

AUF EINEN BLICK

Im folgenden Beitrag soll ein Überblick über die normativen Forderungen und Dimensionierungskriterien von Erdungsanlagen sowie dem Potentialausgleich gegeben werden. Abschließend erläutert der Autor die praktische Ausführung von Erdungsanlagen in strukturierter Form. Um dieses Fachgebiet möglichst umfassend zu behandeln, wird dieser Beitrag in drei Teilen erscheinen.

Erdung und Potentialausgleich (1)

Gesamtheitliche Funktion bei unterschiedlichen Anforderungen

Bei der Planung, Errichtung und Prüfung von technischen Anlagen stellen die Erdung und der Potentialausgleich ein zentrales Thema dar. Dabei herrscht in der Praxis sowohl bei der Terminologie als auch bei der Ausführung keine Einheitlichkeit. Es ist also notwendig, sich hinsichtlich der Begriffe und Funktionen Klarheit zu verschaffen.

Grundsätzlich wird als »Erde« der Ort sowie der leitfähige Stoff, z.B. die Bodenart Humus, Lehm, Sand, Kies und Gestein, bezeichnet. Die elektrotechnische Maßnahme Erdung und Potentialausgleich sind allerdings zu differenzieren.

Differenzierung der Begriffe

Bei der Durchführung von **Erdungsmaßnahmen** – unabhängig von der Anforderung und Dimensionierung – wird ein elektrisch leitfähiges Teil über eine Erdungsanlage mit der Erde verbunden. Im Unterschied dazu soll durch die Maßnahme **Potentialausgleich** Potentialgleichheit zwischen leitfähigen Teilen hergestellt werden (Bild 1).

Aufgrund der zahlreichen technischen und normativen Anforderungen der TGA-Planung und Ausführung gibt es auch viele Funktionen, welche Erdungs- und Potentialausgleichsanlagen erfüllen sollen, z. B.:

- Fundamenterder (DIN 18014:2007-09)
- Elektrische Anlagen in Wohngebäuden (DIN 18015:2007-09)
- TAB der VNB (TAB 2007)
- Erdfehlerströme und Schutzleiterströme zur Erde führen und Potentialgleichheit herstellen (DIN VDE 0100-540:2007-06)
- Erhöhung der Wirksamkeit des Schutzpotentialausgleichs (DIN VDE 0100-410:2007-06)
- Potentialausgleich und Erdung von Gebäuden – z. B. mit Einrichtungen der Informationstechnik (DIN VDE 0800-2-310:2006-10)
- Erfüllung der EMV-Richtlinie 2004/108/EG (EMVG 2007)
- Erdungsanlage für den äußeren Blitzschutz (DIN VDE 0185-305-3:2006-10)

