



MIT SICHERHEIT SPANNUNG

## Die Erdung ungeerdeter Stromversorgungen – ein Widerspruch ?

Bei jeder Elektroinstallation, ob im Wohn-, Industrie- oder gewerblichen Bereich, ist eine ordnungsgemäße Erdung eine Grundvoraussetzung für den sicheren Betrieb der Anlage. Netzform und Schutzeinrichtung sind dabei immer zu koordinieren. Auch das umgangssprachlich als ungeerdete Stromversorgungen bezeichnete IT-System muss über ein Erdungssystem verfügen. Gegenüber den geerdeten Stromversorgungen (TN-, TT-System) besteht hier der wesentliche Unterschied darin, dass keine Verbindung der aktiven Leiter mit dem Erdungssystem besteht.

### Die Erdung von Stromversorgungssystemen

Unter der Erde (Bezugserde) wird der elektrisch leitfähige Teil der Erde verstanden, der außerhalb des Einflussbereichs von Erdungsanlagen liegt und dessen elektrisches Potential vereinbarungsgemäß gleich null gesetzt wird. Eine Erdungsanlage besteht dagegen aus der Gesamtheit der zum Erden eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels verwendeten elektrischen Verbindungen und Einrichtungen. Mit der Erdung von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln werden im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt:

- Erdung aus betriebliche Gründen, zur Sicherstellung eines störungs- und gefährdungsfreien Betriebes
- Erdung zum Schutz von Mensch und Tier vor gefährlichen Körperströmen durch Sicherstellen der Abschaltbedingungen.

### Betriebs- und Anlagenerdung in geerdeten Systemen

Die Betriebserde  $R_B$ , ist für ein geerdetes System (TN-, TT-System) ständig erforderlich. Der Widerstand der Betriebserde  $R_B$  soll möglichst klein sein (meist  $\leq 2 \Omega$ ). Die Betriebserde erfolgt üblicherweise am Sternpunkt einer Stromversorgung und wird vom EVU bereitgestellt.

Die Anlagenerdung über den Erdungswiderstand  $R_A$  hat primär das Ziel, in Verbindung mit den Schutz- einrichtungen, Personen und Nutztiere vor gefährlichen Körperströmen zu schützen. Die Anlagenerdung wirkt dann, wenn eine Basisisolierung versagt oder es zu einer direkten Berührung eines aktiven Leiters kommt. Dazu werden die leitfähigen, berührbaren Teile von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln, die im ersten Fehlerfall eine gefährliche Berührungs-



– EIN WIDERSPRUCH?



▶▶▶ spannung annehmen können, mit der Schutzerdung oder dem geerdeten Schutzleiter in der Gesamtheit verbunden. Der zulässige Erdungswiderstand  $R_A$  richtet sich nach der Größe der im Fehlerfall zulässigen Fehlerströme. Im geerdeten System muss sichergestellt werden, dass der Spannungsabfall, den ein Fehlerstrom an dem Widerstand der Schutzterde verursacht, den Wert der vereinbarten Berührungsspannung  $U_B$  nicht überschreitet. Wenn RCDs (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung) für den Fehlerstromschutz verwendet werden, muss die Bedingung

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta n}}$$

erfüllt werden, wobei  $I_{\Delta n}$  dem Auslösestrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) entspricht und  $R_A$  der Summe der Widerstände des Erders.

Bei Betriebsmitteln der Schutzklasse I ist der Schutzleiter ein wichtiger Bestandteil der Schutzmaßnahme. Dies gilt insbesondere in Verbindung mit einer vorgeschalteten Schutzeinrichtung, denn ein Versagen der Basisisolierung muss dann zum Auslösen der Schutzeinrichtung führen.

**Funktions- und Anlagenerdung in ungeerdeten Systemen**

In Deutschland wird bei ungeerdeten Stromversorgungen (IT-Systemen) im Niederspannungsbereich die Funktionserdung  $Z_{Fk}$  der speisenden Spannungsquelle nicht ausgeführt. Ausnahmen bilden hier DC-Stromversorgungen, die aus Gründen der Funktion hochohmig und symmetrisch geerdet werden. Nach Auftreten eines ersten Isolationsfehlers an einem aktiven Leiter ist keine Abschaltung gefordert, da keine gefährliche Berührungsspannung auftreten kann, sofern bei Wechselspannungssystemen die Bedingung

$$R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$$

erfüllt wird.

