

## Was versteht man unter...

### Ausbreitungswiderstand

Elektrischer Widerstand des Erdreichs zwischen einem Erder und der sich außerhalb seines Einflussbereichs befindenden Bezugserde.

#### Allgemeines

Der Ausbreitungswiderstand  $R_A$  (engl. area-resistance) eines Einzelerders oder einer Erderanlage ist der Quotient aus

- dem örtlich vorhandenen spezifischen Erdwiderstand  $\rho_E$  (griech. Rho) und
- einer geometrischen Größe, die insbesondere von der Länge des Erders – bei kreisförmigen Erderanordnungen von deren Durchmesser – abhängt.

Der Querschnitt oder Durchmesser des Einzelerders spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Die Addition des Ausbreitungswiderstands und des verhältnismäßig kleinen Widerstands der mit den Erdern verbundenen Erdungsleiter ergibt den ohmschen **Erdungswiderstand**  $R_E$  (engl. earth-resistance), in Wechselstromanlagen auch **Erdungsimpedanz**  $Z_E$  (engl. earth-impedance) genannt.

#### Berechnung

Für die Berechnung des Ausbreitungswiderstands<sup>1)</sup> von ausgewählten, oft angewendeten Erderanordnungen gelten die Formeln nach DIN VDE 0101 [1], s. Tafel 1. Der dazu erforderliche **spezifische Erdwiderstand**  $\rho_E$  (engl. specific electric resistivity) kann für die einzelnen Erdschichten durch geoelektrische Messungen, z. B. nach dem Viersonden-Wenner-Verfahren, exakt ermittelt oder als Richtwert der Tafel 2 entnommen werden. Ausgetrocknetes oder gefrorenes Erdreich ist ein vergleichsweise schlechter elektrischer Leiter. Der Wert des spezifischen Erdwiderstands  $\rho_E$  liegt in diesem Fall meist über 1000  $\Omega \cdot m$ .

Relativ einfach kann der Ausbreitungswiderstand von senkrecht in homogenem Erdreich eingebrachten Tiefenerdern sowie von waagrecht verlegten Band- oder Ringerdern (Verlegetiefe max. 1,5 m) anhand der Bilder 1 und 2 ermittelt werden.

Werden  $n$  Stab- oder Rohrerder vertikal in den Erdboden eingebracht, so beträgt der Gesamtausbreitungswiderstand  $R_A$  der parallel geschalteten Einzelerder:

$$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_{A1}} + \frac{1}{R_{A2}} + \dots + \frac{1}{R_{An}}}$$

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich bei einer engen Anordnung die Einzelerder in ihrer Wirkungsweise gegenseitig beeinflussen können. Der Erderabstand untereinander sollte deshalb bei

- waagrecht verlegten Oberflächenerdern 5 m und bei
- senkrecht oder schräg angeordneten Tiefenerdern mit einer wirksamen Länge  $l_w$  – bis 3 m die doppelte Erderlänge und – über 3 m die einfache Erderlänge nicht unterschreiten.

### Drehrichtung

Bewegungsrichtung des Läufers einer drehenden elektrischen Maschine oder der Zählerscheibe eines Elektrizitätszählers.

#### Allgemeines

Die Bewegungsrichtung (Drehrichtung, engl. direction of rotation) des Läufers einer elektrischen Maschine, z. B. eines Motors, ist von der Richtung des Drehfelds abhängig. Die Drehrichtung im Uhrzeigersinn gilt als **Rechtslauf** (Normalfall), der Lauf entgegen dem Uhrzeigersinn als **Linkslauf** [2]. Mitunter wird die geforderte Drehrichtung (Drehsinn) an der Maschine mit einem Pfeil angegeben.

Die Drehrichtung eines Elektromotors wird

von dessen Antriebsseite bestimmt. Als Antriebsseite gilt die Seite mit dem Wellenstumpf. Bei Motoren mit zwei Wellenenden gilt als Antriebsseite die Seite mit dem größeren Wellendurchmesser oder jene Seite, die dem (Motor-)Ventilator gegenüberliegt.

#### Drehrichtungsumkehr

Eine Drehrichtungsumkehr erfordert grundsätzlich eine Drehfeldumkehr. Zu diesem Zweck sind z. B. bei Drehstrommotoren zwei der drei Außenleiter an den Anschlussstellen zu vertauschen. Bei Motoren mit Stern-Dreieck-Anlauf muss diese Vertauschung der Leiteranschlüsse vor dem Stern-Dreieck-Schalter erfolgen.

Durch Umpolen der Läuferwicklung kann die Drehrichtung eines Drehstrommotors nicht geändert werden, da der Läufer

Tafel 2 Spezifischer Erdwiderstand  $\rho_E$  verschiedener Bodenarten (Richtwerte)

Bodenart	$\rho_E$ in $\Omega \cdot m$
Mergel, Torf, Humus (feucht)	5 ... 15
Moorboden	20 ... 50
Lehm-, Ton-, Ackerboden	20 ... 200
Mergel, Torf, Humus (trocken)	50 ... 200
Sandboden, Kies (feucht)	100 ... 500
Sandboden, Kies (trocken)	500 ... 3000
Gipssteiniger Boden (trocken)	500 ... 8000
Schotter, Mutterfels, Basalt	3000 bis 10000

Tafel 1 Formeln zur Berechnung des Ausbreitungswiderstands von Erdern [1]

Erderart	Erderform	Berechnungsformel
Oberflächen-erder	Banderder	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d}$
	Ringerder	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{2\pi \cdot D}{d}$
	Maschenerder	$R_A \approx \frac{\rho_E}{2 \cdot D}$ (Näherungsformel)
Tiefenerder	Staberder, Rohrerder	$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l_w} \cdot \ln \frac{4 \cdot l_w}{d}$

Es bedeuten:

$R_A$  Ausbreitungswiderstand eines Erders in  $\Omega$

$\rho_E$  spezifischer Erdwiderstand in  $\Omega \cdot m$

$l$  Länge eines gestreckt verlegten Oberflächenerders oder eines senkrecht bzw. schräg angeordneten Tiefenerders in m.

Wegen der fallenden elektrischen Leitfähigkeit der oberen Erdschicht bei lang andauernder Trockenheit oder strengem Bodenfrost ist die Gesamtlänge  $l$  eines Tiefenerders grundsätzlich um 0,7 m zu reduzieren. Die **wirksame Erderlänge** beträgt bei diesen Erdern mithin:

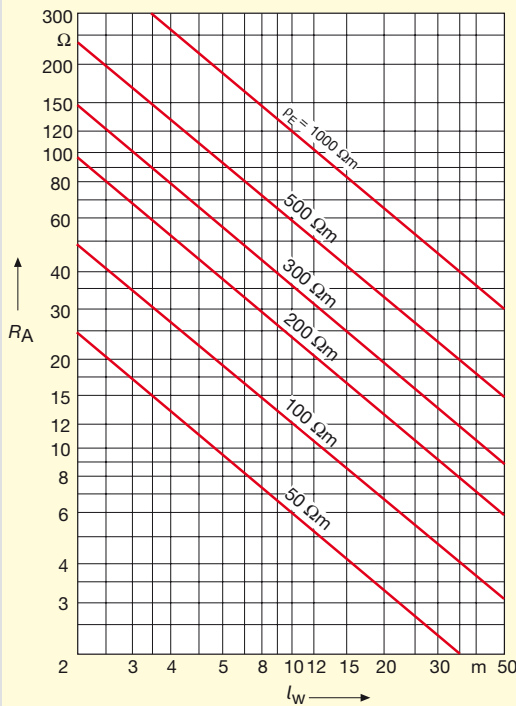
$$l_w = l - 0,7 \text{ m.}$$

$d$  halbe Breite des Erderbands eines Oberflächenerders (Band- oder Ringerder) oder Durchmesser eines Erders mit kreisrundem Querschnitt, z. B. eines Stab- oder Rohrerders, in m

$D$  Durchmesser eines Ringerders ( $D = l : \pi$ ) bei dessen annähernd kreisförmiger Anordnung oder Durchmesser eines Kreises mit dem gleichen Flächeninhalt wie ein Maschenerder in m

$\ln$  natürlicher Logarithmus mit der Basis  $e = 2,7182818$  (Euler'sche Zahl)

$\pi$  Ludolfzahl (griech. Pi);  $\pi \approx 3,14$

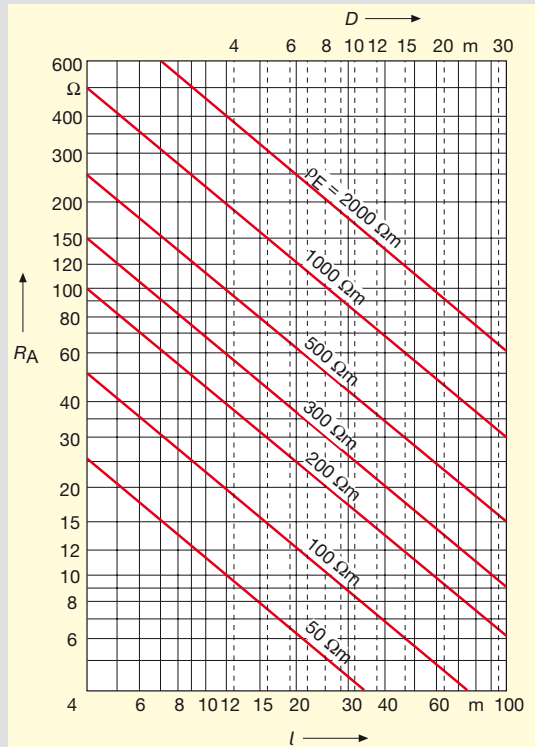


① Ausbreitungswiderstand  $R_A$  von senkrecht oder schräg angeordneten Tiefenerdern [1] (links)

$l_w$  wirksame Länge eines Stab- oder Rohrerders

② Ausbreitungswiderstand  $R_A$  von gestreckt oder annähernd kreisförmig verlegten Oberflächenerdern [1] – (rechts)

$l$  Länge eines gestreckt verlegten Bänderders  
 $D$  Durchmesser eines Ringerders ( $D = l : \pi$ ) bei annähernd kreisförmiger Verlegung



strom nicht dem Netz entnommen, sondern durch das umlaufende Drehfeld im Motor selbst erzeugt wird. Ebenso führt die zyklische Vertauschung der drei Außenleiter eines Drehstromsystems (Ringtausch) zu keiner Drehrichtungsumkehr. Bei Gleichstrommotoren lässt sich die Drehrichtung umkehren, indem entweder

- der Anker einschließlich der Wendepolwicklung oder
- das Feld, d. h. die Erregerwicklung, umgepolzt wird.

Beim Umpolen des Ankers ist also die Wendepolwicklung immer mit umzupolen. Bei einer verkehrten Polung der genannten Wicklung „feuert“ der Motor bei Belastung, weil die durch das Wendepolfeld erzeugte Spannung die Selbstinduktionsspannung der Ankerspule noch vergrößert.

Das Vertauschen der Zuleitungen (Außenleiter L+ und L-) führt bei Gleichstrommotoren zu keiner Drehrichtungsumkehr.

## Schmelzleiter

Strom führender Leiter eines Sicherungseinsatzes, der bei thermischer Überlastung eines Stromkreises oder bei Kurzschluss bestimmungsgemäß schmilzt und damit den Stromkreis unterbricht.

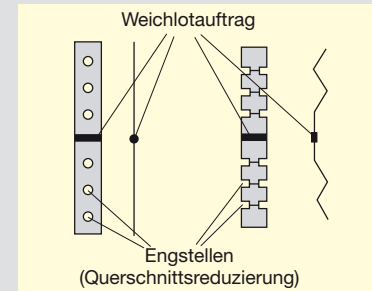
### Allgemeines

Schmelzleiter sind das wichtigste und zugleich komplizierteste Bauteil eines

Sicherungseinsatzes (Schmelzeinsatz). Diese drahtförmigen, bei hohen Bemessungsstromstärken auch bandförmigen Leiter bestehen i. Allg. aus Kupfer (meist mit Zinnaufgabe als Korrosionsschutz), aus Silber oder einer Kupfer-Silber-Legierung. In einem Sicherungseinsatz können zwischen den Kontakten auch mehrere parallel geschaltete Schmelzleiter vorhanden sein.

### Ausführung

Schmelzleiter von Diazed(D)-Sicherungseinsatzen befinden sich zusammen mit dem Löschmittel (Quarzsand) in einem geschlossenen Schmelzkanal. Sie werden zwecks Ausschaltung bei Überlastung (bis etwa dem 8-fachen Bemessungsstrom des Sicherungseinsatzes) mit einer Lötpille versehen, s. Bild ③. An dieser (Sollbruch-) Stelle mit dem Weichlotauftrag tritt bei Stromdurchgang eine hohe Wärmerentwicklung auf. Beim Überschreiten der Grenzstromstärke beginnt die Lötpille – abhängig von der Stromflussdauer – zu schmelzen. Das geschmolzene Lot und der Schmelzleiter bilden eine Legierung mit relativ niedriger elektrischer Leitfähigkeit. Dadurch wird dem Schmelzleiter noch mehr Wärme zugeführt, sodass dieser schließlich „durchbrennt“ und damit den Stromkreis einpolig unterbricht. Schmelzleiter enthalten außerdem – abhängig von der Höhe der jeweiligen Bemessungsspannung – zusätzlich noch mehrere Engstellen, s. Bild ③. Diese Querschnittsreduzierungen, z. B. bei



### ③ Schmelzleiter von D-Sicherungseinsatzen mit Weichlotauftrag und Engstellen

einem gL-Sicherungseinsatz 315 A mit einem Schmelzleiterquerschnitt von 1,6 mm<sup>2</sup> auf etwa 0,2 mm<sup>2</sup>, erleichtern das Ausschalten des Sicherungseinsatzes im Falle eines Kurzschlusses. Die Stromunterbrechung erfolgt an den querschnittsmodulierten Sollbruchstellen gleichzeitig, weil an allen Engstellen des Schmelzleiters die elektrischen Stromdichten und mithin die Temperaturen gleich hoch sind.

R. Müller

### Literatur

- [1] DIN VDE 0101:2000-01 Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV.
- [2] DIN EN 60034-8 (VDE 0530-8):2003-09 Drehende elektrische Maschinen; Anschlussbezeichnungen und Drehsinn.

<sup>1)</sup> Der (Erd-)Ausbreitungswiderstand wurde früher und wird mitunter noch heute „Erdübergangswiderstand“ genannt.