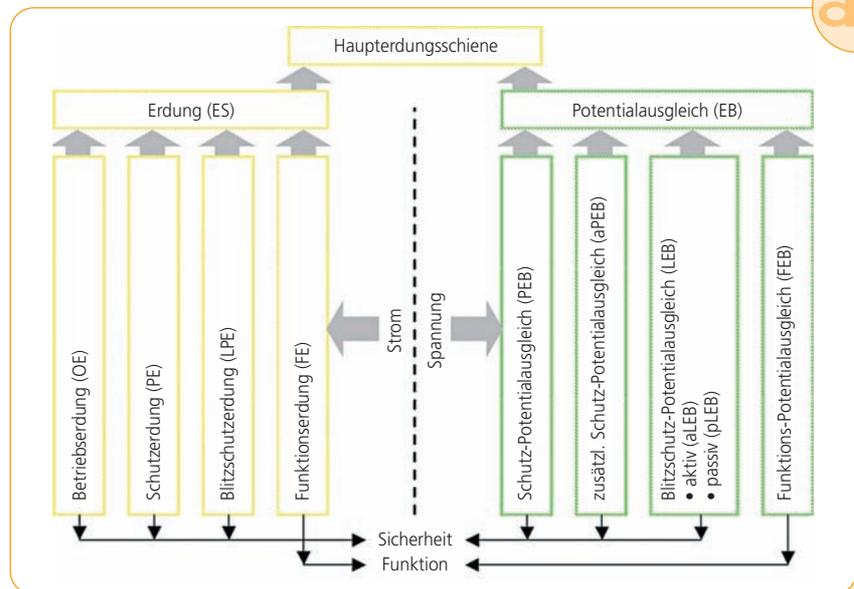


Bild 1: Übersicht Erdung und Potentialausgleich

ARTEN DER ERDUNG

Definition	Norm
Schutzerdung (PE – Protection Earthing): Erdung eines leitfähigen Teils, das nicht zu den spannungsführenden Teilen gehört, um Personen vor gefährlichen Körperströmen zu schützen.	DIN VDE 0101:2000-01, Abs. 2.7.11.1
Betriebserdung (OE – Operational Earthing): Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises, die für den ordnungsgemäßen Betrieb von Geräten oder Anlagen erforderlich ist.	DIN VDE 0101:2000-01, Abs. 2.7.11.2
Blitzschutzerdung (LPE – Lightning Protection Earthing): Erdung zur Ableitung eines Blitzstroms in die Erde.	DIN VDE 0101:2000-01, Abs. 2.7.11.3
Funktionserdung (FE – Functional Earthing): Erdung eines Punktes oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu anderen Zwecken als der elektrischen Sicherheit	DIN VDE 0100-200:2006-06; Abs. 826-13-10

Tabelle 1: Differenzierung des Begriffs Erdung

- Betriebs- und Schutzerdung bei Anlagen über 1 kV (DIN VDE 0101:2000-01 und DIN VDE 0141:2000-01)
- Überspannungsschutz (DIN VDE 0100-442:1997-11, DIN VDE 0100-443:2007-06, DIN VDE 0100-444:1999-10 und DIN VDE 0100-534:2009-02)
- Schutzerdung von Antennenanlagen (DIN VDE 0855-300-2007-10).

Gerade wegen der zahlreichen unterschiedlichen Anforderungen ist es sowohl für den Planer als auch Errichter unerlässlich, hier die einzelnen Parameter auch nach ökonomischen Gesichtspunkten zu differenzieren. Allerdings ist dabei eine Integration in das Gesamtsystem unabdinglich und meist auch gar nicht anders realisierbar.

Was bedeutet Erdung?

Um den Begriff »Erdung« zu unterscheiden, lassen sich verschiedene Anforderungen nennen (Tabelle 1). Dabei ist jedoch jede denkbare Kombination innerhalb einer Anlage möglich. Hierzu stellt man an die unterschiedlichen Erdungsarten spezielle Anforderungen. Wenn z. B. bei Schutzerdungen im Bereich von Transformatoranlagen (Spannungen > 1 kV) sowohl die Fehlerstromtragfähigkeit als auch Schritt- und Berührungsspannung eine entscheidende Rolle spielen, ist insbesondere bei der Blitzschutzerdung die Erdungsimpedanz (unter praktischen Gesichtspunkten), elektrodynamisches Verhalten und die Korrosionsbeständigkeit besonders wichtig.

Es ist also insbesondere der Anwendungszweck zu berücksichtigen. Hierbei hat der Planer sowohl technisch als auch normativ eine Unterscheidung von Erdungsanlagen im NS-Bereich ($U_0 \leq 1 \text{ kV}$ gemäß DIN VDE 0100 – Errichtung von Starkstromanlagen bis 1 kV) und HS-Bereich ($U_0 > 1 \text{ kV}$ → DIN VDE 0101 – Erdungsanlagen Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV) vorzunehmen.

MINDESTQUERSCHNITT

Kupfer	6 mm ²
Aluminium	16 mm ²
Stahl	50 mm ²

Tabelle 2: Mindestquerschnitte hinsichtlich der mechanischen Festigkeit (keine nennenswerten Fehlerströme) gemäß DIN VDE 0100-540:2007-06, Abschnitte 543.1.1 und 544.1.1

