



## Zuverlässige Signalübertragung

Ein Kabelschirm muss an beiden Enden an die Geräteabschirmung angeschlossen werden, da er sonst nahezu keine Wirkung zeigt. Diese Behauptung wird im folgenden Artikel mit Fakten untermauert und mit vereinfachten Modellen dargestellt.

Oftmals wird darüber diskutiert, wie und wo ein Kabelschirm anzuschließen ist (in diesem Zusammenhang wird oft fälschlicherweise gesagt, der Schirm werde "geerdet"; "angeschlossen" ist hier jedoch treffender). Einige behaupten, es sei am besten, den Kabelschirm nur an einem Ende anzuschließen, während andere auf das Anschließen an beiden Enden bestehen. Teile der Ein-Ende-Anhänger meinen, dass das Ende, von dem aus das Signal betrieben wird, angeschlossen werden muss. Anderen zufolge muss der Kabelschirm genau am anderen

Ende angeschlossen werden. Wie immer, so gibt es auch hier verschiedene Gründe, weshalb alle mehr oder weniger recht haben. Es kommt einfach darauf an, was man mit seinem Kabelschirm erzielen will.

### GRUNDMODELL

Man denke sich einen Signalübertragungskreis (Treiber – Leitung – Empfänger), der von einem elektromagnetischen Feld gestört wird, s. Abb. 1. Eine von mehreren Möglichkeiten zum Schutz des Kreises besteht darin, diesen mit einem Metallgehäuse zu umgeben, also "abzuschirmen". Bei korrekter Ausführung wird das Feld so reduziert, dass der Kreis nicht gestört wird. Wenn Treiber und Empfänger nun weit von einander entfernt platziert und immer noch abgeschirmt werden sollen, bietet das Gehäuse keine praktische Lösung. In diesem Fall wird das Gehäuse als zweiteiliges Gehäuse ausgeführt. Dazwischen liegt flexible Röhre, also ein Kabel mit beweglicher metallischer Ummantelung, s. Abb. 2.

Dieses einfache Modell zeigt, dass der Kabelschirm zu beiden Enden an beiden Gehäusen angeschlossen werden muss. Der Kabelschirm ist ein flexibler Ersatz für ein unhandliches, starres Gehäuse. Den Kabelschirm an nur ein Gehäuse oder gar an kein Gehäuse anzuschließen, bedeutet ja so viel, als würde man das Schirmgehäuse in zwei oder drei Teile teilen. Und es wird sicher niemand behaupten wollen, dass ein langes, starres Gehäuse bessere Abschirmung bietet, wenn man es in zwei oder drei Teile unterteilt.

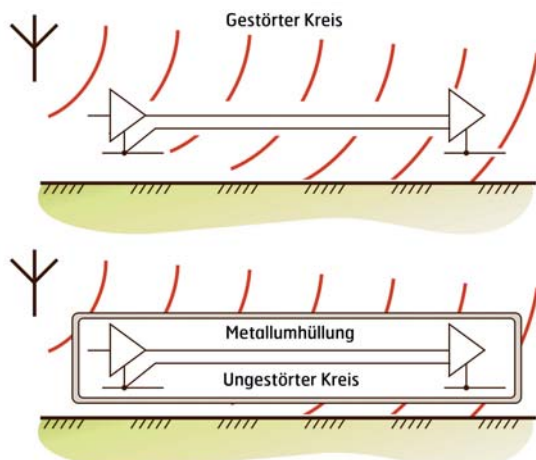


Abbildung 1. Die Metallabschirmung reduziert die Feldkopplung von und zu einem Kreis.

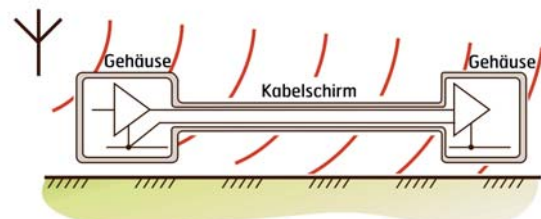


Abbildung 2. Ein Kabelschirm ist der flexible Teil eines Abschirmgehäuses.

