

Grundlagenreihe EMV-Richtlinien

Potentialausgleich innerhalb und außerhalb von Gebäuden

Die grundlegenden Ziele von Erdung und Potentialausgleich sind:

- Sicherheit, durch Begrenzung der Berührungsspannung und der Rückleitung von Fehlerströmen.
- Elektromagnetische Verträglichkeit, durch Vermeidung von Potentialunterschieden und Gewährleistung eines Abschirmeffektes.

Streuströme breiten sich zwangsläufig in einer Erdungsanlage aus. Es ist unmöglich, alle Störquellen an einem Standort zu beseitigen. Erdungsschleifen sind ebenfalls unvermeidlich. Wenn an einem Standort ein magnetisches Feld auftritt, z.B. durch Blitzschlag, entstehen in den von den verschiedenen Leitern gebildeten Schleifen Potentialunterschiede, und Ströme fließen in der Erdungsanlage. Folglich hängt das Erdungssystem direkt von den Gegenmaßnahmen ab, die außerhalb des Gebäudes ergriffen werden.

Solange die Ströme in der Erdungsanlage und nicht in den elektronischen Stromkreisen fließen, richten sie keinen Schaden an. Wenn die Erdungsanlagen jedoch nicht äquipotential sind, z.B. wenn sie sternförmig an den Erder angeschlossen sind, fließen die HF-Streuströme, wo sie können, auch in den Steuerleitern. Geräte können gestört, beschädigt oder sogar ganz zerstört werden.

Das einzige kostengünstige Mittel, um die Ströme in einer Erdungsanlage aufzuteilen und einen ausreichenden Potentialausgleich zu erhalten, ist, die Erdungsanlagen miteinander zu verbinden. Dies trägt zu einem besseren Potentialausgleich innerhalb der Erdungsanlage bei, beseitigt jedoch nicht die Notwendigkeit der Verwendung von Schutzleitern. Um normative Anforderungen in Bezug auf die Personensicherheit einzuhalten, müssen alle Betriebsmittel mit einer ausreichend dimensionierten und gekennzeichneten Schutzleiterverbindung in den Potentialausgleich eingebunden werden. Darüber hinaus muss – möglicherweise mit Ausnahme eines Gebäudes mit einer Stahlkonstruktion – eine große Anzahl an Leitern für den Überspannungsableiter oder das Blitzschutznetz direkt an den Erder angeschlossen werden.

Der grundlegende Unterschied zwischen einem Schutzleiter (PE) und einer Anschlussleitung eines Überspannungsableiters ist, dass der Schutzleiter interne Ströme an den Sternpunkt des Verteiltransformators ableitet, wohingegen die Anschlussleitung eines Überspannungsableiters externen Strom (Überspannungen, hervorgerufen durch Blitzschlag) zum Erder führt.

Es ist ratsam, in einem Gebäude alle leitenden Konstruktionen, vor allem Metallträger, Türrahmen, Rohre usw. in die Erdungsanlage zu integrieren. Im Allgemeinen reicht es aus, Blechkanäle, Kabelwannen und Träger, Rohre, Lüftungskanäle usw. an so vielen Punkten wie möglich anzuschließen. An Orten mit vielen Betriebsmitteln und einer Maschenweite der Erdungsleiter von über vier Metern sollte ein Potentialausgleichsleiter hinzugefügt werden. Die Art des Leiters ist nicht entscheidend, er sollte jedoch eine möglichst große Oberfläche besitzen.

Die Erdungsanlagen von Gebäuden, die über gemeinsame Kabelanschlüsse verfügen, sollten miteinander verbunden werden. Die Verbindung der Erdungsanlagen muss über eine Reihe

von Leitern und aller internen Metallkonstruktionen des Gebäudes oder durch Verbindung der Gebäude (unter der Bedingung, dass diese nicht unterbrochen sind) erfolgen.

In einem Gebäude müssen die verschiedenen Erdungsanlagen (z.B.: Elektronik, EDV, Telekommunikation) zu einem Potentialausgleichssystem miteinander verbunden werden.

Diese Erdungsanlage muss so engmaschig wie möglich gestaltet werden. Wenn die Erdungsanlage äquipotential ist, sind die Potentialunterschiede zwischen den kommunizierenden Geräten gering und viele EMV-Probleme sind gelöst. Potentialunterschiede werden auch bei Isolationsfehlern oder Blitzeinschlägen verringert.