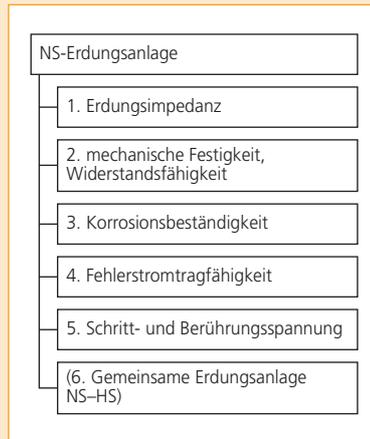


Bild 2: Anforderungen an die Niederspannungserdung

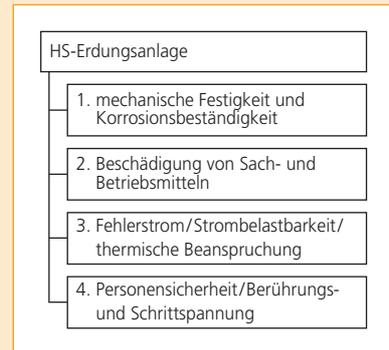
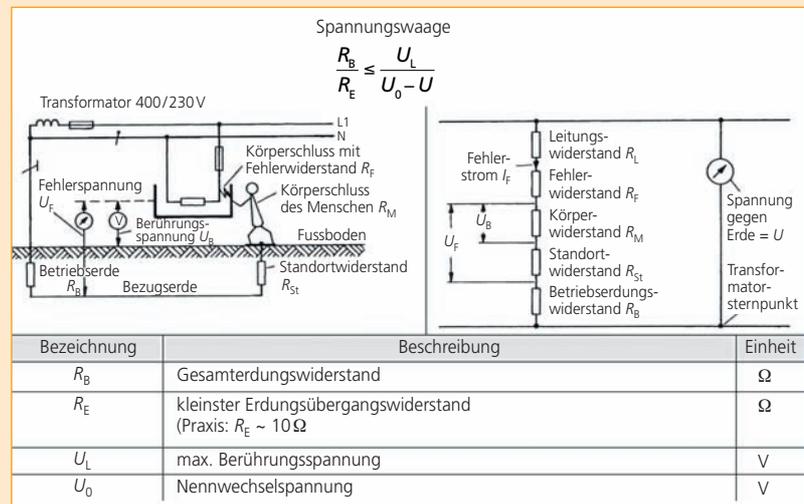


Bild 4: Anforderungen an die Hochspannungserdung

Bild 3: Berührungsspannung anhand der Spannungswaage dargestellt



Quelle: Hösl, Ayx, Busch: Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation; 19. Aufl., Hühig Verlag, 2009



ERDUNGSLEITER – KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT

Erdungsleiterquerschnitte							
		im Erdreich				außerhalb Erdreich	
Korro-sion	mechanische Verlegung				Quer-schnitt	Erdleiterwerkstoff wie stromführender Leiter	
	geschützt		ungeschützt			ja	nein
	Kupfer	Stahl	Kupfer	Stahl		S	$\frac{k_1 \cdot S}{k_2}$
ge-schützt	2,5	10	16	16	$16 < S \leq 35$	16	$\frac{k_1 \cdot 16}{k_2}$
nicht ge-schützt	25	50	25	50	$S > 35$	$\frac{S}{2}$	$\frac{k_1 \cdot S}{k_2 \cdot 2}$

Tabelle 3: Mindestquerschnitte hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit gemäß DIN VDE 0100-540:2007-06, Tabellen 54.2 und 54.3

k_1 : Werkstoffkonstante für Außenleiter
 k_2 : Werkstoffkonstante für Erdleiter

Anforderung an die NS-Erdung

An die NS-Erdung stellt man die Anforderungen gemäß **Bild 2**. Hierzu muss die Erdungsimpedanz den Anforderungen für den Schutz und die Funktion der elektrischen Anlagen entsprechen (z.B. Abschaltbedingungen durch Überschutzsicherungen). Auch das Austrocknen oder Gefrieren des Erdbodens ist dabei zu berücksichtigen.

Unter einem **Erder** versteht man einen nicht isolierten Leiter, der mit Erde in leitendem Kontakt steht oder in Beton eingebettet ist, welcher seinerseits mit der Erde großflächig in Berührung steht. Man spricht hierbei auch von Erdfähigkeit. Die **mechanische**

Festigkeit (Tabelle 2) oder auch **Widerstandsfähigkeit** gegen zu erwartende äußere Einflüsse und Korrosionsbeständigkeit (**Tabelle 3**) sind zu berücksichtigen. Dies gilt ebenso für die **Erdungsleiter**, worunter man Leiter versteht, welche die zu erdenden Anlagenteile mit einem oder mehreren Erden bzw. Erder untereinander verbinden. Des Weiteren sind Vorkehrungen notwendig gegen voraussehbare Schädigungen anderer Metallteile, welche durch die Bildung von Korrosionselementen entstehen können (z.B. elektrolytische Einflüsse durch unterschiedliche Werkstoffe, unterschiedliche Bodenarten oder Mediumwechsel).

Die Belastung durch den **höchsten Erdfehlerstrom** muss ohne Gefahren durch thermische, thermodynamische oder elektrodynamische Beanspruchung beherrscht werden (**Gl. 1**). Besondere Umgebungsbedingungen – z.B. max. zulässige Temperaturen für Verbindungsstellen in feuer- und explosionsgefährdeten Bereichen – sind hier explizit zu beachten.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}, \text{ mit:} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}} \cdot \ln \left(1 + \frac{\Theta_f - \Theta_i}{\beta + \Theta_i} \right)}$$

mit:
• S – Leiterquerschnitt [mm²]