# Schirmung



Es gibt Erfahrungswerte, die zeigen, dass die Signalübertragung und die Geräte funktionieren, wenn der Kabelschirm an beiden Enden oder nur an einem Ende angeschlossen ist. Hierfür gibt es Erklärungen, aber zunächst wollen wir einmal die Grundprinzipien der Kabelschirmung betrachten. Eine weitere Variante besteht darin, dass die Signalübertragung und die Geräte funktionieren, obwohl der Kabelschirm an gar kein Gehäuse angeschlossen ist. Aber in diesem Fall dient der Kabelschirm natürlich nur mechanischen Zwecken! Des Weiteren kann diese Variante aus elektrischen Gesichtspunkten eine schlechtere Lösung sein, als wenn wenigstens ein Ende angeschlossen ist, da der Kabelschirm die Kopplung zur Umgebung noch verstärkt.

## ABSCHIRMUNGSPRINZIPIEN

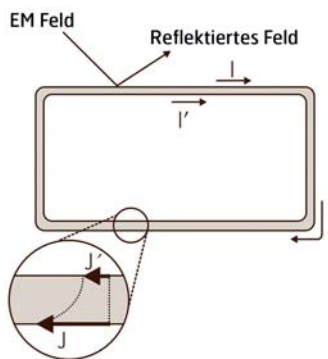


Abbildung 3. Abschirmung durch Reflexion und reduzierte Stromdichte (Absorption).

Das Feld, das auf das Metallgehäuse einwirkt, führt dazu, dass der Strom in die Metallumhüllung fließt, s. Abb. 3. Der Strom an der Oberfläche verursacht ein entgegen gerichtetes Feld, weshalb wir eine Reflexion erhalten. Bei niedrigen Frequenzen nutzt dieser Strom die gesamte Werkstoffdicke aus. Bei steigender Frequenz wird jedoch ein immer kleiner werdender Teil der Plattendicke genutzt. Die Stromdichte nimmt auf der "Leeseite" des Leiters aufgrund des so genannten Skineffekts ab. Hier erhalten wir aufgrund eines Zusammenspiels von Reflexion und Absorption ein schwächeres Feld an der Innenseite.

Wenn nun das oben erwähnte Gehäuse in zwei Teile geteilt wird, die durch eine homogene Röhre miteinander verbunden werden, verändert dies die Situation prinzipiell nicht. Wir haben immer noch dieselbe Schirmfunktion wie von dem einen, etwas unhandlichen, Gehäuse. Jetzt kann man sich natürlich fragen, wie überhaupt Strom in ein Metallgehäuse fließen kann, das im freien Raum aufgehängt und nirgends angeschlossen ist. Die Antwort ist dieselbe wie bei einem in der Luft aufgehängten Drahtstück, das wir auch als "Antenne" bezeichnen. Oftmals sind Elektronik enthaltene Gehäuse nicht im "freien Raum" aufgehängt (abgesehen von tragbaren Geräten mit Batterie- bzw. Akkubetrieb wie Handys, Taschenrechner, Laptops usw.). Meistens besteht irgendeine elektrische Verbindung, z. B. durch Stromversorgungskabel oder Streukapazitäten zu umgebenden leitenden Strukturen. Diese Verbindung besteht oftmals aus einem Schutzleiter (PE) im Stromversorgungskabel.

Die magnetischen Komponenten des Feldes induzieren in der entstehenden Schleife eine Schleifenspannung, s. Abb. 4. Diese Schleifenspannung lässt einen Strom durch die Schirmstruktur (Gebäudestruktur; PE-Leiter, Gehäuse und Kabelschirm) fließen.

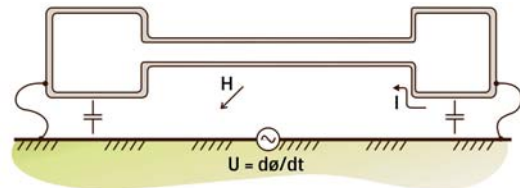


Abbildung 4. Das Feld erzeugt einen Strom in der Schirmstruktur.

Der Strom erzeugt wiederum ein entgegen gerichtetes Feld (Reflexion) und damit eine verringerte Beeinflussung. Somit erhalten wir also durch den Schleifenstrom eine Schirmwirkung. Man vergleiche dies mit der kurzgeschlossenen Wicklung um einen Transformator! Je besser der Kurzschluss, also je niedriger die Impedanz in der Schleife, desto besser ist die Schirmwirkung.

Ist der Kabelschirm an einem Ende nicht angeschlossen, erhalten wir wahrscheinlich trotzdem eine Schleife über den Signalübertragungskreis, dessen Signal-Nullleiter oftmals mit beiden Enden an die Geräteumhüllung angeschlossen ist. Eine solche Schleife hat eine höhere Impedanz als eine Kabelschirmschleife und dadurch eine niedrigere Schirmwirkung. Unerfreulicher ist jedoch, dass der Teil der Schleifenspannung, der zwischen den Enden des Signalkreises verteilt ist, störend auf eben diesen einwirkt, s. Abb. 5!

