

LEONI *whitepaper*

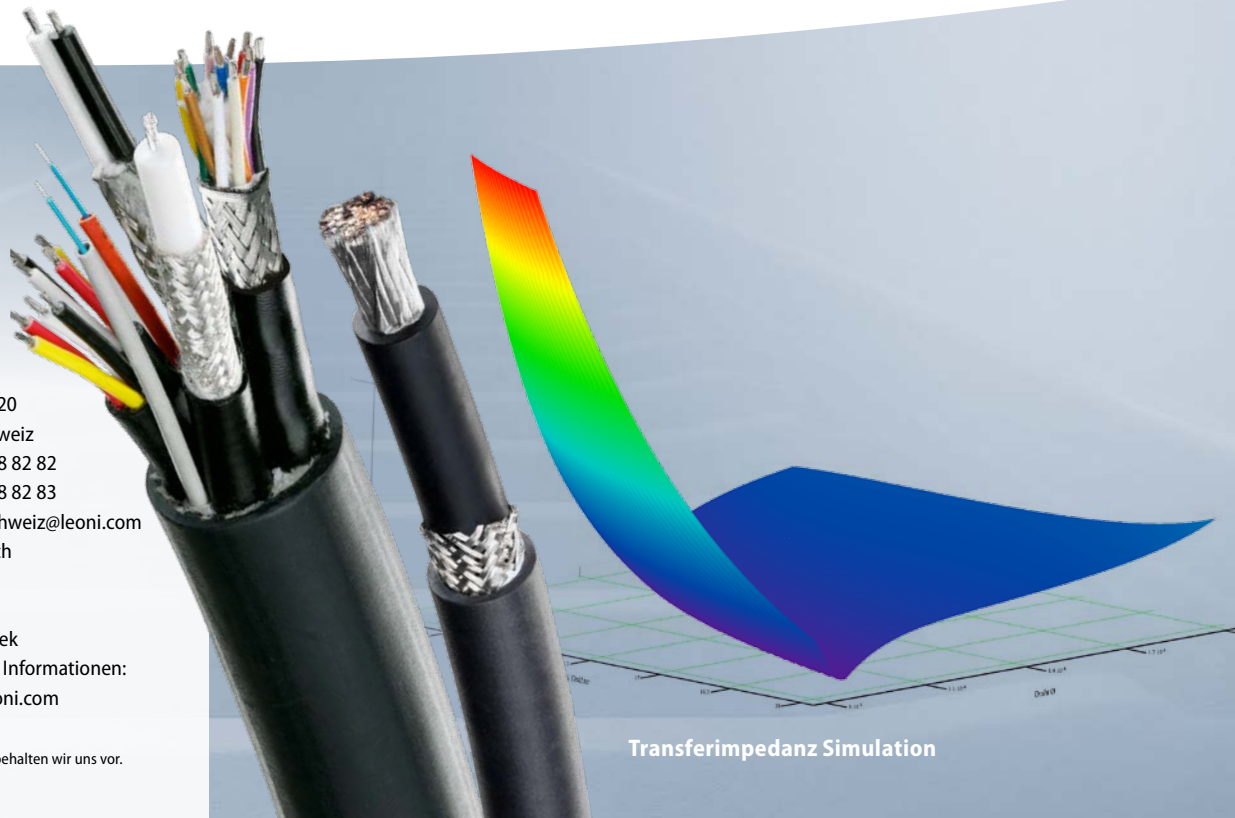
11/2016

LEONI Studer AG
Herrenmattstrasse 20
4658 Däniken · Schweiz
Telefon +41 62-288 82 82
Telefax +41 62-288 82 83
E-Mail verkauf-schweiz@leoni.com
www.leoni-studer.ch

Kontakt

Autor: Cagdas Simsek
Kontakt für weitere Informationen:
Cagdas.Simsek@leoni.com

Technische Änderungen behalten wir uns vor.
© LEONI Studer AG



Die Kunst EMV-taugliche Kabel zu designen

Wer EMV-kompatible Kabel konstruiert, versucht sie optimal abzuschirmen. Dabei muss er komplexe Kopplungsmechanismen beachten. Denn erwartet wird, dass das Kabel von äußeren Störfeldern weder beeinflusst wird noch dass es selber als Störquelle agiert.

