

# Prüfung von Potentialausgleich und Erdung in elektrotechnischen Anlagen

nach BetrSichV, DGUV Vorschrift 3, VDE 0100-600, VDE 0100-410, VDE 0100-540

---

<b>1 Rechtsgrundlagen</b> .....	1
1.1 Verantwortung und Pflichten des Betreibers elektrischer Anlagen und Betriebsmittel .....	1
<b>2 Netzsysteme (Niederspannung &lt; 1kV)</b> .....	1
2.1 Kennzeichnung der Netzsysteme.....	1
2.2 TN-Netzsystem .....	2
2.3 TT-Netzsystem .....	4
2.4 IT-Netzsystem .....	4
2.5 Symptome in den Netzsystemen.....	7
<b>3 Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag</b> .....	1
3.1 Allgemeines .....	1
3.2 Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag nach DIN VDE 0100-410 .....	7
3.3 Berührungsspannung in fehlerbehafteten Netzsystemen .....	43
<b>4 Potentialausgleich</b> .....	1
4.1 Schutz-Potentialausgleich (Haupterdungsschiene) .....	2
4.2 Funktions-Potentialausgleich (EMV) .....	3
4.3 Schutz-Potentialausgleich über die Haupterdungs-schiene.....	12
4.4 Zusätzlicher Potentialausgleich .....	17
4.5 Schutzleiter und Schutz-Potentialausgleichsleiter .....	21
4.6 Band- und Rohrschellen .....	29
<b>5 Erdung</b> .....	1
5.1 Begriffe und Normen .....	2
5.2 Erdungssystem.....	3
5.3 Dimensionierung von Erdungsanlagen .....	6
5.4 Planung von Erdungsanlagen nach DIN VDE 0100-540 .....	12
5.5 Werkstoffe und Auswahlkriterien für Erder .....	20
5.6 Erdungsleiter .....	25
5.7 Haupterdungsschiene.....	25
5.8 Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen .....	26
5.9 Prüfung von Erdungsanlagen .....	27
5.10 Dokumentation .....	28
<b>6 Prüfungen elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0100-600 und DIN VDE 0105-100</b> .....	1
6.1 Zweck und Umfang elektrischer Anlagenprüfungen .....	1
6.2 Prüfschritte .....	3
6.3 Besichtigen .....	3
6.4 Überstromschutzorgane .....	6
6.5 Kabel und Leitungen.....	15
6.6 Auswahl von Schalt- und Steuergeräten (Schutzeinrichtungen).....	46

6.7 Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene .....	47
6.8 Potentialausgleich und Erdungsanlagen .....	48
6.9 Unfallverhütung und Brandschutz .....	48
6.10 Elektrothermografie .....	48
6.11 Prüfungen durch Erproben und Messen .....	53
6.12 Technische Unterlagen und Kennzeichnungen .....	56
<b>7 Messungen an elektrischen Anlagen, Geräten u. elektrischen Ausrüstungen von Maschinen .1</b>	
7.1 Schutzleiterwiderstand .....	1
7.2 Schleifenimpedanz .....	12
7.3 Messverfahren für das Isoliervermögen .....	17
7.4 Ableitstrommessverfahren.....	21
7.5 Erdungswiderstand.....	30

## 4 Potentialausgleich

Ein elektrisches Potential stellt ein Energieniveau dar. Zwei verschiedene Potentiale ergeben eine Potentialdifferenz. Eine Potentialdifferenz ist eine elektrische Spannung. Hieraus wird die Aufgabe eines Potentialausgleichs deutlich. Er soll Potentiale verschiedener leitfähiger Teile, die verschiedene elektrische Potentiale annehmen können, miteinander verbinden und damit eine Potentialdifferenz, eine gefährliche Berührungsspannung, die zwischen diesen Teilen, auftreten kann, vermeiden.

Unter Potentialausgleich versteht man alle Maßnahmen zum Beseitigen elektrischer Potentialunterschiede (Spannungen) zwischen den berührbaren Körpern elektrischer Betriebsmittel, der Erde und fremden leitfähigen Teilen, wie Wasserleitungen o. ä. Er dient hauptsächlich dem Schutz vor elektrischem Schlag.