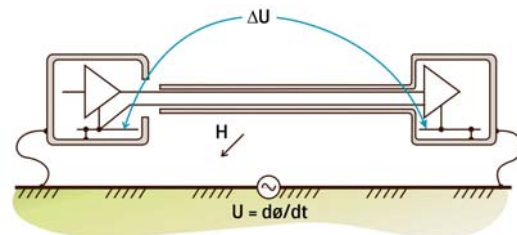


Abbildung 5. Die induzierte Schleifenspannung stört den Signalübertragungskreis.

Im Signal-Nullleiter (in der Rückleitung) liegt ja Impedanz vor, weshalb der Teil der Schleifenspannung, der über dieser Leitungsimpedanz auftritt, also mit der positiven Signalspannung in Reihe liegt.

Manchmal wird ein Kabelschirm an einem Ende über einen Kondensator angeschlossen. Ein Grund hierfür kann sein, dass man den zirkulierenden Strom bei relativ niedrigen Frequenzen verhindern möchte. Allerdings erhält man dann auch keine Schirmwirkung! Selbst wenn der Kabelschirm an beiden Enden an die Gehäuse angeschlossen ist, entsteht bei niedrigen Frequenzen (die Eindringtiefe ist so groß wie oder größer als die Metalldicke) eine Spannung zwischen den Kreislenden (auch "Common-Mode-Spannung" genannt). Diese ist jedoch niedriger, was einerseits an der geringeren Impedanz im Kabelschirm und andererseits an der erwähnten Schirmwirkung liegt.

Die einzige effektive Möglichkeit zur Vermeidung dieser Art der Beeinflussung besteht in der Einführung einer Isolierung in die Schleife, oftmals in den Signalübertragungskreis.

## IDEALER KABELSCHIRM

Ist die Frequenz ausreichend hoch, ist der Metallschirm (Gehäuse und Röhre) also zwei- bis dreimal größer als die Eindringtiefe, fließt an der Innenseite des Schirms ein minimaler Strom, wodurch einerseits ein viel kleineres als das ursprüngliche Feld und andererseits eine wesentlich niedrigere Spannung an der Schirminnenseite entsteht. Dies gilt für die Gehäuse ebenso wie für die Röhre.



Der Strom, der an der Innenseite des Schirms fließt, erzeugt wie gesagt aufgrund der Oberflächenimpedanz einen Spannungsabfall. Für die Gehäuse, deren Oberflächen nahezu gleich breit wie lang sind, fällt dieser Spannungsabfall relativ gering aus. Auf der Röhreninnenseite ist die relative Oberfläche jedoch schmal und lang. Hierdurch entsteht, zumindest bei niedrigen Frequenzen mit ausreichend hohem Stromfluss ins Material, ein nicht unerheblicher Spannungsabfall. Bei hohen Frequenzen ist der Spannungsabfall an der Röhreninnenseite fast immer geringfügig.

## NICHT IDEALER KABELSCHIRM

Die Röhre als Kabelschirm ist ziemlich unpraktisch, weshalb man normalerweise ein Geflecht aus vielen Metalldrähten mit adäquater Oberflächenbehandlung (verzinnnes Kupfer) verwendet. Dieses Geflecht ist nicht so dicht wie eine Röhre, da der Strom entlang den Drähten auf die Geflechtinnenseite gelangen kann und Felder durch die kleinen, unvermeidlichen Öffnungen zwischen den Drähten dringen können. Dieser interne Strom und das "Einstreuen" des Feldes erzeugen einen inneren Spannungsabfall, der mit steigender Frequenz zunimmt. Dies steht im direkten Gegensatz zur Verwendung der homogenen Röhre: diese bietet bei steigender Frequenz bessere Abschirmung und das Geflecht schlechtere.

Das Verhältnis zwischen der Spannung an der Kabelschirminnenseite und dem Strom an der Außenseite wird u. a. als "Transferimpedanz" bezeichnet und in Ohm pro Meter Kabelschirmlänge gemessen. Die Transferimpedanz ist ein Maß für die Güte von Kabelschirmen: je niedriger die Transferimpedanz, desto besser die Abschirmung. Oder mit anderen Worten: je geringer die Spannung für einen vorliegenden Strom, desto besser die Schirmwirkung. Beispiele für die Transferimpedanz von Kabelschirmen bietet die Abbildung 6. Ein guter Kabelschirm hat eine Transferimpedanz in der Größenordnung von 10 mOhm/m.