Wenn zwischen Gebäuden kein Potentialausgleich erreicht werden kann oder wenn der Abstand zwischen Gebäuden mehr als zehn Meter beträgt, wird dringend empfohlen, für Kommunikationsverbindungen Lichtwellenleiter und für Mess- und Kommunikationssysteme galvanische Isolatoren zu verwenden.

Diese Maßnahmen sind vorgeschrieben, wenn das Stromversorgungsnetz das IT- TN-C- oder TN-S-System verwendet.

Verbesserung des Potentialausgleichs

Potentialausgleichsanlage

Auch wenn die ideale Potentialausgleichsanlage aus einer großen Oberfläche oder einer vermaschten Anlage bestehen würde, hat die Erfahrung gezeigt, dass bei den meisten Störungen eine Maschenweite von drei Metern für eine vermaschte Potentialausgleichsanlage ausreichend ist.

Abbildung R7 zeigt Beispiele für verschiedene Potentialausgleichsanlagen. Die Mindestanforderung besteht aus einem Leiter (z.B. Kupferkabel oder -streifen), der den Raum umgibt.

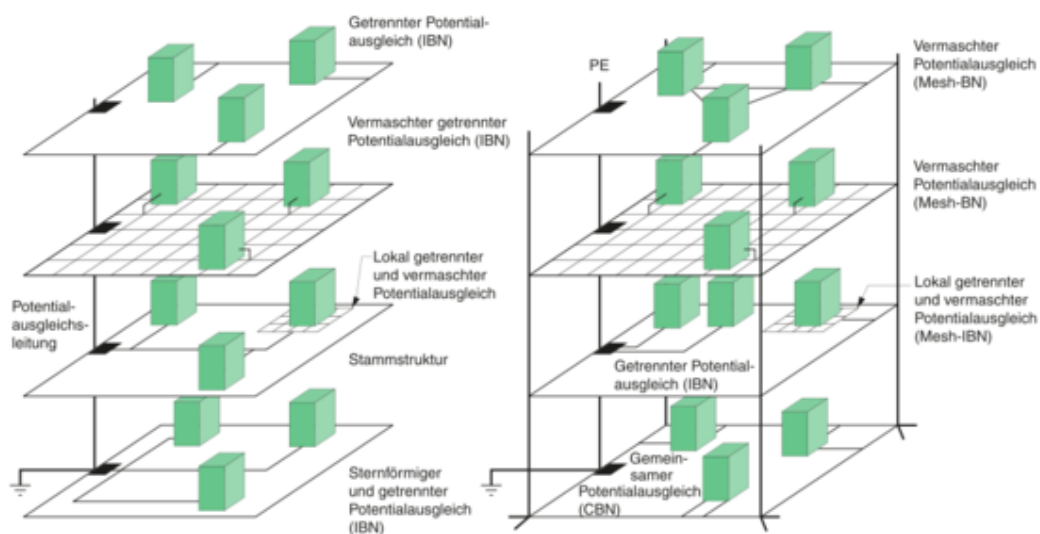


Abb. R7: Beispiele für Potentialausgleichsanlagen

Wenn ein maximaler Schutz gegen elektromagnetische Störungen erreicht werden soll, darf die Länge der Verbindungen zwischen einem Konstruktionsteil und der Potentialausgleichsanlage höchstens 50 cm betragen, und parallel zu der ersten Verbindung sollte in einer bestimmten Entfernung eine zusätzliche Verbindung installiert werden. Die Induktivität der Verbindung zwischen dem Erdungsanschluss des elektrischen Gehäuses für eine Reihe von Betriebsmitteln und der Potentialausgleichsanlage (siehe unten) sollte unter 1 μHenry (0,5 μH , wenn möglich) liegen. Es ist zum Beispiel möglich, einen 50 cm langen Leiter oder zwei einen Meter lange parallele Leiter zu verwenden, die mit einem Mindestabstand zueinander (mindestens 50 cm) installiert werden, um die Induktivität zwischen den beiden Leitern zu verringern.

Wenn möglich, sollte der Anschluss an die Potentialausgleichsanlage an einem Schnittpunkt erfolgen, um die HF-Ströme zu vierteln, ohne die Verbindung zu verlängern. Das Profil der Potentialausgleichsleiter ist nicht von Bedeutung, wobei ein flaches Profil jedoch zu bevorzugen ist. Dieser Leiter sollte ebenfalls so kurz wie möglich sein.

Parallelerdungsleiter (PEC)

Die Aufgabe eines Parallelerdungsleiters ist die Verringerung des Gleichtaktstroms, der in den Leitern fließt, die auch das Gegentaktsignal enthalten können (die Gleichtaktimpedanz und die Schleifenfläche werden verringert).