Dabei ist

$R_A$  Erdungswiderstand = die Summe der Widerstände (in  $\Omega$ ) des Erders und des Schutzleiters zum jeweiligen Körper;

$I_d$  der Fehlerstrom (in A) beim ersten Fehler mit vernachlässigbarer Impedanz zwischen einem Außenleiter und einem Körper. Der Wert von  $I_d$  berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde.

Die Körper der Verbrauchsmittel der Schutzklasse I müssen einzeln, gruppenweise oder gemeinsam geerdet werden. Es muss auch der zweite Fehler beachtet werden. Wenn die Körper der Verbrauchsmittel durch Schutzleiter miteinander verbunden und gemeinsam über dieselbe Erdungsanlage geerdet sind, gilt für Wechselstrom- und Gleichspannungssysteme die Bedingung

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \times I_a}$$

$U$  = Nennwechselspannung zwischen den Außenleitern,

$Z_s$  = Impedanz der Fehlerschleife, bestehend aus dem Außenleiter und dem Schutzleiter des Stromkreises

$I_a$  = der Strom, der die Abschaltung durch eine Schutzeinrichtung innerhalb der für TN-System geforderten Zeit bewirkt.

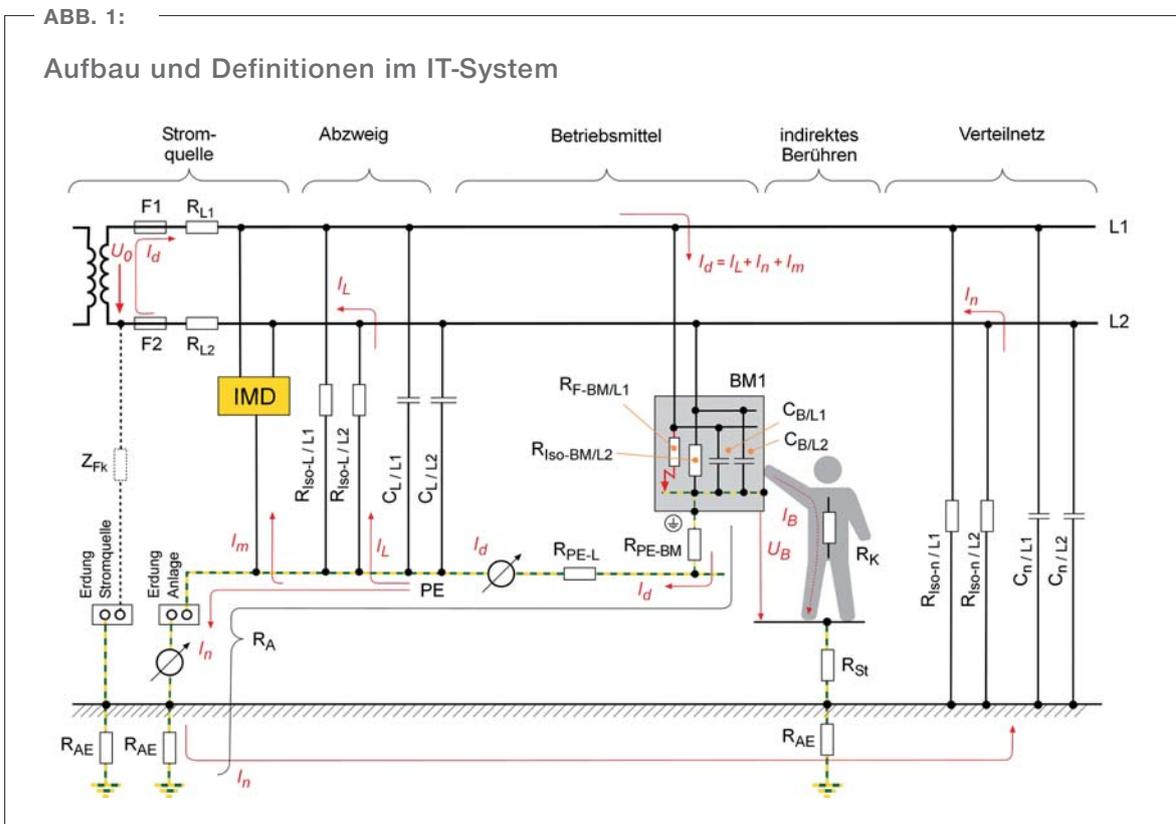


Der Erdungswiderstand in IT-Systemen (ungeerdeten Stromversorgungen)

Der Erdungswiderstand  $R_A$  des Anlagenerders selbst besteht aus zwei Teilwiderständen. Dem Widerstand des Erders  $R_{AE}$ , was letztlich dem Ausbreitungswiderstand entspricht und zwischen dem Erder und einer Bezugerde gemessen wird, wobei als Erde das Erdreich bezeichnet wird sowie dem Widerstand des metallischen Schutzleiters  $R_{PE}$  (das ist der Widerstand des Schutzleiters bzw. Erdleiters, der die Körper der Betriebsmittel mit dem Erder verbindet). Dieser Widerstand ist im Allgemeinen kleiner als der Ausbreitungswiderstand  $R_{AE}$ . Als dritte Größe ist bei einer direkten Berührung noch der Standortwiderstand  $R_{St}$  zu beachten. Abhängig von

den lokalen Gegebenheiten (Feuchtigkeit, Schuhmaterial) kann sich der Standortwiderstand  $R_{St}$  im Bereich von wenigen  $\Omega$  bis hin zum Bereich von einigen Megohm bewegen.

Im Prinzip werden an die Erdungsanlagen von TN- und IT-Systemen vergleichbare Anforderungen gestellt. Auch in IT-Systemen setzt sich der Erdungswiderstand  $R_A$  aus der Summe der Teilwiderstände des Erders  $R_{AE}$ , des Schutzleiters  $R_{PE-L}$  in der Anlage und dem Schutzleiter  $R_{PE-BM}$  bis zum Körper der damit verbundenen Betriebsmittels zusammen.