ERDUNGSLEITER – MECHANISCHE FESTIGKEIT

Werkstoff	Erderart	Mindestmaße					
		Leiter			Beschichtung / Mantel		
		Durchmesser [mm]	Querschnitt [mm ²]	Dicke [mm]	Einzelwerte [µm]	Mittelwerte [µm]	
Stahl	feuerverzinkt	Band ²⁾		90	3	63	70
		Profil (einschl. Platten)		90	3	63	70
		Rohr	25		2	47	55
		Rundstab für Tiefenerder	16			63	70
		Runddraht für Oberflächenerder	10				50
	mit Bleimantel ¹⁾	Runddraht für Oberflächenerder	8			1000	
	mit extrudiertem Kupfermantel	Rundstab für Tiefenerder	15			2000	
	elektrolytisch verkupfert	Rundstab für Tiefenerder	14,2			90	100
Kupfer	blank	Band		50	2		
		Runddraht für Oberflächenerder		25 ³⁾			
		Seil		1,8 ^{*)}	25		
		Rohr	20		2		
	verzinkt	Seil	1,8 ^{*)}	25		1	5
	verzinkt	Band		50	2	20	40
	mit Bleimantel ¹⁾	Seil	1,8 ^{*)}	25		1000	
	Runddraht		25		1000		

*) für den Einzeldraht

1) zum direkten Einbetten in Beton nicht geeignet

2) Band, gewalzt oder geschnitten, mit abgerundeten Kanten

3) Unter außergewöhnlichen Bedingungen darf, falls die Erfahrung gezeigt hat, dass die Korrosionsgefahr vernachlässigbar ist, 16 mm² verwendet werden.

Tabelle 4: Mindestquerschnitte – mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit

- I – Fehlerstrom [A]
- t – Fehlerdauer [s]
- k – Werkstofffaktor [–]
- Q_C – volumetrische Wärmekapazität des Leiters [J / °C · mm²]
- β – Reziprokwert des Temperaturkoeffizienten [Ωmm]
- ρ_{20} – spezifischer elektrischer Widerstand [°C]
- Θ_i – Anfangstemperatur des Leiters [°C]
- Θ_f – Endtemperatur des Leiters [°C]

Die maximal zulässige Berührungsspannung ($U_{L_Mensch} = 50V$ AC, 120V DC; $U_{L_Tier} = 25V$ AC, 60V DC) muss gemäß DIN VDE 0100-410:2007-06 durch Spannungsbegrenzung bei Erdschluss eines Außenleiters eingehalten werden (**Bild 3** und **Gl. 2**). Dabei gilt die zulässige Berührungsspannung für NS-Erdungsanlagen in der Regel als eingehalten, wenn eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist:

- Erdungsanlage ist Bestandteil eines globalen Erdungssystems oder
- Erdungsimpedanz des NS-Netzes $Z_E \approx 2\Omega$ oder
- Einhaltung Spannungswaage ($R_B \leq 0,28 \cdot R_E$):

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_L}{U_0 - U} \quad (\text{Gl. 2})$$

Für Hoch- und Niederspannungsnetze dürfen gemäß DIN VDE 0101:2000-01, Abschn. 9.4 **gemeinsame Erdungsanlagen** errichtet und betrieben werden, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt wird:

- Ausführung Globales Erdungssystem
- PEN-Leiter des NS-Netzes ist in der Umspannstation und an weiteren Stellen im NS-Netz geerdet (Normalfall) und für die Erdungsimpedanz Z_E der gemeinsamen Erdungsanlage gilt: $Z_E \leq 3,75\Omega$
- PEN-Leiter des NS-Netzes kann ausschließlich in der Umspannstation geerdet werden (Ausnahme!) und für die Erdungsimpedanz Z_E der gemeinsamen Erdungsanlage gilt: $Z_E \leq 1,85\Omega$

Sollte keine der vorgenannten Bedingungen erfüllt sein, ist die NS- und HS-Erdung zu trennen.

Sowohl für die Planung als auch die Errichtung sind grundlegend nachfolgende Mindestangaben als Dimensionierungskriterium für die NS-Erdungsanlage erforderlich: Anforderung, Fehlerstrom und -dauer, Reduktionsfaktoren, Netzaufbau und Betrachtung von Fehlerfällen.

Mit den **Anforderungen an die Hochspannungserdung** (HS-Erdung) wird sich der nächste Beitrags- teil befassen, wobei hier schon vorab sowohl **Bild 4** als auch **Tabelle 4** einen Überblick geben sollen.

(Fortsetzung folgt)

Dipl.-Ing. (FH) Thorsten-Peter Müller,
Thor-Donar GmbH, Hamburg



MEHR INFOS

Fachbeitrag zum Thema

Müller, T.-P.: Qualität durch Planung – Fachgerechte und strukturierte Planung am Beispiel von EMV und Blitzschutz, »de« 13–14/2008, S. 26 ff.