Der Parallelerdungsleiter muss so konzipiert sein, dass er hohe Ströme aushalten kann, wenn er für den Blitzschutz oder für die Rückleitung von hohen Fehlerströmen verwendet wird. Wenn die Kabelschirmung als Parallelerdungsleiter verwendet wird, können derartig hohe Ströme nicht ausgehalten werden und die Lösung besteht darin, das Kabel an metallischen Konstruktionsteilen oder Kabelführungen entlang zu führen, die dann als weitere Parallelerdungsleiter für das gesamte Kabel fungieren.

Eine andere Möglichkeit ist, das abgeschirmte Kabel neben einem großen Parallelerdungsleiter (PEC) entlang zu führen, wobei sowohl das abgeschirmte Kabel als auch der Parallelerdungsleiter an beiden Enden an die lokale Erdungsklemme des Betriebsmittels oder Gerätes angeschlossen sind.

Bei sehr langen Entfernungen werden für den Parallelerdungsleiter zusätzliche Verbindungen zur Anlage in unregelmäßigen Abständen zwischen den Geräten empfohlen. Diese zusätzlichen Verbindungen stellen eine kürzere Rückleitung für die Störströme dar, die durch den Parallelerdungsleiter fließen.

Bei U-förmigen Kabelführungen, Abschirmungen und Rohren sollten die zusätzlichen Verbindungen außen sein, um die Trennung vom Inneren sicherzustellen (Abschirmeffekt).

Potentialausgleichsleiter

Potentialausgleichsleiter können aus Bandstahl, flachen Bändern oder runden Leitern bestehen. Bei HF-Netzen sind Bandstahl und flache Bänder zu bevorzugen (Skin-Effekt), weil ein runder Leiter eine höhere Impedanz hat als ein flacher Leiter mit demselben Querschnitt. Wenn möglich, sollte das Verhältnis zwischen Dicke und Breite über 5 liegen.

Trennung von Kabeln

Die physikalische Trennung von Stark- und Schwachstromkabeln ist für die EMV sehr wichtig, insbesondere wenn Schwachstromkabel nicht abgeschirmt sind oder wenn die Abschirmung nicht an die berührbaren leitfähigen Teile angeschlossen ist. Die Empfindlichkeit elektronischer Betriebsmittel wird zum größten Teil durch das eingesetzte Kabelsystem bestimmt.

Wenn es keine Trennung gibt (verschiedene Arten von Kabeln in separaten Kabelführungen, Mindestabstand zwischen Stark- und Schwachstromkabeln, Kabelführungsarten usw.), ist die elektromagnetische Kopplung maximal. Unter diesen Bedingungen sind die elektronischen Betriebsmittel hohen EMV-Störungen ausgesetzt, die über das verwendete Kabelsystem hervorgerufen werden.

Die Verwendung von Schienenverteilern, wie das Schienenverteilersystem Canalis von Schneider Electric für Betriebsströme $> 1000\text{ A}$, wird dringend empfohlen.

Die Stärke der abgestrahlten magnetischen Felder ist bei Verwendung dieser Schienenverteilersysteme 10 bis 20 mal geringer als bei Verwendung von Standardkabeln oder -leitungen.

Die Empfehlungen in den Abschnitten „Kabelführung“ und „Installationsempfehlungen“ sollten berücksichtigt werden.

Doppelböden

Der Abschirmeffekt eines Doppelbodens steht in direkter Beziehung zu seiner Äquipotentialität. Wenn der Kontakt zwischen den Bodenplatten schlecht ist (z.B. antistatische Gummidichtungen) oder wenn der Kontakt zwischen den Stützen fehlerhaft ist (Verschmutzung, Korrosion usw. oder wenn keine Stützen vorhanden sind), muss eine vermaschte Potentialausgleichsanlage hinzugefügt werden. In diesem Fall ist es ausreichend, wirksame elektrische Verbindungen zwischen den metallenen Abstützsäulen sicherzustellen. Kleine Klemmfedern sind auf dem Markt erhältlich, um die Metallstützen an die vermaschte Potentialausgleichsanlage anzuschließen. Idealerweise sollte jede Stütze angeschlossen werden, aber oftmals reicht es auch aus, jede zweite Stütze in jeder Richtung anzuschließen. In den meisten Fällen ist ein Netz mit 1,5 bis 2 m Maschenweite ausreichend. Der empfohlene Querschnitt des Kupfers ist 10 mm^2 oder größer. Im Allgemeinen wird ein Flachband verwendet. Um Korrosionseffekte zu verringern, wird empfohlen, verzinnertes Kupfer zu verwenden (siehe Abb. R8).

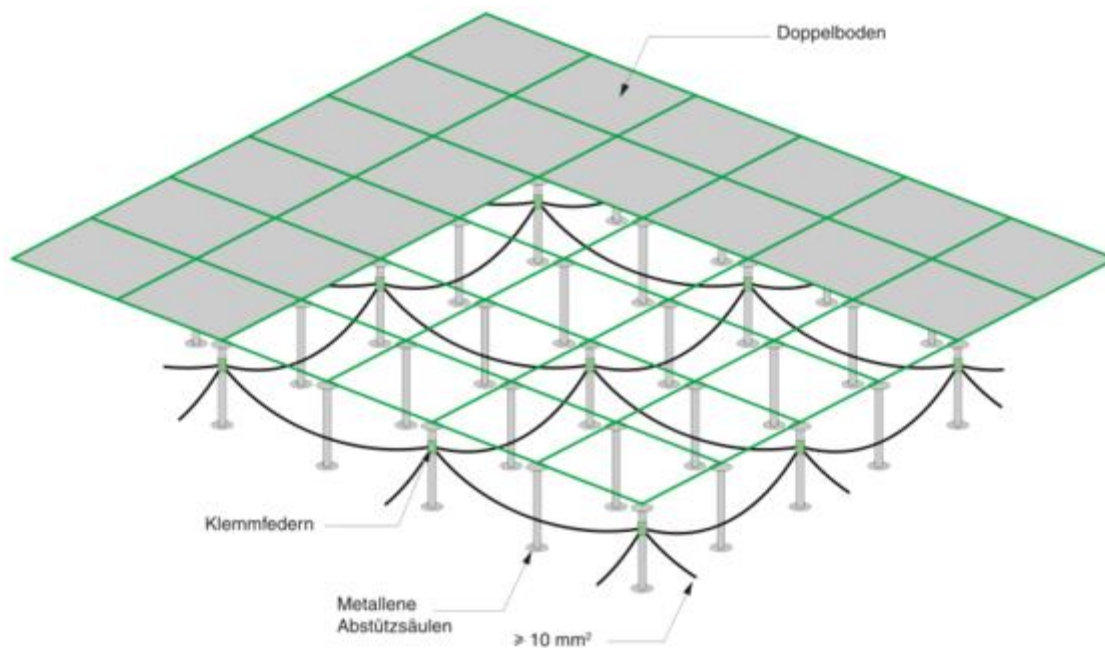


Abb. R8: Einbindung des Doppelbodens

Gelochte Bodenplatten fungieren als normale Bodenplatten, wenn sie ein zelluläres Stahlskelett haben.

Für die Bodenplatten sollte etwa alle fünf Jahre eine präventive Wartung durchgeführt werden (je nach Art der Bodenplatte und der Umgebung wie Feuchtigkeit, Staub und Korrosion). Antistatische Gummi- oder Polymerdichtungen müssen, ähnlich wie die Auflageflächen der Bodenplatten, instandgehalten werden (Reinigung mit geeignetem Produkt).

Kabelführung

Kabelführungssysteme sind in metallener und nichtmetallener Ausführung erhältlich. Einige metallene Werkstoffe bieten einen verbesserten Widerstand gegenüber elektromagnetischer Beeinflussung. Das Kabelführungssystem muss, sofern es leitfähig ist, über seine gesamte Länge eine kontinuierliche, gut leitende Metallkonstruktion bilden, um sicherzustellen, dass es als Parallelerdungsleiter (PEC) wirkt.

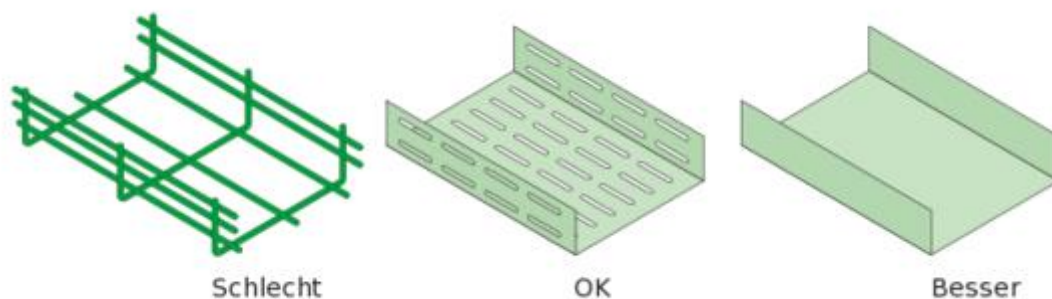
Die Auswahl der Materialien und ihrer Form hängt nach EN 50174-2 (VDE 0800-174-2) von folgenden Kriterien ab:

- Stärke der elektromagnetischen Felder entlang des Kabelweges (Nähe von leitungsführenden und abgestrahlten elektromagnetischen Störquellen),
- zugelassener Pegel der leitungsgeführten und abgestrahlten Störaussendungen,
- Art der Leitungsanlage (geschirmt?, verdreht?, Lichtwellenleiter LWL?),
- Störfestigkeit der an die informationstechnische Leitungsanlage angeschlossenen Geräte,
- andere Umweltbeschränkungen (chemische, mechanische, klimatische, feuergefährliche usw.),
- künftige Erweiterungen der informationstechnischen Leitungsanlage.

Nichtmetallische Kabelführungssysteme sind in den folgenden Fällen geeignet:

- elektromagnetische Umgebung mit dauerhaft geringen Störpegeln,
- die Verkabelung hat einen geringen Abstrahlpegel,
- Situationen, bei denen metallische Kabelführungen vermieden werden sollten (chemische Umgebung),
- Lichtwellenleiter-Verkabelung.

Bei metallischen Systembestandteilen bestimmt weniger der Querschnitt als vielmehr die Form (eben, U-Profil, Röhre usw.) den Wellenwiderstand des Kabelführungssystems. Geschlossene Formen sind am besten (indem sie die Erdungssymmetrieeinkopplung vermindern). Kabelpritschen verfügen häufig über Schlitz zur einfachen Befestigung der Kabel. Die am wenigsten schädlichen sind Pritschen mit einem kleinen Schlitz parallel zur Pritschenachse. Schlitz senkrecht zur Pritschenachse sollten nicht verwendet werden (siehe **Abb. R9**).



In bestimmten Fällen kann eine im Hinblick auf elektromagnetische Störungen schlechte Kabelführung geeignet sein, wenn die elektromagnetische Umgebung schwach ist, wenn geschirmte Kabel oder LWL-Kabel verwendet werden oder wenn für die verschiedenen Kabeltypen (Leistung, Datenverarbeitung usw.) separate Kabelführungen verwendet werden.

Es ist empfehlenswert, in der Kabelführung Platz für eine bestimmte Anzahl an zusätzlichen Kabeln vorzusehen. Die Kabel dürfen nicht so hoch sein wie die Seitenwände der Kabelpritschen (siehe unten). Abdeckungen verbessern ebenfalls die elektromagnetische Verträglichkeit von Kabelführungen.

Beim U-Profil nimmt das magnetische Feld in der Nähe der beiden Kanten ab. Aus diesem Grunde werden tiefe Querschnitte bevorzugt (siehe **Abb. R10**).

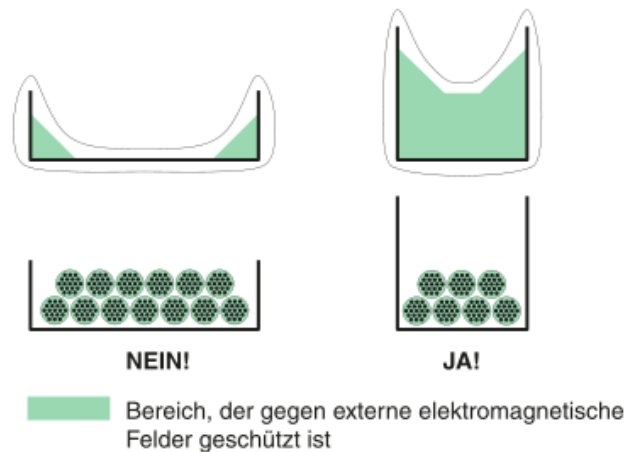


Abb. R10: Kabelanordnung in einem metallenen Elektroinstallationssystem

Verschiedene Kabeltypen (Leistungs- und Schwachstromanschlüsse) sollten nicht im gleichen Bündel oder in der gleichen Kabelführung installiert werden. Kabelführungen sollten immer nur zur Hälfte belegt werden.

Es wird empfohlen, Gruppen mit Hilfe von Abschirmungen oder durch Installation von Kabeln in verschiedenen Kabelführungen elektromagnetisch voneinander zu trennen. Die Qualität der Abschirmung bestimmt den Abstand zwischen den Gruppen. Ist keine Abschirmung vorhanden, müssen ausreichende Abstände eingehalten werden (siehe **Abb. R11**).

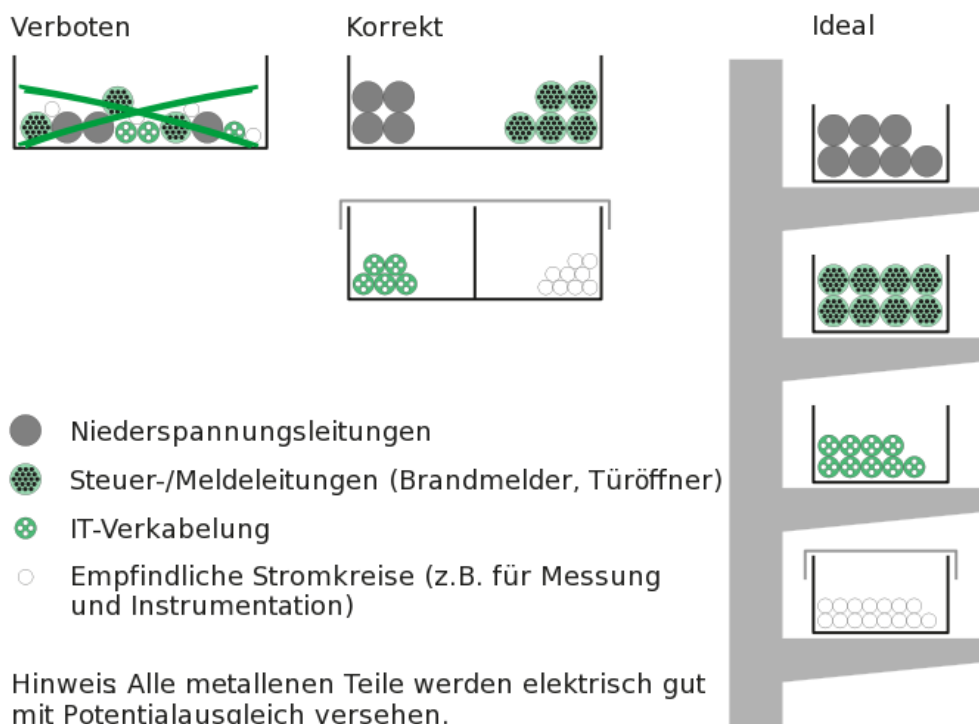


Abb. R11: Empfehlung zur Installation von Kabelgruppen in metallischen Kabelführungen

Metallische Gebäudeteile können für EMV-Zwecke verwendet werden. Stahlträger (L-, H-, U- oder T-förmig) bilden oftmals eine durchgängige geerdete Struktur mit großen Querprofilen und -flächen mit vielen Zwischenerdungsanschlüssen. Kabel sollten, wenn möglich, an derartigen Trägern entlang geführt werden und zwar besser in den Ecken als an den Außenflächen (siehe **Abb. R12**).

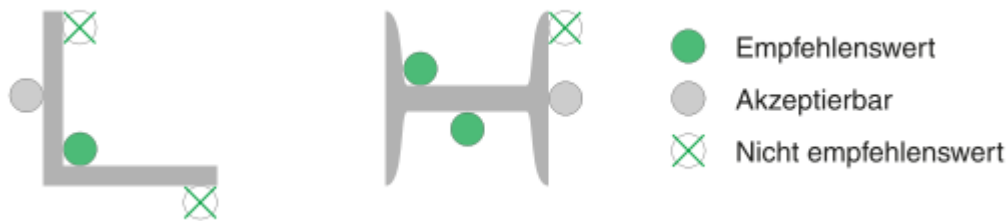


Abb. R12: Platzierung von Kabeln in metallenen Konstruktionsteilen

Beide Enden von metallischen Kabelführungen müssen immer an den Potentialausgleich angeschlossen werden. Bei sehr langen Kabelführungen werden zwischen den angeschlossenen Geräten zusätzliche Anschlüsse an das Potentialausgleichssystem empfohlen. Wenn möglich, sollte der Abstand zwischen diesen Potentialanschlüssen unregelmäßig sein (bei symmetrischen Leitungssystemen), um Resonanz bei identischen Frequenzen zu vermeiden. Alle Anschlüsse an die Erdungsanlage sollten kurz sein.

Es gibt metallische und nichtmetallische Kabelführungen. Metallische Lösungen bieten bessere EMV-Eigenschaften. Eine Kabelführung (Kabelwannen, -kanäle, -klammern usw.) muss vom Anfang bis zum Ende eine durchgängige, leitfähige Metallkonstruktion bilden.

Eine Aluminium-Kabelführung hat einen niedrigeren Gleichstromwiderstand als eine Stahl-Kabelführung der gleichen Größe, aber der Kopplungswiderstand (Z_t) von Stahl fällt bei einer niedrigeren Frequenz ab, insbesondere wenn der Stahl eine hohe relative Permeabilität μ_r hat. Bei Verwendung von unterschiedlichen Metallarten ist Sorgfalt geboten, da in bestimmten Fällen ein direkter elektrischer Anschluss nicht zulässig ist, um Korrosion zu vermeiden. Dies könnte in Bezug auf die EMV ein Nachteil sein.

Wenn an das Leitungssystem angeschlossene Geräte, die ungeschirmte Kabel verwenden, nicht von niederfrequenten Störungen betroffen sind, kann die EMV von nichtmetallischen Kabelführungen durch Hinzufügen eines Parallelerdungsleiters (PEC) in der Kabelführung verbessert werden. Beide Enden müssen an die lokale Erdungsanlage angeschlossen werden. Die Anschlüsse sollten an ein Metallteil mit niedriger Impedanz erfolgen (z.B. eine große Metallwand des Gerätegehäuses). Der PEC sollte für hohe Fehler- und Gleichtaktströme ausgelegt sein.

Implementierung

Wird ein Kabelführungssystem aus Metall oder aus einem für EMV-Zwecke ausgelegten Verbundwerkstoff aus mehreren kürzeren Elementen zusammengesetzt, sollte sorgfältig die Durchgängigkeit durch korrekte Verbindung der verschiedenen Teile sichergestellt werden. Vorzugsweise werden die Teile über ihren gesamten Umfang verschweißt. Genietetete,

verbolzte oder geschraubte Verbindungen sind zulässig, vorausgesetzt, dass die sich berührenden Oberflächen gut leiten (keine Farbe oder isolierende Anstriche) gegen Korrosion geschützt sind und ein guter elektrischer Kontakt zwischen beiden Teilen sichergestellt ist.

Die Form eines metallenen Abschnitts sollte über seine gesamte Länge beibehalten werden. Alle Verbindungen müssen eine geringe Impedanz aufweisen. Eine einzelne kurze Kabelverbindung zwischen zwei Teilen des Kabelführungssystems führt zu einer hohen örtlichen Impedanz und verschlechtert daher die elektromagnetischen Eigenschaften.

Bei Frequenzen über einigen MHz verschlechtert ein 10 cm langes Geflechtband zwischen zwei Teilen des Kabelführungssystems den Schirmeffekt um mehr als den Faktor zehn (siehe **Abb. R13**).