EMV-geschirmte Kabel sind bei vielen Anwendungen attraktiv oder gar unverzichtbar. Es wird erwartet, dass das Kabel nicht von äußeren Störfeldern beeinflusst wird und auch selber nicht als Störquelle agiert. Daraus leitet sich die Frage ab: was genau ist ein EMV-tauglicher Schirm?

Heutzutage wird ein wirtschaftlicher EMV-Schirm (Geflecht) meist mit einer minimalen Deckung von 85 % verknüpft. Diese Deckung ist für viele Anwender als EMV-tauglicher Schirm ausreichend. In Kombination mit einer Alufolie (längs oder gewickelt) lässt sich das Kabel noch besser abschirmen.

Aber Alufolie ist für flexible Anwendungen aufgrund der Biegesteifigkeit nicht optimal. Die allgemein geläufige Aussage zu Geflechschirmen besagt, dass bei höherer Deckung die Schirmwirkung zunimmt. Die komplexen Kopplungsmechanismen bestätigen diese Aussage bei Kabeln mit Geflechschirmen ab einer bestimmten Deckung allerdings nicht immer.

Die Transferimpedanz (Kopplungswiderstand) ist ein wichtiger Parameter bei geschirmten Kabeln. Die Störquelle wird über die Transferimpedanz mit der Störsele gekoppelt. Der Kopplungsmechanismus und die Messverfahren werden heute in vielen Normen sehr gut beschrieben.

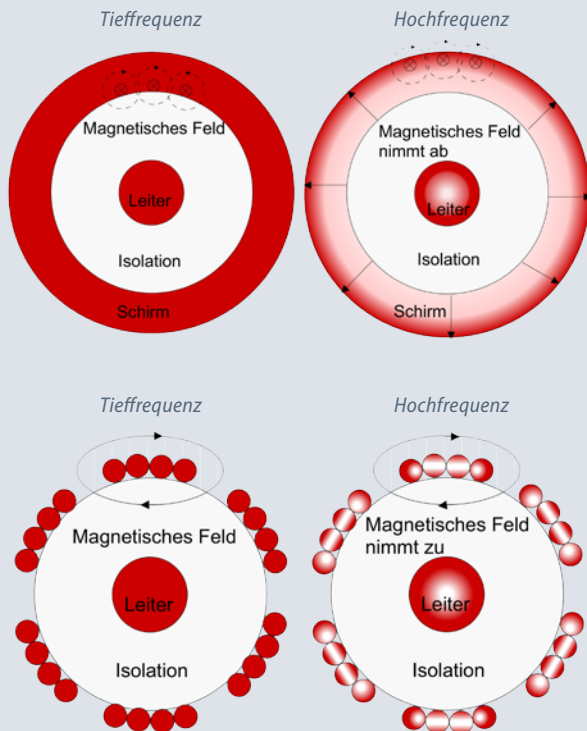


Abb. 1 (oben): Schirmwirkung bei Vollabschirmung
Abb. 2 (unten): Schirmwirkung bei Geflecht

Erstes Thema wird die Vollabschirmung sein, bevor die komplexe Kopplung bei einem Geflecht analysiert wird. Bei Gleichspannung oder bei tiefen Frequenzen verteilt sich der Strom im Schirm (Abb. 1, links) gleichmäßig und homogen. Die induktive Kopplung ist gegenüber der ohmschen Kopplung vernachlässigbar klein. Störquelle und Störsenke haben die gleiche Erdschleife. Es ist nicht anders als bei einer typischen galvanischen Kopplung; allerdings gilt dies nur für tiefe Frequenzen. In diesem Fall entspricht der Kopplungswiderstand dem Gleichstromwiderstand des Schirmes.

Schirmwirkung & Transferimpedanz

Bei hohen Frequenzen kommen weitere Effekte hinzu. Der Strom wird aufgrund des Skin-Effekts nach außen verdrängt (Abb. 1, rechts). Dadurch wird der Strom im inneren Teil des Schirms kleiner und es reduziert sich das magnetische Feld, das durch den Schirmstrom verursacht wird, umgekehrt proportional zur Frequenz. Hier wirkt sich der Skin-Effekt positiv zu Gunsten einer verbesserten Abschirmung aus. Jedoch tritt dieses Phänomen nur bei Kabeln mit einer geschlossenen Vollabschirmung auf.

Für Geflechtschirme wird die Sache noch komplexer. Die Stromverteilung ist bei tiefen Frequenzen annähernd homogen. Der Kopplungsmechanismus ist daher identisch zur Vollabschirmung.

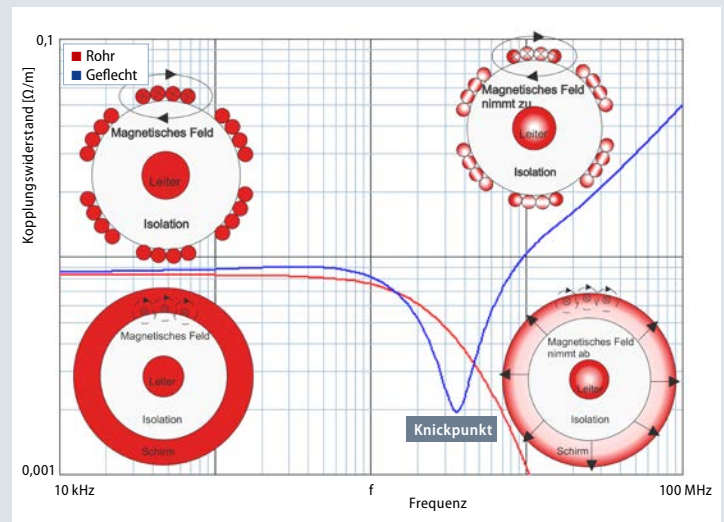


Abb. 3: Transferimpedanz Vollabschirmung (Rohr) und Geflecht

Bei steigender Frequenz kann sich der Geflechtschirm bis zu einer bestimmten Frequenz wie ein geschlossener Schirm verhalten (gilt nicht für alle Geflechte). Danach treten die Felder durch die Aperturen (Löcher im Geflecht) aus, sodass sich äußere Störfelder ausbreiten (Abb. 2). Der Kopplungswiderstand steigt jetzt proportional zu der Frequenz. Nun wird die galvanische Kopplung von der magnetischen Kopplung überlagert. Es ist vergleichbar mit einer typisch frequenzabhängigen Reaktion.

Bei Abb. 3 sind typische frequenzabhängige Kopplungswiderstände von Geflechts- und Rohrschirmen dargestellt. Die rote Kurve zeigt die Transferimpedanz bei einer geschlossenen Abschirmung. Die blaue Kurve repräsentiert den Geflechtschirm. Bis zum Knickpunkt gibt es keine großen Unterschiede, allerdings tritt ein derartiger Knickpunkt nicht bei allen Geflechten auf. Die meisten 85%-Geflechte weisen nur einen leichten oder gar keinen Knickpunkt auf. Nach diesem Punkt, d.h. bei höheren Frequenzen, beginnt die spürbare Störung des magnetischen Feldes.

Die mathematische Beschreibung der Transferimpedanz ist ausgesprochen komplex. Es existieren mehrere Berechnungsmodelle der Transferimpedanz.

Das Modell von Thomas Kley stellt eine verbesserte Version dar. Dies basiert auf diversen empirischen Faktoren:

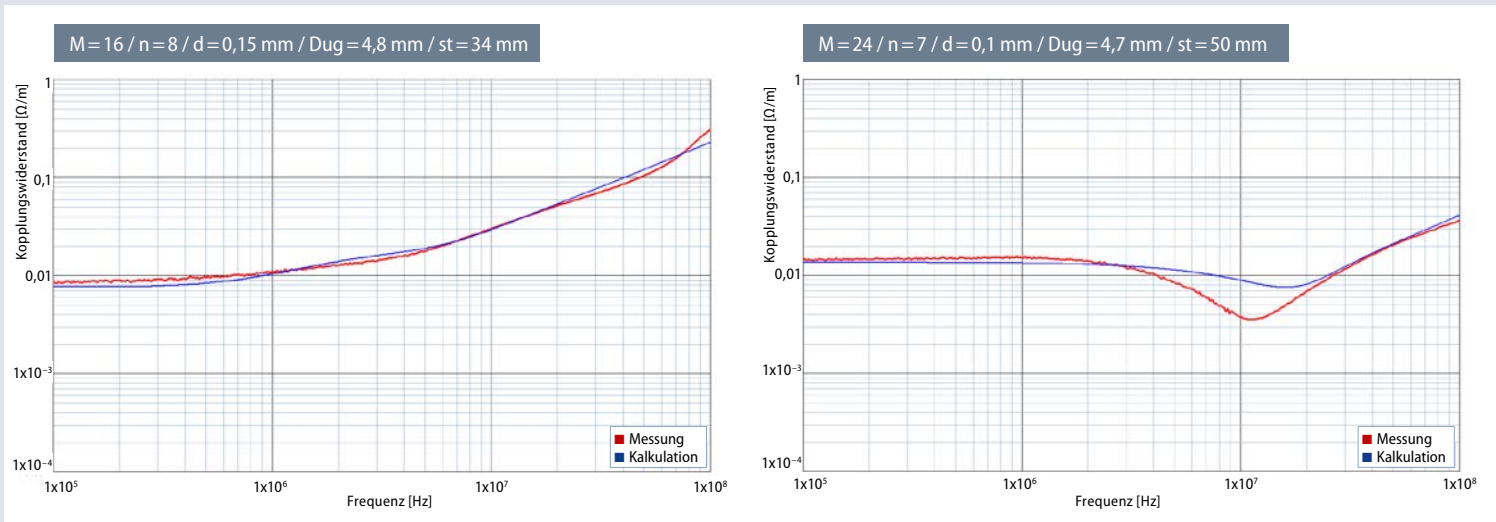


Abb. 4: Transferimpedanz Vergleich mit Messungen

$Z_T = Z_R + i\omega L_T + (1+i)\omega L_S$ (Kley, 1991)¹
 Z_R Kopplungswiderstand des Rohres
 L_T Kopplungsinduktivität
 L_S Skin-Induktivität

¹ „Optimierte Kabelschirme Theorie und Messung“ DISS. ETH Nr. 9354
 Thomas Kley, Seite 55

Die Simulation wurde bei LEONI mit mehreren Versuchen verglichen und die Übereinstimmung ist bei runden Kabeln erstaunlich gut. In Abb. 4 wurden die entsprechenden Messungen und Berechnungen verglichen. Die Messung wird mit der triaxialen Messmethode nach EN 50289-1-6 EN (Kommunikationskabel, Spezifikationen für Prüfverfahren-Elektromagnetische Verhalten) durchgeführt.

Solange das Kabel geometrisch rund und das Geflecht fest und formstabil aufgebracht ist, erhält man sehr gute Ergebnisse. In der Praxis sind Signalkabel meist nicht rund. Die Aufbauten mit zwei, drei und vier Adern sind ohne Zwischenmantel unrund. Der Flechtprozess, sowie die Zugkraft einzelner Fachungen, Genauigkeit von Steigung etc. nehmen hierbei großen Einfluss. Aus diesem Grund ist ein Vergleich mit der Praxis nicht einfach. Die große Schwierigkeit liegt in der Berechnung des induktiven Anteils. Das magnetische Feld des Schirms wird durch die Skin- und Proximity-Effekte stark beeinflusst. Andererseits stellt dieser induktive Anteil den Hauptteil der Transferimpedanz dar.

