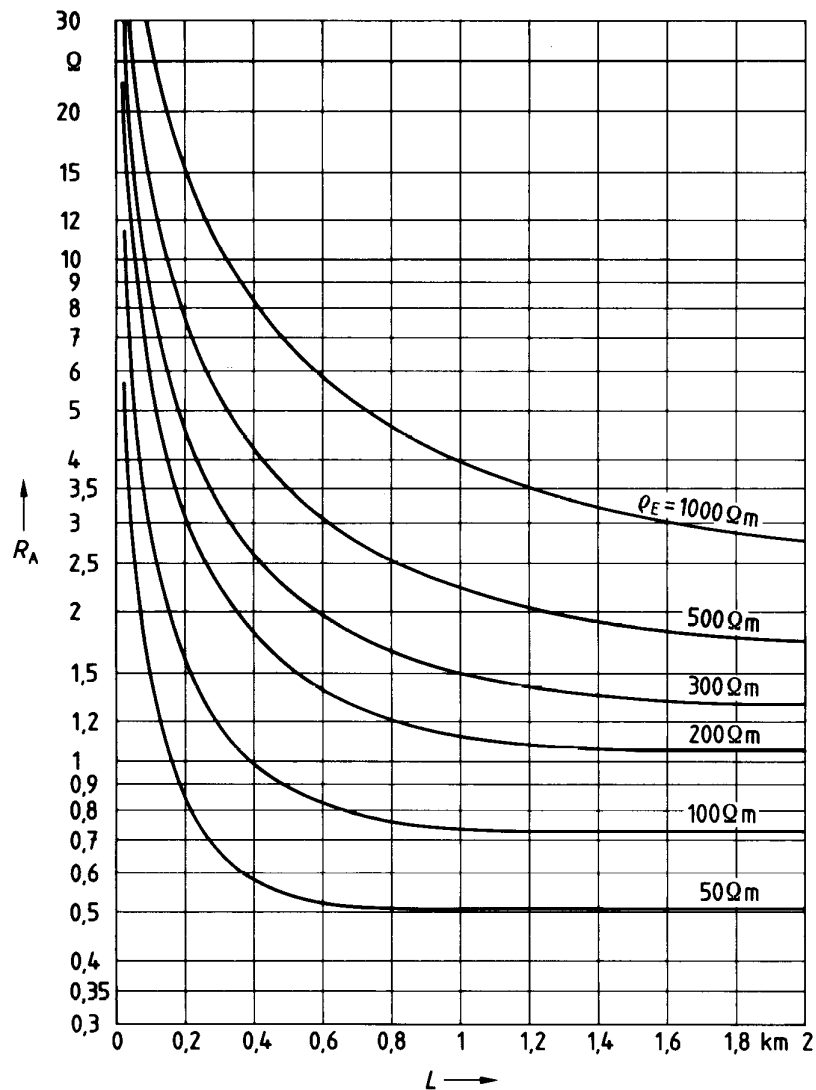


Bild 6. Ausbreitungswiderstand eines Kabels mit Erderwirkung (z. B. NKBA) in Abhängigkeit von der Länge des Kabels und vom spezifischen Erdwiderstand

4.1.2 Erdungs- und Berührungsspannungen einer Erdungsanlage dürfen aus bekannten Daten (spezifischer Erdwiderstand, Erdungsimpedanz bestehender Erdungsanlagen) errechnet werden. Dabei dürfen alle mit der betrachteten Erdungsanlage zuverlässig und ausreichend stromtragfähig verbundenen Erder und Erdungsanlagen berücksichtigt werden. Insbesondere gilt dies für angeschlossene Erdseile, Bodenseile und Kabel mit Erderwirkung. Es gilt aber auch für Erdungsanlagen, die über leitfähige Kabelmäntel oder -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise mit der betrachteten Erdungsanlage leitend verbunden sind.

Bei einem Nachweis durch Messung sind die Abschnitte 7.2 bis 7.6 zu beachten.

4.1.3 Die Bemessung der Erdungsanlage wird durch den Strom, der im Fehlerfalle durch den betreffenden Teil der Erdungsanlage fließt, und durch die Ausschaltzeit bei ordnungsgemäßem Arbeiten der Schutzeinrichtungen und Schalter bestimmt.

4.1.4 In Anlagen mit Netzen verschiedener Nennspannung und gemeinsamer Erdungsanlage muß die Bedin-

gung nach Abschnitt 4.1.3 für die Anlagen jedes Netzes erfüllt sein. Gleichzeitige Fehler in verschiedenen Netzen brauchen nicht angenommen zu werden.

4.1.5 Die Anforderungen nach den Abschnitten 4.1.1 bis 4.1.4 gelten nicht für vorübergehende Erdungen an Arbeits- und Ausschaltstellen (siehe Abschnitt 5.7.2).

4.1.6 Für Anlagen mit Nennspannungen von 110 kV und darüber wird zusätzlich auf die „Empfehlungen für Maßnahmen zur Herabsetzung von transienten Überspannungen in Sekundärleitungen innerhalb von Hochspannungsschaltanlagen“ hingewiesen³⁾.

4.2 Bemessung von Erdern, Werkstoffe

4.2.1 Die mit Rücksicht auf mechanische Festigkeit und Korrosion erforderlichen Mindestabmessungen und einzuhaltenden Bedingungen für Erder sind in Tabelle 4 festgelegt.

³⁾ VDEW – Ringbuch Schutztechnik. Herausgegeben von der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW).