

**THEORIE  
DER ABSCHIRMUNG  
GEGEN  
ELEKTROMAGNETISCHE  
STÖRUNGEN (EMI)  
MIT HILFE VON  
DICHTUNGEN**

## GRUNDLEGENDE GEDANKEN

Die Kenntnis über die grundlegenden Möglichkeiten der EMI-Abschirmung wird dem Konstrukteur bei der Auswahl der zugehörigen Dichtung helfen, um die am besten geeignete spezielle Konstruktion zu finden.

Alle elektromagnetischen Wellen bestehen aus zwei wesentlichen Komponenten – einem magnetischen Feld und einem elektrischen Feld. Diese zwei Felder stehen senkrecht aufeinander und die Richtung der Wellenausbreitung steht im rechten Winkel zu der Ebene, die das magnetische und elektrische Feld bilden. Die relative Größe zwischen dem magnetischen (H) Feld und dem elektrischen (E) Feld hängt davon ab, wie weit die Welle von seiner Quelle entfernt ist und von der Art der erzeugenden Quelle selbst.

Das Verhältnis von E zu H wird der Wellenleitwert  $Z_W$  genannt.

Wenn eine Stromquelle einen großen Stromfluß, verglichen mit seinem Potential, beinhaltet, die auch bei einer Schleife, einem Transformator oder Netzleitungen erzeugt werden können, wird diese Strom-, magnetische- oder eine niederohmige Quelle genannt. Die letzte Definition rührt von der Tatsache her, daß das Verhältnis E zu H einen kleinen Wert hat.

Wenn umgekehrt die Quelle mit einer hohen Spannung betrieben wird und nur ein kleiner Strom fließt, wird der Quellwiderstand (Generatorinnenwiderstand) als hoch bezeichnet und die Quelle wird allgemein als ein elektrisches Feld bezeichnet. Bei sehr großen Entfernungen von der Quelle ist das Verhältnis E zu H für jede Welle gleich, ungeachtet ihres Ursprunges. Wenn das geschieht, wird die Welle als eine ebene Welle bezeichnet und der Wellenleitwert ist gleich 377 Ohm. Dies ist die eigene Impedanz (Wirkwiderstand) des freien Raumes.

Jenseits dieses Punktes verlieren alle Wellen im Wesentlichen ihre Kurvenform und die Oberfläche – die die zwei Komponenten enthält – werden stattdessen ein Teil eines Feldes.

Die Bedeutung des komplexen Wellenleitwertes kann, unter Berücksichtigung dessen, was geschieht, am besten veranschaulicht werden, wenn eine elektromagnetische Welle auf eine Störstelle (Unstetigkeit) stößt. Wenn die Größe des komplexen Wellenleitwertes sehr unterschiedlich gegenüber dem tatsächlichen Wirkwiderstand der Störstelle ist, wird der Großteil der Energie reflektiert und nur sehr wenig wird durch die Grenzfläche übertragen.

Metalle haben einen tatsächlichen Wirkwiderstand, der sich Null nähert, wenn sich die Leitfähigkeit dem Unendlichen nähert. Für niederohmige Felder (H vorherrschend) wird weniger Energie reflektiert und mehr absorbiert, weil das Metall dem Wirkwiderstand des Feldes enger angepaßt ist. Das ist der Grund, warum die Abschirmung gegen magnetische Felder so schwierig ist. Da andererseits der komplexe Wellenleitwert des elektrischen Feldes hoch ist, wird der Großteil der Energie in diesem Fall reflektiert.

Man betrachte eine normal auf die Oberfläche eines metallischen Gebildes auffallende Welle, wie in Abb. 1 dargestellt.

Wenn die Leitfähigkeit der Metall-Wandung unendlich ist, wird in der Abschirmung ein elektrisches Feld erzeugt, das der einfallenden elektrischen Feldkomponente der elektromagnetischen Welle gleich und entgegengesetzt ist. Das erfüllt die Randbedingung, daß das gesamte tangential elektrische Feld an der Grenzfläche verschwinden muß.

Unter diesen idealen Bedingungen sollte die Abschirmung perfekt sein, weil die zwei Felder sich genau gegenseitig unwirksam machen (aufheben). Die Tatsache, daß die magnetischen Felder in Phase sind, bedeutet, daß der Stromfluß in der Abschirmung verdoppelt ist.

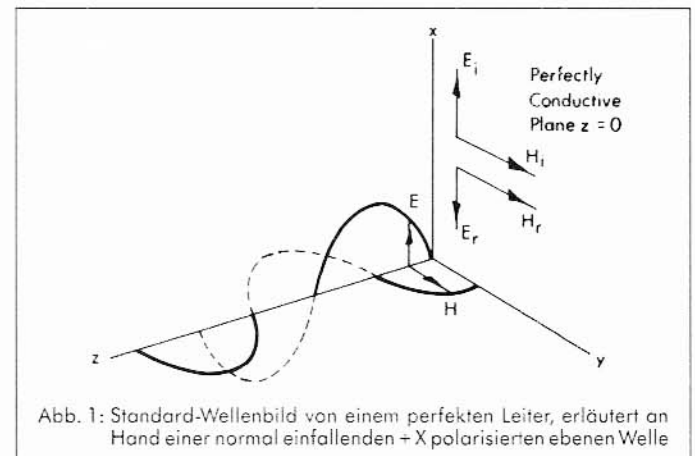


Abb. 1: Standard-Wellenbild von einem perfekten Leiter, erläutert an Hand einer normal einfallenden + X polarisierten ebenen Welle

Perfectly conductive plane = Perfekt leitende Ebene

Die Wirksamkeit der Abschirmung von metallischen Gehäusen ist nicht unbegrenzt, da die Leitfähigkeit von Metallen begrenzt ist. Sie kann sich jedoch sehr großen Werten nähern.

Da metallische Schirmungen eine begrenzte Leitfähigkeit haben, wird ein Teil des Feldes über die Grenzfläche übertragen und unterstützt den Strom im Metall, wie in Abb. 2 veranschaulicht.

Die Größe des Stromflusses bei jeder Tiefe in der Abschirmung und der Abfall des Stromes, wird durch die Leitfähigkeit des Metalls und seine Permeabilität bestimmt. Der Rest-Strom, der auf der entgegengesetzten Seite der Fläche erscheint, ist einzig verantwortlich für die Erzeugung des Feldes, das auf der anderen Seite existiert.

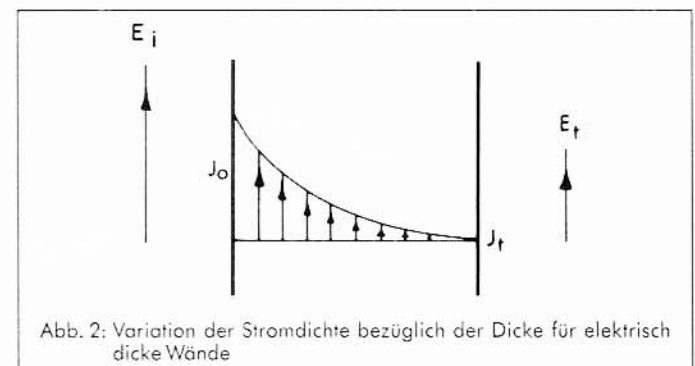


Abb. 2: Variation der Stromdichte bezüglich der Dicke für elektrisch dicke Wände

Die Folgerung aus Abb. 2 und 3 ist, daß die Dicke eine wichtige Rolle bei der Abschirmung spielt. Die Wirksamkeit der Abschirmung ist tatsächlich direkt proportional zu der Dicke des Schirmes (Abschirmung), bis andere Parameter (Spalte, Schlitze, Abdeckungen und Türen) eine entscheidende Beeinflussung hervorrufen. Die Stromdichte für dünne Schirme ist in Abb. 3 dargestellt. Die Stromdichte in dicken Schirmen ist die gleiche wie für dünne Schirme. Eine Sekundär-Reflektion erfolgt auf der entfernteren Seite des Schirmes für alle Dicken. Der einzige Unterschied mit dünnen Schirmen ist der, daß ein großer Teil der wider-reflektierten Wellen auf der Front-Oberfläche erscheinen kann. Diese Welle kann von der primär reflektierten Welle angezogen oder zugezählt werden, abhängig von der Phasen-Beziehung zwischen ihnen. Aus diesem Grunde erscheint ein Korrektur-Faktor in den Abschirmungs-Berechnungen zur Begründung der Reflektionen von der entfernteren Oberfläche eines dünnen Schirmes.

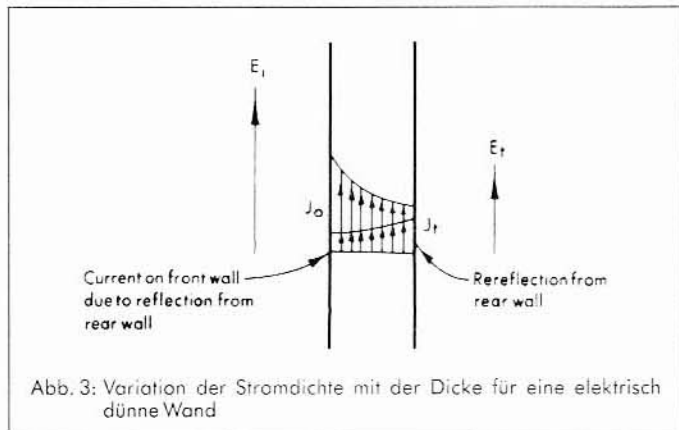


Abb. 3: Variation der Stromdichte mit der Dicke für eine elektrisch dünne Wand  
 Current on front wall due to reflection from rear wall  
 Strom an der Stirnseite entsprechend der Reflektion von der rückwärtigen Wand  
 Reflection from rear wall  
 Reflektion von der rückwärtigen Wand