## ▶▶▶ Erläuterung der Begriffe

## DIE ERDUNG UNGEERDETER STROMVERSORGUNGEN

### – EIN WIDERSPRUCH?

<b><math>C_e</math></b>	Gesamtableitkapazität des zu überwachenden Netzes gegen Erde.
<b><math>C_{B/L\dots}</math></b>	Ableitkapazität der Betriebsmittel zwischen aktiven Leitern und PE.
<b><math>C_{L/L\dots}</math></b>	Ableitkapazität der Kabel- und Leitungsanlage zwischen aktiven Leitern und PE.
<b><math>C_{n/L\dots}</math></b>	Natürliche Ableitkapazität zwischen aktiven Leitern und Erde (Erdreich).
<b><math>I_a</math></b>	Der Strom, der das automatische Abschalten der Abschaltvorrichtung innerhalb der nach DIN VDE 0100-410 Ab. 411.3.2.2 oder 411.3.2.4 angegebenen Zeit bewirkt.
<b><math>I_B</math></b>	Berührungsstrom
<b><math>I_d</math></b>	Fehlerstrom, der beim ersten Fehler mit vernachlässigbarer Impedanz zwischen einem Außenleiter und einem Körper auftritt. Der Wert von $I_d$ berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde.
<b><math>I_L</math></b>	Anteil von $I_d$ , der von der Kabel- und Leitungsanlage bestimmt wird und sich aus dem Isolationswiderstand $R_{Iso-L\dots}$ und den Leitungskapazitäten $C_{L/L\dots}$ zwischen den aktiven Leiter und dem Schutzleiter PE ergibt.
<b><math>I_m</math></b>	Maximaler Messstrom $I_m$ des Isolationsüberwachungsgerätes, der durch den Innenwiderstand und der Messspannung des Isolationsüberwachungsgerätes bestimmt wird. Üblicherweise liegt dieser Wert bei wenigen Mikroampere.
<b><math>I_n</math></b>	Anteil von $I_d$ , der sich aus dem natürlichen Isolationswiderstand $R_{Iso-n/L\dots}$ und den natürlichen Ableitkapazitäten $C_{n/L\dots}$ zwischen den aktiven Leitern und der Erde bzw. Erdreich ergibt.
<b><math>R_A</math></b>	Widerstand des Anlagenerders, wobei sich dieser aus den Teilwiderständen $R_{PE-BM}$ , $R_{PE-L}$ und dem $R_{AE}$ zusammensetzt.
<b><math>R_{AE}</math></b>	Ausbreitungswiderstand des Erders, wird insbesondere durch die Kontaktfläche des Erders mit umgebenen Erdreich bestimmt.
<b><math>R_{Iso-BM}</math></b>	Isolationswiderstand des Betriebsmittels.
<b><math>R_{Iso-L}</math></b>	Isolationswiderstand der Installation zwischen aktiven Leitern und PE (Erdungsschiene).
<b><math>R_{Iso-n}</math></b>	Natürlicher Isolationswiderstand zwischen aktiven Leitern und der Erde (Erdreich).
<b><math>R_K</math></b>	Körperwiderstand des Berührenden
<b><math>R_L</math></b>	Widerstand der Leitung
<b><math>R_{PE-BM}</math></b>	Schutzleiterwiderstand in der Anschlussleitung des Betriebsmittels, typischer Wert 0,3 $\Omega$ .
<b><math>R_{PE-L}</math></b>	Schutzleiterwiderstand vom Anschlusspunkt (PE-Kontakt Steckdose) bis zur Haupterdungsschiene.
<b><math>R_{St}</math></b>	Standortwiderstand, Übergangswiderstand zwischen dem Körper des Berührenden und dem Erdreich.
<b><math>U</math></b>	Nennwechselspannung oder Nenngleichspannung zwischen Außenleitern.
<b><math>U_B</math></b>	Berührungsspannung
<b><math>U_0</math></b>	Nennwechselspannung oder Nenngleichspannung Außenleiter gegen Erde.
<b><math>Z_{Fk}</math></b>	Funktionserdung des IT-Systems über eine ausreichend hohe Impedanz. Die Funktionserdung des IT-Systems über eine ausreichend hohe Impedanz $Z$ wird in Deutschland nur für Mess- oder Funktionszwecke angewendet.
<b>IMD</b>	<b>I</b> nsulation <b>M</b> onitoring <b>D</b> evice = Isolationsüberwachungsgerät.

### ▶▶▶ Der erste Fehler im IT-System

Ein Isolationsüberwachungsgerät (IMD) misst ständig den Isolationswiderstand zwischen allen aktiven Leitern und dem Erdungssystem bzw. Schutzleiter. Der Schutzleiter bzw. das Erdungssystem stellt somit die eine Seite des Messkreises dar. Da der Schutzleiter bzw. der Erdungswiderstand  $R_A$  parallel zum Körperwiderstand  $R_K$  liegt, wird dadurch zusätzliche verhindert, dass sich eine hohe Berührungsspannung über dem Körper aufbauen kann.

Tritt ein nahezu widerstandsloser erster Fehler (Körperschluss) auf, so kommt ein Fehlerstrom  $I_d$  zum Fließen, der im Wesentlichen durch die Summe aller Netzableitkapazitäten  $C_e$  bestimmt wird ( $C_B$  = Summe der Netzableitkapazitäten der einzelnen Betriebsmittel).

$$C_e = \sum C_{L/L1...L3} + \sum C_{B/L1...L3} + \sum C_{B..n/L1...L3}$$

Der ohm'sche Anteil des gesamten Isolationswiderstandes setzt sich ebenfalls aus der Parallelschaltung aller Widerstände zusammen.

$$\frac{1}{R_{ISO}} = \frac{1}{R_{ISO-L}} + \frac{1}{R_{ISO-BM}} + \frac{1}{R_{ISO-n}}$$

Bei niedrigen Netzableitkapazitäten ist auch  $I_d$  sehr klein, so dass auch die Berührungsspannung  $U_B$  deutlich unter der zulässigen Berührungsspannung bleibt. Zusätzlich liegt der Erdungswiderstand  $R_A$  parallel zum Körperwiderstand  $R_B$ , so dass eine hohe Berührungsspannung durch den niederohmigen Anlagenerder bestimmt wird. Anders als in geerdeten Systemen wird das Erdungssystem nicht zum Auslösen einer Schutzeinrichtung benötigt, so dass ein hochohmiger Erdungswiderstand zulässig ist.

Bei einer direkten Berührung im IT-System oder einem unterbrochenen Schutzleiter  $R_{PE-L}$  wird eine kritische Berührungsspannung dadurch verhindert, dass keine leitende Verbindung zwischen aktiven Leitern und dem Erdungssystem besteht. Die zulässige Berührungsspannung entspricht etwa dem Teilungsverhältnis zwischen Körperwiderstand  $R_K$  und der Parallelschaltung der Isolationswiderstände  $R_{ISO-L}$ ,  $R_{ISO-n}$  und  $R_{ISO-BM}$  sowie der vorhandenen Netzspannung bzw. zulässigen Berührungsspannung.

### Anforderungen an das Erdungssystem

Die Anforderungen an das Erdungssystem sind in DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2012-06 definiert. Nach Abschnitt 543.1.1 muss z. B. der Querschnitt jedes Schutzleiters die Bedingungen für die automatische Abschaltung der Stromversorgung erfüllen, die in DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06, 411.3.2 gefordert sind. Außerdem muss er allen mechanischen und thermischen Beanspruchungen, die durch den zu erwarteten Fehlerstrom verursacht werden, bis zur Abschaltung durch die Schutzeinrichtung standhalten.



### ▶▶ ZUSAMMENFASSUNG

Die normativen Anforderungen an die Erdung ungeerdeter Stromversorgungen (IT-Systeme) unterscheiden sich nur unwesentlich von den Anforderungen an geerdete Systeme (TN-/TT-Systeme). Entscheidendes Merkmal für IT-Systeme ist, dass keine Verbindung zwischen den aktiven Leitern und der Erde bzw. Schutzleiter besteht. Dadurch kommt es bei einem ersten Fehler nicht zu einer Betriebsunterbrechung. Zudem ergibt sich durch diesen Aufbau die Möglichkeit, mit einem Isolationsüberwachungsgerät (IMD) nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2007-12 Isolationsfehler frühzeitig zu erkennen und zu beheben, bevor es zu einer ungewollten Betriebsunterbrechung und möglicherweise kritischen Betriebsituation kommt. ■

---

#### AUTOREN:

**Dipl.-Ing. Harald Sellner**

Leiter Normung

Bender GmbH &amp; Co.KG

35305 Grünberg

Mail: Harald.Sellner@bender.de

**Dipl.-Ing. Wolfgang Hofheinz**

35305 Grünberg

#### LITERATURHINWEISE:

**Wolfgang Hofheinz:**

VDE-Schriftenreihe Band 114, 3. Auflage 2011 – Schutztechnik mit Isolationsüberwachung

**DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06**

Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemein

**DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06**

Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag

**DIN VDE 0100-540 VDE 0100-540:2012-06**

Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel

– Erdungsanlagen und Schutzleiter

**DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2007-12**

Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen,

Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme

**DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9):2009-11**

Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen,

Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen Teil 9: Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen

**DIN EN 61557-15 (VDE 0413-15): 2014-06**

Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V - Geräte zum Prüfen,

Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen- Teil 15: Anforderungen zur Funktionalen Sicherheit von

Isolationsüberwachungsgeräten in IT-Systemen und von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen

---

**ANMERKUNG:** Die Normen sind über VDE ([www.vde.com](http://www.vde.com)) bzw. über Beuth ([www.beuth.de](http://www.beuth.de)) zu beziehen.

**Bildnachweis:**

Seite 1: Bender Archiv, Krankenhausgesellschaft St. Vincenz mbh, Fotolia.com: ©The Photo, ©Rumkugel, ©danielschoenen

Seite 2: photocase.de: @cydonna