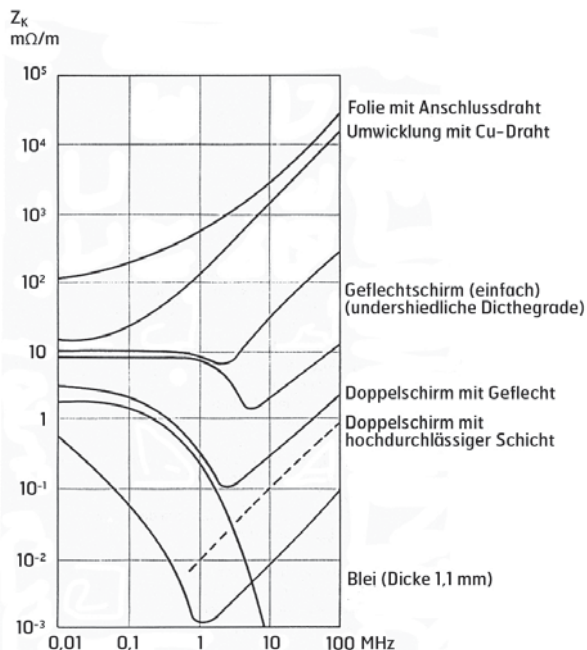


Abbildung 6. Transferimpedanz unterschiedlicher Kabelschirmtypen. Referenz: Nissen, "EMC Händbogen".

## IDEALER KABELSCHIRMANSCHLUSS

Bisher haben wir vorausgesetzt, dass der Kabelschirm (Röhre oder Geflecht) entlang seines Umkreises mit seinem gesamten Querschnitt an die Gehäuse angeschlossen ist. Hierdurch entsteht kein nennenswerter Beitrag zum Spannungsabfall an der Schirminnenseite und daher auch keine negative Auswirkung auf die Schirmwirkung.

In der Realität liegen jedoch keine so idealen Verhältnisse vor. Würde man nun den Kabelschirm mit Verbindungsdrähten an die Gehäuse anschließen, würde in den Drähten ein Spannungsabfall entstehen, s. Abb. 7.

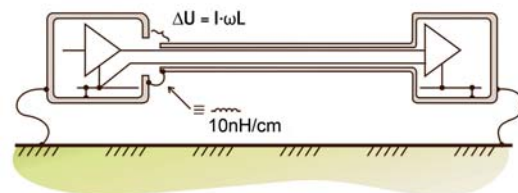


Abbildung 7. Die Gefahr beim Anschließen eines Kabelschirms mit zu kleinem Draht. Induzierte Spannung nimmt über den inneren Kreis zu.

Dieser Spannungsabfall ist frequenzabhängig, da der Draht zugleich resistiv und induktiv ist. Die Induktanz in einem normalen Verbindungsdraht entspricht einer Größenordnung von 10 nH/cm. Daher lässt sich schließen: je länger der Draht und je höher die Frequenz, desto größer der Spannungsabfall. Dieser Spannungsabfall kann um ein Vielfaches höher ausfallen als der Spannungsabfall innerhalb des Kabelschirms, selbst wenn dieser mehrere Meter lang ist.

Ein Beispiel: 5 cm Draht haben bei 1 MHz eine induktive Reaktanz von ca. 300 mOhm. Dies entspricht einer Streuung auf 30 Metern Kabelschirm mit einer Transferimpedanz von 10 mOhm/m.

Die Kreise in den Gehäusen nehmen die interne Spannung nun als Common-Mode-Spannung wahr. Der Strom in den Schirmanschlussdrähten erzeugt außerdem ein Magnetfeld, das in den angrenzenden Signalleitungen Spannung induziert. Der Spannungsabfall im Draht erzeugt auch über die Streukapazität zwischen den Leitungen und dem Kabelschirm einen kapazitiven Strom zu den Signalleitungen. Der Drahtanschluss des Kabelschirms ist daher keine gute Anschlussmethode, sondern höchstens eine Möglichkeit des Schutzes gegen niederfrequente Störungen.