Ein Spalt oder ein Schlitz in einem Schirm wird elektromagnetischen Feldern erlauben, durch den Schirm zu strahlen, falls der Stromfluß nicht quer zum Spalt erhalten werden kann. Die Funktion einer EMI Dichtung ist, die Stetigkeit des Stromflusses im Schirm zu erhalten. Wenn die Abdichtung aus einem Werkstoff hergestellt ist, der identisch mit dem der Wandungen des abgeschirmten Gehäuses ist, wird die Strom-Verteilung in der Dichtung die gleiche sein.

Der Stromfluß durch einen Schirm, einschließlich einer Abdichtungs-Trennfläche, ist in Abb. 4 dargestellt. Elektromagnetische Ablenkung durch die Trennfuge kann auf zwei Arten erfolgen. Erstens, die Energie kann das Material direkt durchlaufen. Es wird vorausgesetzt, daß das Dichtungsmaterial – in Abb. 4 dar-

gestellt – eine geringere Leitfähigkeit als das Material des Schirmes hat. Der Betrag der Stromabnahme ist deswegen auch in der Dichtung geringer. Es scheint, daß mehr Strom auf der entfernteren Seite des Schirmes auftritt. Der angewachsene Fluß verursacht ein großes Streufeld, das auf der entfernteren Seite des Schirmes erscheint.

Zweitens, ein Verlust tritt an der Grenzfläche zwischen der Dichtung und dem Schirm auf. Wenn ein Luft-Spalt in der Trennfuge besteht, wird der Stromfluß zu jenen Punkten oder Flächen abgelenkt, wo die Berührung stattfindet. Eine Änderung der Richtung des Stromflusses ändert die Stromverteilung sowohl im Schirm, als auch in der Dichtung. Ein hoher Widerstands-Bereich verhält sich fast genau so, wie offene Trennfugen. Die Stromverteilung wird nur etwas verändert. Eine Stromverteilung für eine typische Trennfuge ist in Abb. 4 dargestellt. Linien des konstanten Stromflusses – die in größeren Intervallen angeordnet sind – weisen auf einen geringeren Stromfluß hin.

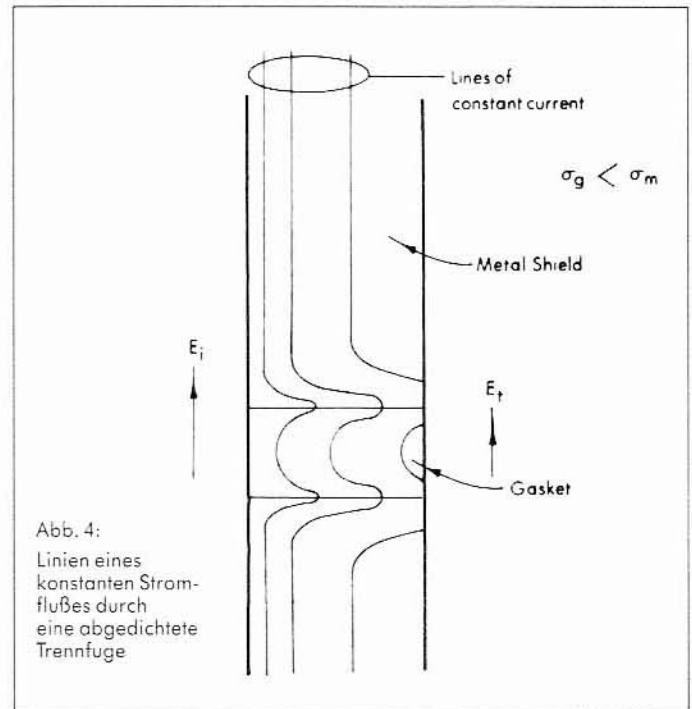


Abb. 4: Linien eines konstanten Stromflusses durch eine abgedichtete Trennfuge

Lines of constant current  
 Metal shield  
 Gasket  
 Linien eines konstanten Stromflusses  
 Metallische Abschirmung  
 Dichtung

Bei der Dichtungskonstruktion ist es wichtig, die elektrischen Eigenschaften der Dichtung so ähnlich wie möglich mit denen des Schirmes zu machen, um einen hohen elektrischen Leitfähigkeitsgrad an der Grenzfläche beizubehalten und Luft oder hohe Widerstands-Spalte zu vermeiden.