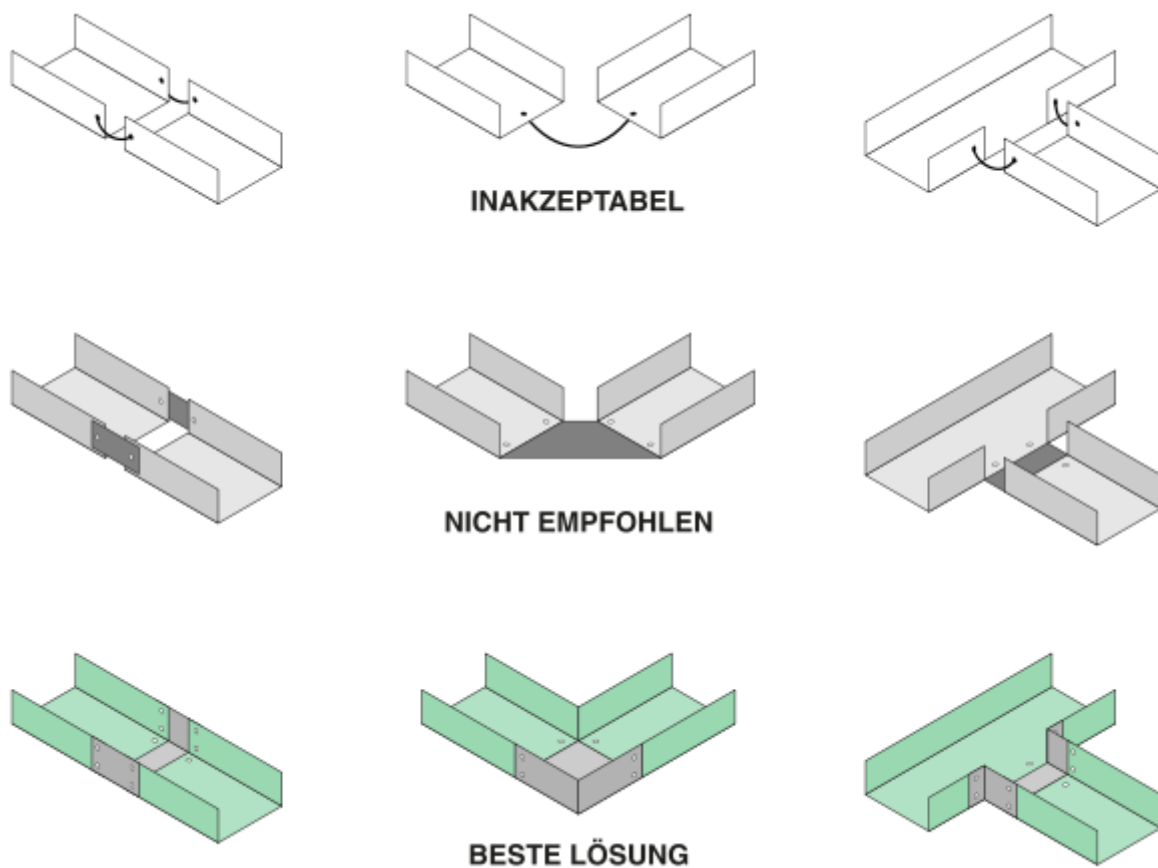


Abb. R13: Unterbrechungsfreiheit metallener Systembauteile

Wenn Änderungen oder Erweiterungen vorgenommen werden, muss immer sichergestellt werden, dass diese entsprechend den EMV-Vorschriften durchgeführt werden (z.B. darf eine metallische Kabelführung niemals durch eine Kunststoffausführung ersetzt werden!).

Abdeckungen für metallische Kabelführungen müssen dieselben Anforderungen erfüllen wie die Kabelführungen selbst. Eine Abdeckung sollte die gesamte Länge entlang eine große Anzahl an Kontakten haben. Wenn das nicht möglich ist, muss sie mit Hilfe von kurzen

Verbindungen (z.B. umflochtene oder vermaschte Verbindungen) mindestens an den beiden Enden an die Kabelführung angeschlossen werden.

Wenn Kabelführungen für Mauerdurchgänge unterbrochen werden müssen (z.B. bei Brandmauern), müssen zwischen den beiden Teilen niederohmige Verbindungen verwendet werden (siehe **Abb. R14**).

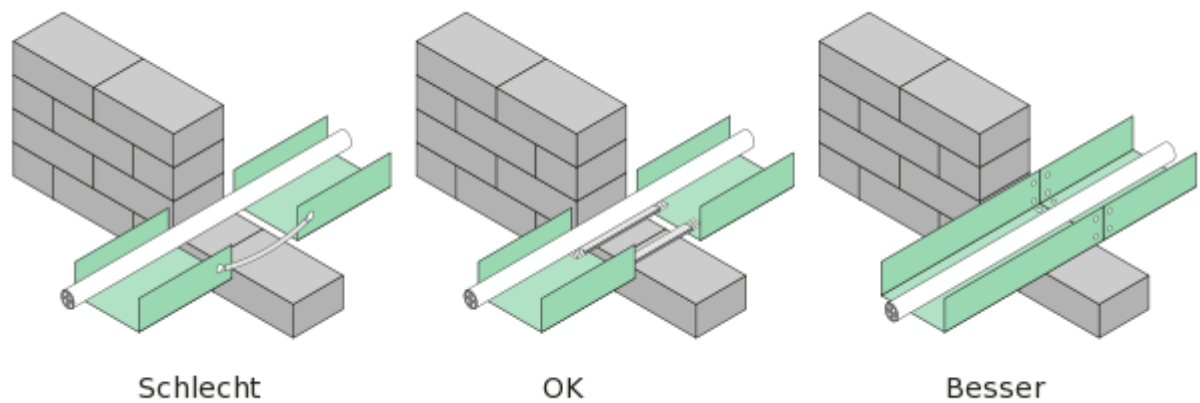


Abb. R14: Empfehlung für die Durchführung von metallischen Kabelführungsverbindungen durch eine Mauer