Entfernt man den Kabelschirmanschluss, wird die Spannung über den Abstand im Grunde so groß wie die Schleifenspannung, wodurch die Schirmwirkung noch schlechter wird, s. Abb. 8. Die kapazitive Kopplung zu den Signalleitungen steigt, jedoch wird keine Spannung induziert, da kein Strom fließt.

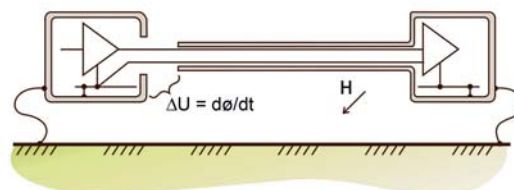


Abbildung 8. Die Gefahr beim Nichtanschießen des Kabelschirms. Die gesamte Schleifenspannung liegt auf dem inneren Kreis.

# Schirmung

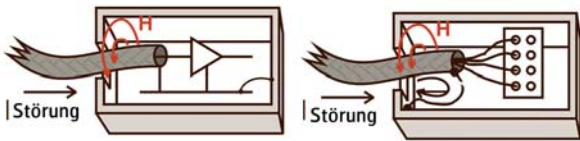


Abbildung 9. Kabelschirmanschluss, der in die Kreise im Gehäuse eine Störung einkoppelt.

Dies kann in bestimmten Fällen mit Niederfrequenz eine Erklärung dafür sein, dass ein Kabelschirm mit Drahtanschluss eine schlechtere Wirkung erzielt als ein nicht angeschlossener Schirm. Dies kann dann jedoch daran liegen, dass das Kabel nicht an der Durchführungsstelle an die Gehäusewand angeschlossen ist, s. Abb. 9. Der Strom im Kabelschirm, oder in dessen oftmals langem Anschluss ("Erdung"), erzeugt dann ein Feld im Gehäuse, das einen Kreis in seiner Nähe stört. Eine fehlerhafte Ausführung (zwei Fehler heben sich gegenseitig auf) ist jedoch kein Grund für das Aufstellen einer schlechten Daumenregel.

Es wäre unsinnig, einen Schirm zu öffnen, um ihn besser zu machen. Ein schlechter Anschluss ist fast ebenso schlecht wie gar kein Anschluss. Im Prinzip muss also ein Kabelschirm genau so angeschlossen werden, wie man ein Koaxialkabel anschließt, nämlich entlang dem gesamten Umkreis und mit einem sehr geringen Kontaktwiderstand zu den Wänden der Schirmgehäuse an der Durchführungsstelle (am Steckverbinder).

## AUSNAHMEN

Unter gewissen Umständen kann ein Kabelschirm auch funktionieren, wenn er nicht optimal angeschlossen ist:

- bei niedriger Störfrequenz mit kurzen Drahtanschlüssen an beiden Enden und kurzem Elektrokabel.
- bei niedriger Störfrequenz mit Drahtanschluss an nur einem Ende, an dem der nicht abgeschirmte Teil des Signalkreises elektrisch gesehen sehr kurz ist und bei sehr hoher Kreisimpedanz sowie kapazitiv gekoppeltem Feld.

Ein Beispiel für letzteren Fall ist ein nicht abgeschirmter Sensor, der weit von störenden Kabel und Geräten entfernt isoliert montiert sowie an ein langes abgeschirmtes Kabel angeschlossen ist. Der Sensor ist ca. 1 cm und das Kabel mehrere hundert Meter lang. Die Störfrequenz beträgt 50 Hz. Der Kabelschirm wird dann ausschließlich am Gehäuseende angeschlossen und darf definitiv nicht an die Gebäude- oder Maschinenstruktur am Sensorende angeschlossen ("geerdet") werden! Angeblich besteht die Gefahr, dass, wenn man für Kabelschirmanschlüsse kurze Leitungen verwendet und kräftige so genannte vagabundierende Ströme (50 Hz) bzw. Kurzschlussfehler auftreten, der dünne Drahtanschluss abbrennen kann.

Mit kräftigen, komplett umschließenden Kabelschirmanschlüssen stellen diese Ströme kein Problem dar. Dieses Risiko ist jedoch kein Grund, den Kabelschirm nicht an das Gehäuse anzuschließen, sondern vielmehr ein Grund dafür, das Gehäuse nicht an die Gebäudestruktur oder einen Schutzleiter anzuschließen. Mit einem gut ausgearbeiteten Potenzialausgleichssystem sollte im Kabelschirm auch kein so großer Strom vorhanden sein, da er eine höhere Impedanz aufweist als das Potenzialausgleichssystem. Eine Methode zur Erzielung einer Isolation auf zugelassene Weise ist mithilfe eines Trenntransformators. Sensoren und andere Kreise, die keine 230-V-Speisung erfordern, sollten von der Gebäudeerdung und dem Schutzleitersystem isoliert sein.