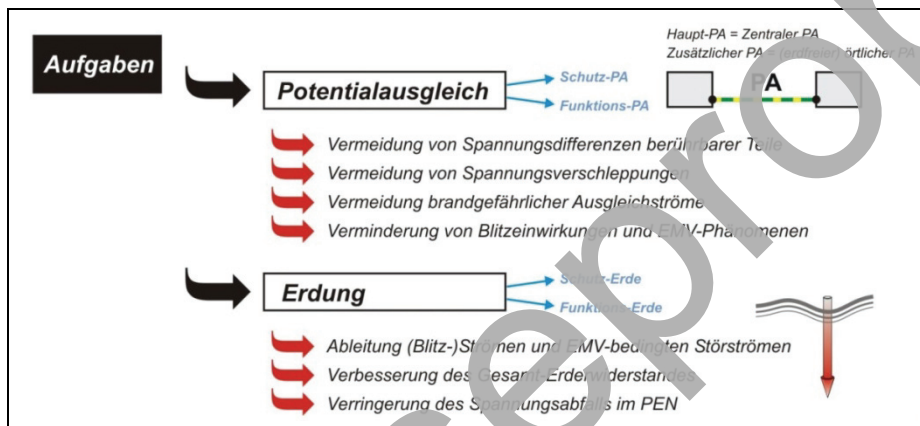


Bild 1: Aufgaben des Potentialausgleichs und der Erdung

Der Potentialausgleich muss im Hausanschlussraum eines jeden Gebäudes errichtet werden. Einzubinden sind neben dem Erdungsleiter und den Schutzleitern der Stromversorgung auch alle Schutzpotentialausgleichsleiter. Alle diese Leiter müssen auf einer Haupterdungsschiene zusammengeführt werden. Über den Erdungsleiter wird eine Verbindung mit dem Fundamenterder hergestellt oder bei alten Gebäuden ohne Fundamenterder mit einem nachzurüstenden anderen Erder. Gegebenenfalls bestehen Verbindungen vom Fundamenterder zu den Ableitungen einer Blitzschutzanlage.

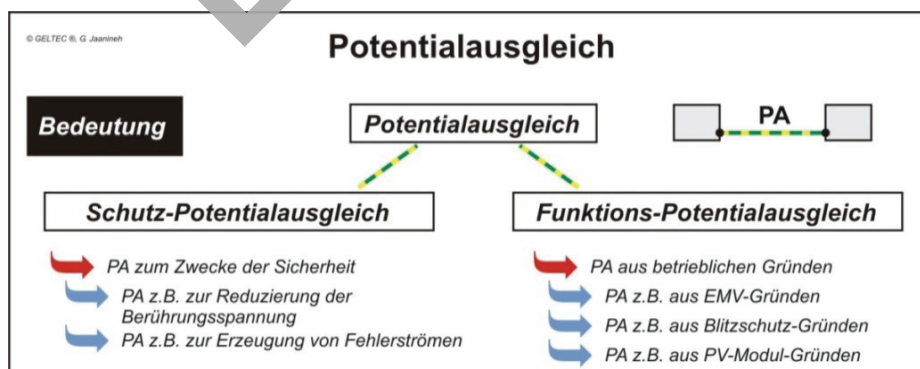


Bild 2: Aufgabe des Schutz- und Funktionspotentialausgleichs

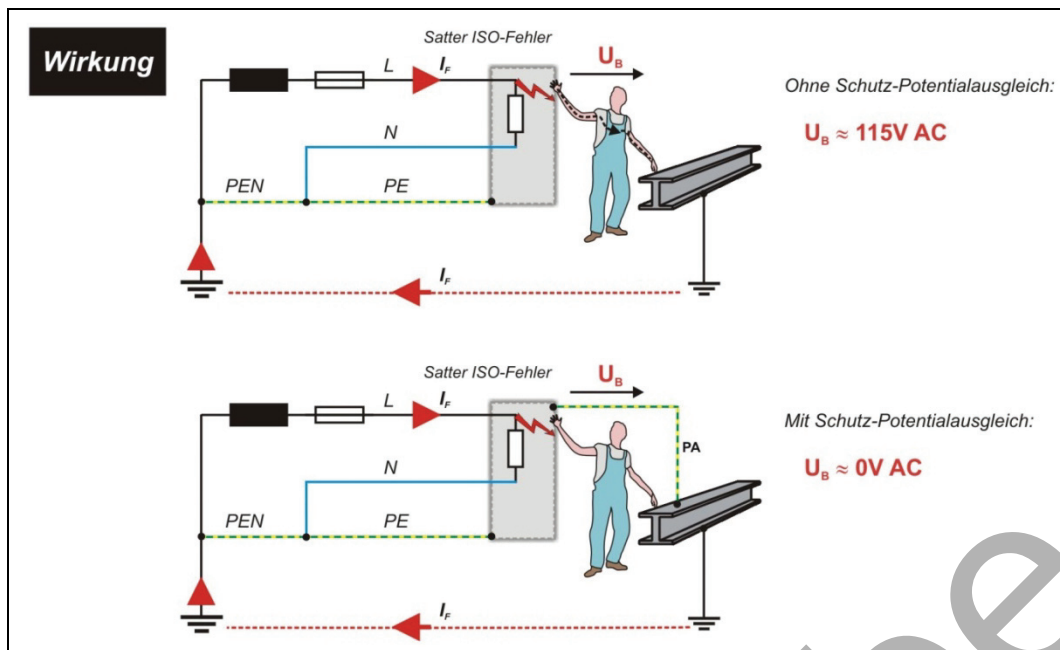


Bild 3: Wirkungsweise des Schutz-Potentialausgleichs

Berührungsspannungen, die im Fehlerfall ohne Potentialausgleich zwischen verschiedenen Systemen auftreten können, werden so vermieden bzw. deutlich herabgesetzt.

Der Schutz-Potentialausgleich bietet Schutz in den Fällen, in denen die Schutzmaßnahmen durch Abschaltung oder Meldung allein nicht greifen oder durch Fehler unwirksam geworden sind. Im letztgenannten Fall kann der Schutz-Potentialausgleich zusätzlich zu seiner primären Aufgabe des Beseitigens bzw. Herabsetzens von Potentialunterschieden die Zuverlässigkeit von Schutzleiter-Schutzmaßnahmen erhöhen, da er zum vorhandenen Schutzleiter elektrisch parallel geschaltet ist und bei einer Schutzleiterunterbrechung die Schutzleiterfunktion gegebenenfalls übernehmen könnte.

Ist eine Installationsanlage als TN-System aufgebaut und deshalb der PEN-Leiter mit der Haupterdungsschiene verbunden, so können die in der Potentialausgleich einbezogenen geerdeten Teile, z.B. Fundamenterder, metallenes Wassernetz, den Betriebserder des Verteilernetzes niederohmiger (verbessern) machen.

Der Haupterdungsschiene wird meist an einer Stelle innerhalb eines Gebäudes ausgeführt. Es gibt keine Grenzwerte für den höchstzulässigen Spannungsfall, der zwischen fremden leitfähigen Teilen innerhalb der Haupterdungsschiene auftreten darf. Die Berührungsspannung kann sich bei einem Fehler innerhalb der Verbraucheranlage daher deutlich von null unterscheiden. Das tritt umso eher ein, je größer die Entfernung und je kleiner der Schutzleiterquerschnitt bis zum Anschlusspunkt der Haupterdungsschiene ist.

## 4.2 Funktions-Potentialausgleich (EMV)

Ein Potentialausgleich, der aus funktionalen Gründen, nicht zum Zweck der elektrischen Sicherheit, errichtet wird, nennt man Funktionspotentialausgleich. Der Funktionspotentialausgleich kann zusätzlich aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) oder für den Gebäudeblitzschutz erforderlich sein, da der Schutzpotentialausgleich und die zugehörige Schutzterde aufgrund ihres Aufbaus nicht geeignet ist, die Bedingungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) einer elektrischen Anlage zu gewährleisten. Der Funktionspotentialausgleich dient bei geschirmten Installationen der Minimierung niederfrequenter elektrischer Wechselfelder.

Der Funktionspotentialausgleich wiederum ist nicht dafür ausgelegt Schutzleiterfunktionen im Sinne der DIN VDE 0100-410 gegen gefährliche Berührungsspannungen zu übernehmen.

Strahlungskopplung: Eine Strahlungskopplung (elektromagnetische Welle-Kopplung) tritt auf, wenn sich die Störquelle im Fernfeld des von einer Störquelle erzeugten Strahlungsfeldes befindet.

### Wann und wo wirkt welche Kopplungsart?

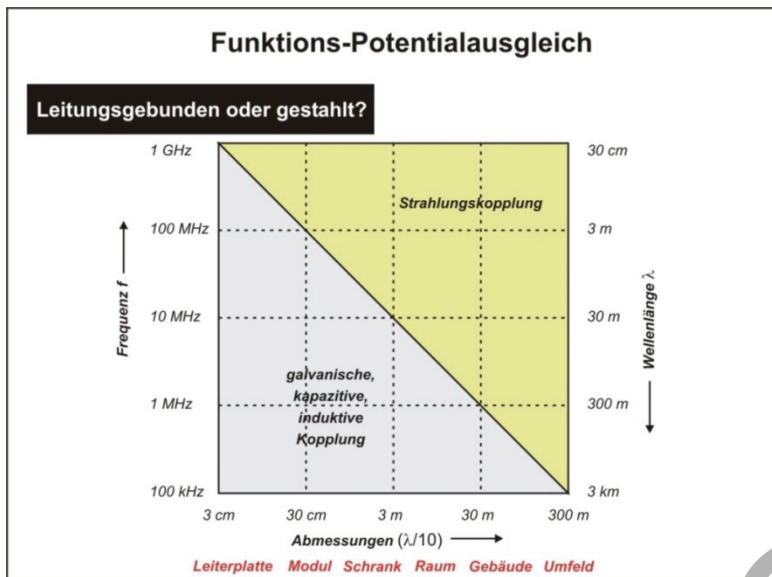


Bild 5: EMV-Kopplungsarten (Auswirkungen)

Es gilt hier der folgende physikalische Zusammenhang:

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

mit:  $c$  = Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle

$\lambda$  = Wellenlänge

$f$  = Frequenz der elektromagnetischen Welle

Solange die Wellenlänge eines Störsignals gegenüber den Geräte- bzw. Kabelabmessungen groß ist, breiten sich elektromagnetische Störgrößen vorwiegend leitungsgeführt oder gekoppelt an das elektrische bzw. magnetische Feld aus.

Liegen die Abmessungen in der Größenordnung von  $\lambda/10$ , werden das Gerät bzw. die angeschlossenen Kabel und Leitungen als Antenne wirksam.

Die kritische Wellenlänge wird üblicherweise mit  $\lambda/10$  angegeben.

Exemplarisch wird ein Störsignal von 100MHz angenommen.

$$\text{Störsignal: } 100\text{MHz} \rightarrow \lambda = \frac{300.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{100.000.000 \frac{1}{\text{s}}} = 3\text{m} \rightarrow \frac{\lambda}{10} = 30\text{cm}$$

Die kritische Länge/Abmessung beträgt 30 cm.

Es ist noch anzumerken, dass in der Praxis die elektromagnetische Welle eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von weniger als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum hat. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit dürfte zwischen 70% bis 90% der Lichtgeschwindigkeit liegen. Entsprechend geringer sind die kritischen Längen einzustufen.

Nebenstehende Abbildung zeigt die zu erwartenden Auswirkungen in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Störgröße:

Die Wellenlänge  $\lambda$  der elektromagnetischen Störgröße ist entscheidend für die Wirkung der Kopplung.

Die Einfluss nehmenden elektrischen Größen, neben der Materialart sind:

- Widerstand je Längeneinheit: Widerstandsbelag  $R'$
- Induktivität je Längeneinheit: Induktivitätsbelag  $L'$
- Kapazität je Längeneinheit: Kapazitätsbelag  $C'$
- Leitwert je Längeneinheit: Leitwertbelag  $G'$

Die vier Parameter werden immer auf die Längeneinheit bezogen angegeben. Der Induktivitätsbelag und der Kapazitätsbelag sind frequenzabhängig.

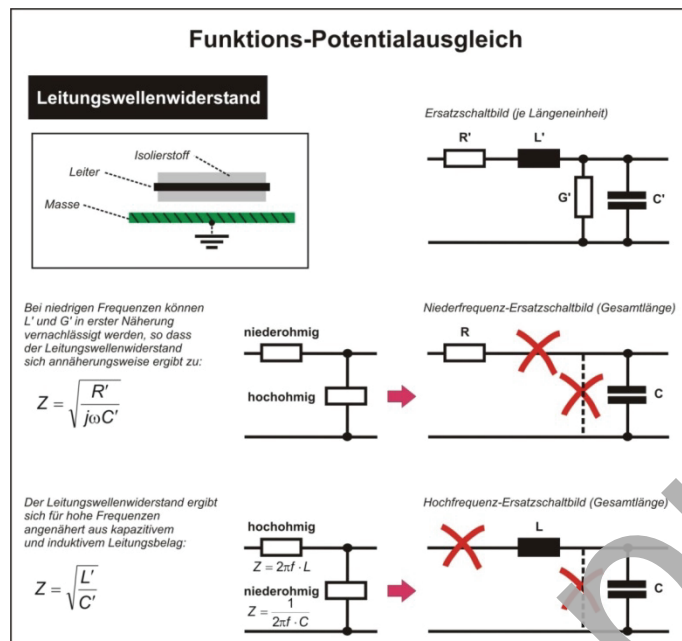


Bild 8: Frequenzverhalten eines elektrischen Leiters (Leitungswellenwiderstand)

Die Formel für den Wellenwiderstand einer elektrischen Leitung (Widerstand der elektromagnetischen Welle je Meter Leitung) beträgt:

allgemein: 
$$Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

sehr niedrige Frequenz (<50Hz): 
$$Z_0 = R = \frac{l}{\chi \cdot A}$$

niedrige Frequenz: 
$$Z_0 = \sqrt{\frac{R'}{j\omega C'}}$$

hohe Frequenz: 
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

⇒ 50Hz Netzfrequenz: Material ist Cu und Länge der Leitung ist = 1m:

$$R = \frac{l}{\chi \cdot A} = \frac{1\text{m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \cdot 1\text{mm}^2} \approx 18\text{m}\Omega$$

### Fazit 1: Leitungsinduktivität

Bei hohen Frequenzen nimmt die Impedanz durch die Induktivität ( $X_L$ ) einer Leitung hohe Werte an.

→ Die Länge der installierten elektrischen Leiter kann nicht mehr vernachlässigt werden.

→ Es treten Signalverzerrungen auf.

## Flächige Verbindung

Aufgrund des Skin-Effektes bei hochfrequenten Strömen, fließen die Elektronen nicht in dem gesamten Leiterquerschnitt, sondern zunehmend an der Leiteroberfläche. Somit ist für die Ableitung hochfrequenter Störströme nicht der Leiterquerschnitt, sondern die Größe der Leiteroberfläche entscheidend.

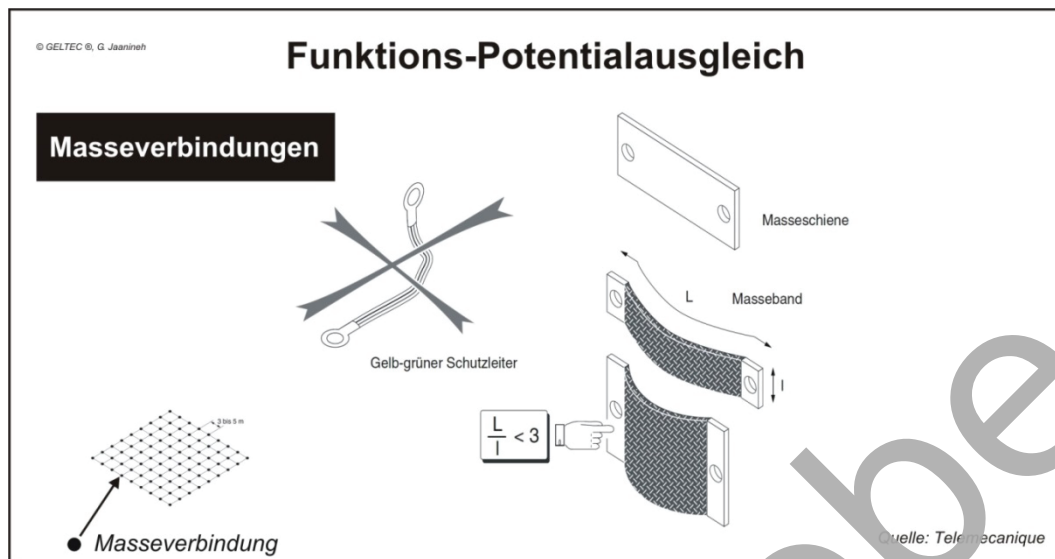


Bild 9: Masseverbindungen: flächig

Runde Leiter haben eine kleinere Oberfläche als rechteckige. Deshalb werden zum Ableiten von EMV-Störgrößen Massebänder eingesetzt.

Wird der Funktions-Potentialausgleich als EMV-Maßnahme gefordert, so ist eine flächige Verbindung von metallischen Anlageteilen mit dem Erder herzustellen. Eine große Oberfläche ist wichtig, um einen flächigen Kontaktanschluss zu ermöglichen. Die Stromtragfähigkeit ist nicht entscheidend.

Rechteckige Massebänder haben aufgrund ihrer größeren Oberfläche, dem geringeren Skin-Effekt und ihrer geringeren Impedanz ein besseres EMV-Verhalten.

Bei Rechteckleitern ist die Induktivität und somit auch die Impedanz (theoretisch) ca. 20% geringer als bei Rundleitern mit gleichem Gesamtquerschnitt. Dies ist besonders bei Frequenzen >10MHz wesentlich. Massebänder sollten möglichst kurz sein - nicht länger als 200mm-, eine großflächige Kontaktfläche haben und ein Seitenverhältnis Länge/Breite von 3:1 bis höchstens 5:1 aufweisen.

## Haupterdungsschiene

Die Haupterdungsschiene (HES) in Niederspannungsverteilungen muss so beschaffen sein, dass ein großflächiger Anschluss von Massebändern möglich ist. Als Material eignen sich rechteckige Kupferschienen mit einem Seitenverhältnis (Länge/Breite) von 3:1 bis maximal 5:1.

## Kontaktflächen

Die Kontaktflächen, an denen die Massebänder angeschlossen werden, dürfen nicht lackiert sein und keine Oxydschichten haben.

Zur Vermeidung von an Kontaktstellen entstehenden Oxydschichten sind, wo immer möglich, geschweißte Verbindungen den Schraubverbindungen vorzuziehen.

## Eisenbleche

Bei der Verwendung von metallischen Montageplatten oder Schottwänden sind verzinkte Eisenblechplatten den chromierten Eisenblechen vorzuziehen. Verzinkte Eisenbleche haben bessere Hochfrequenzeigenschaften.



## Masseverbindungen

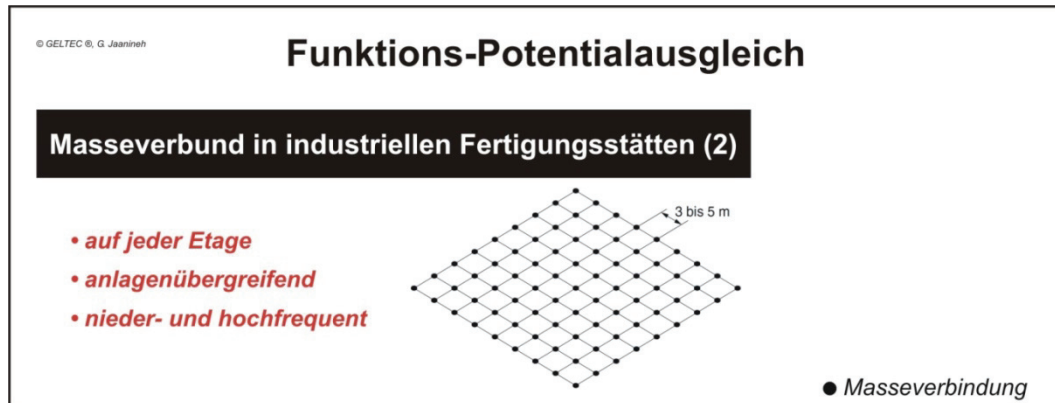


Bild 11: Masseverbund (2)

Masseverbindungen sind, damit ein optimales Langzeitverhalten im nieder- und hochfrequenten Bereich gewährleistet ist, wie folgt auszuführen:

- Vorzugsweise als Schweißverbindung
- direkte Verschraubung zweier metallischer Körper (keinen elektrischen Leiter verwenden)
- Verbindung über ein metallisches Masseband oder eine kurze leitende Verbindung mit ausreichend großer Querschnittsfläche.

Anlagen und Maschinen sind mittels durchgängiger Verbindungen zwischen allen metallischen Strukturen mit einem örtlichen nieder- und hochfrequenten Potentialausgleich aufzubauen. Dieser örtliche Potentialausgleich muss in den übergeordneten Verbund der Gesamtanlage integriert werden, wobei eine maximale Anzahl von verteilten Masseanschlüssen anzustreben ist.

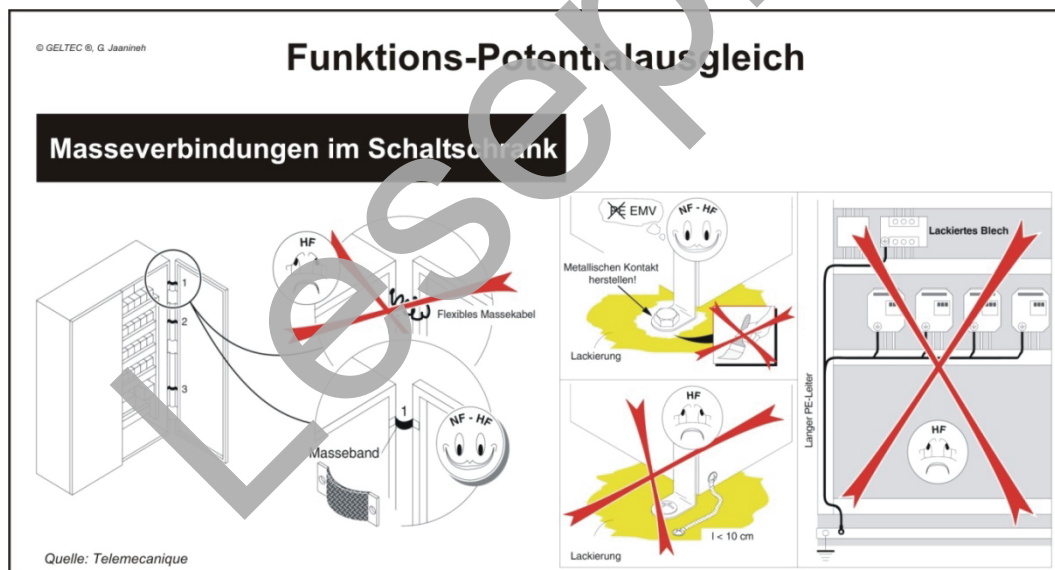


Bild 12: Masseverbindung im Schaltschrank

Schaltschränke sind mit einem Masseblech am Boden auszustatten. Alle Masseanschlüsse von elektrischen Baugruppen, Geräten und Betriebsmitteln sind mit dem Masseblech zu verbinden. Ein dauerhafter elektrischer Kontakt ist zu gewährleisten.

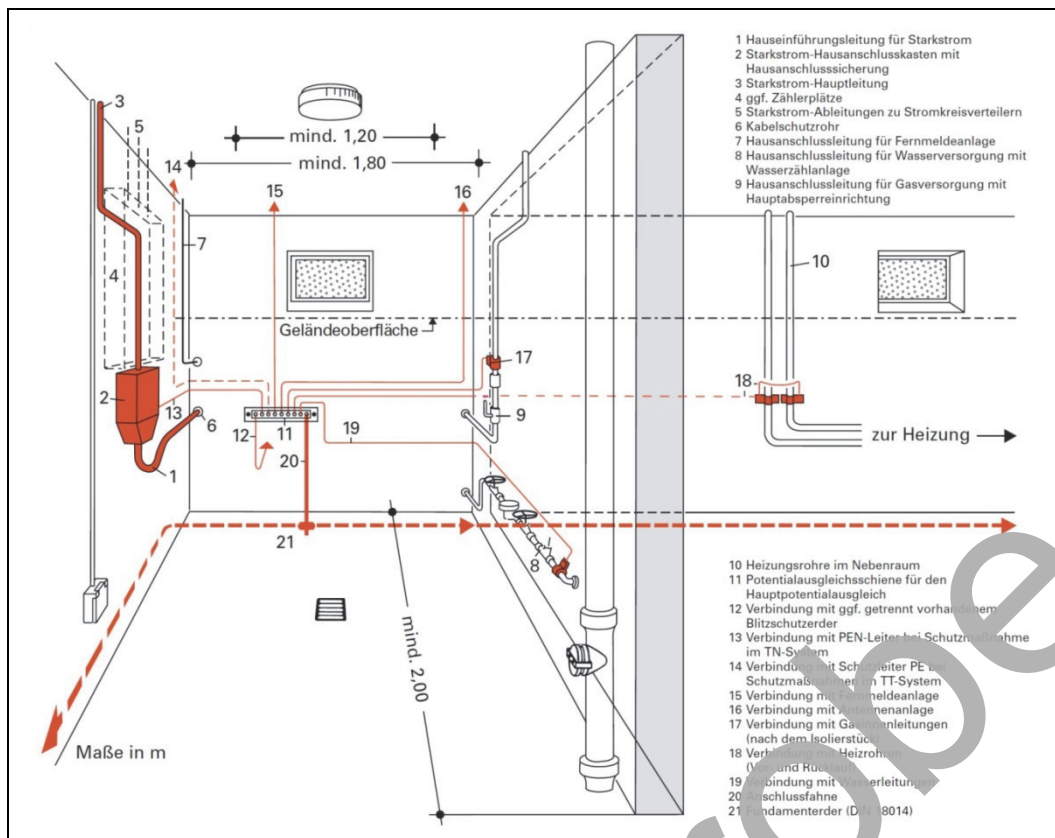


Bild 15: Hausanschlussraum nach DIN 18012 mit Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher HPA)

Nach DIN 18015 sind zur Vermeidung Gefahr bringender Potentialunterschiede u.a. folgende Anlagenteile durch Potentialausgleichsleiter nach DIN VDE 0100-710 und DIN VDE 0100-540 über die Haupterdungsschiene (Potentialausgleichsschiene) zu verbinden:

- Körper der Betriebsmittel (Schutzklasse I)
- fremde leitfähige Teile der Gebäudekonstruktion, sofern im üblichen Gebrauchszustand berührbar,
- elektrisch leitfähige Rohrleitungen (z.B. Rohrleitungen von Versorgungssystemen, die in Gebäude eingeführt sind, z.B. Gas, Wasser)
- elektrisch leitfähige Zentralheizungs- und Klimasysteme
- teilweise auch die Standflächen und Wände im Wirkungsbereich der Haupterdungsschiene und metallene Verstärkungen von Gebäudekonstruktionen aus bewehrtem Beton, wo die Verstärkungen berührbar und zuverlässig untereinander verbunden sind.
- Schutzleiter (PE).

Leitfähigen Teile mit Ausgangspunkt außerhalb des Gebäudes:

- Wo leitfähigen Teile ihren Ausgangspunkt außerhalb des Gebäudes haben, müssen diese so nahe wie möglich an ihrer Eintrittsstelle innerhalb des Gebäudes miteinander verbunden werden.
- Anmerkung: Nach DVGW G 459-1:1998-07 darf das Isolierstück der Gas-Hausanschlussleitung nicht überbrückt werden. Der Anschluss des Schutzpotentialausgleichsleiters hat in Fließrichtung erst hinter dem Isolierstück zu erfolgen.
- Metallmäntel von Fernmeldekabeln und -leitungen müssen mit dem Schutzpotentialausgleich verbunden werden (unter Berücksichtigung der Anforderungen der Eigener oder Betreiber dieser Kabel und Leitungen).