Bei der Verwendung von Drahtanschlüssen aus Kabelschirmen entsteht hierdurch eine zusätzliche Störeinkopplung zu den Elektronikkreisen in den Gehäusen, s.

Abb. 9. Der Kabelschirm oder der Kabelschirmanschluss führen Störstrom in den Gehäuseschirm hinein. Durch Anschließen des Kabelschirms an die Gehäuseaußenseite wird der Störstrom stattdessen auf das Gehäuse gekoppelt. Bei bestimmten Anordnungen ist es verboten, Kabelschirme an beiden Enden anzuschließen (warum?). Dann kann der Kabelschirm trotzdem bei hohen Frequenzen hilfreich sein, wenn er an einen Kondensator angeschlossen wird. Dabei ist zu beachten, dass der Kondensatoranschluss relativ frequenzabhängig ist, einschließlich Resonanzproblemen, und dass er dieselben Mängel aufweist wie der Drahtanschluss. Man könnte meinen, dass der Kabelschirm funktioniert, wenn er die Beeinflussung gerade des Signalübertragungskreises zwischen den Gehäusen reduziert. In anderen Zusammenhängen könnte man meinen, dass der Schirm funktioniert, wenn die Ausrüstung im einen oder anderen Gehäuse nicht gestört wird. Sicherlich sind beide Auffassungen korrekt. Wenn die Ausrüstung funktioniert, solange der Kabelschirm nicht am einen oder anderen Ende angeschlossen ist, jedoch beim Anschließen an beiden Enden gestört wird, liegt dies wahrscheinlich daran, dass der Kabelschirm nicht korrekt angeschlossen ist und nicht daran, dass der Kabelschirm als solcher nicht funktioniert, weil er an beiden Enden angeschlossen ist. Ein weiterer Grund dafür, dass die Ausrüstung funktioniert, obwohl der Schirm nur an einer Seite angeschlossen ist, kann die Tatsache sein, dass eigentlich gar kein Kabelschirm erforderlich ist.

## FAUSTREGEL

In der heutigen Zeit, bei einer steigenden Anzahl an hochfrequenten Störquellen, möchte man, dass Kabelschirme bei allen Frequenzen und unter allen denkbaren Umständen von Nutzen sind. Die Grundregel lautet dann, den Kabelschirm an beiden Enden an die Metallumhüllungen der Gerätekästen anzuschließen, s. Abb. 4, und den Kabelschirmanschluss so zu gestalten, dass sein gesamter Umkreis an die Geräteumhüllung anschließt, s. Abb. 10, entweder direkt über eine spezielle Verschraubung oder über die Metallhülle des Steckverbinders. Hierbei ist wichtig, dass alle Teile des Steckverbinders rundherum gut aneinander anschließen und der am Gerät befestigte Steckerteil guten elektrischen Kontakt zur metallischen Geräteumhüllung aufweist. Letzterer Punkt ist bei der Wahl der Oberflächenbehandlung und bei der Verwendung von metallisierten Kunststoffgehäusen zu bedenken.

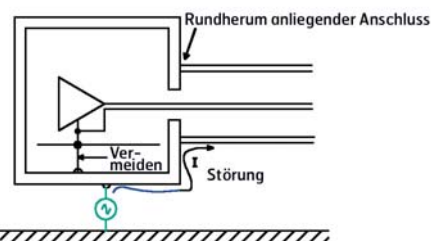


Abbildung 10. Grundsätze für den korrekten Kabelschirmanschluss.



Der Inhalt dieser Broschüre stammt aus einem Artikel von Ulf Nilsson, erschienen in der Zeitschrift "Electronic Environment", Nr. 2, 2008. Ulf Nilsson von EMC Services ist seit über 35 Jahren im Bereich EMV tätig und hat Hunderte von Ingenieuren in Europa und den USA EMV-Schulung erteilt. Er ist Mitglied von IEEE EMC Chapter, NARTE-zertifizierter EMV-Ingenieur und technischer EMV-Redakteur der Zeitschrift "Electronic Environment". Ulf Nilsson war Koautor von "Praktisk El- och Telestörskydd", FMVs EMMA-Handbuch und hat bei einer Reihe von EMV-Seminaren Vorträge gehalten.