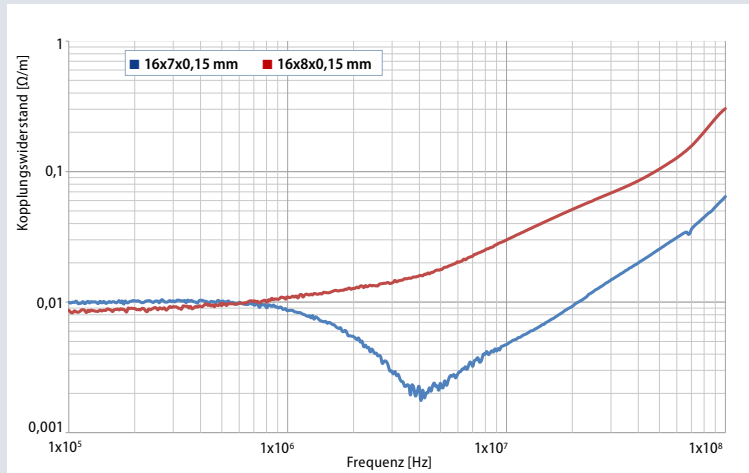


Abb. 5: Vergleich Transferimpedanz

Die größte Herausforderung ist daher, diese induktive Kopplung zu berechnen. Sie ist abhängig von den Geflechtparametern. Im Einzelnen handelt es sich dabei um den Drahtdurchmesser (d), Anzahl der Drähte (n), Anzahl der Fachungen (M), Geflechtsteigung (st) und den Durchmesser unter dem Geflecht (Dug). Diese fünf Parameter nehmen Einfluss auf die Kopplungsinduktivität. In diesem Zusammenhang hat sich zunächst die erstaunliche Erkenntnis ergeben, dass eine größere Geflechtdeckung nicht immer die bessere Variante ist. In Abb. 5 werden zwei Geflecht-aufbauten gemessen und verglichen. Einziger Unterschied bei der Geflechte ist dabei die Anzahl der Drähte pro Fachung. Die blaue Kurve hat einen Draht weniger als die rote Kurve.

Alle weiteren Geflechtparameter, wie auch die Messmethode, sind identisch.

Gemessen nach EN 50289-1-6

Das Ergebnis ist überraschend. Bei den tiefen Frequenzen ist der Gleichstromwiderstand durch den geringeren Schirmquerschnitt geringfügig höher. Bei steigender Frequenz erkennt man jedoch, dass trotz kleinerem Querschnitt und geringerer Abdeckung eine tiefere Transferimpedanz auftritt und dadurch eine spürbar bessere Schirmwirkung erreicht wird. Hier erkennt man die starke Abhängigkeit der Transferimpedanz vom Geflechtaufbau. Ein zusätzlicher Draht kann auch wie eine Antenne wirken und dadurch ein schlechteres Kopplungsverhalten sowie zusätzliche magnetische Felder hervorrufen. Dieses Phänomen kann bei verschiedenen Durchmessern und Geflechtaufbauten auftreten. In Gegensatz zur Transferimpedanz wird die Schirmdämpfung nicht allzu stark vom Geflechtaufbau beeinflusst. Es sind lediglich bis ca. 100 MHz leichte Unterschiede feststellbar.

Technische Optimierungen können erst realisiert werden, wenn diese produktionstechnisch umsetzbar und dabei auch wirtschaftlich sind. Zudem dürfen dadurch keine Normen verletzt werden. In EN50306¹ und EN50264² sind bestimmte Geflechtparameter, wie Geflechtwinkel, Drahtdurchmesser und Füllung für den Bahnbereich festgelegt. Der Geflechtwinkel spielt hierbei eine wesentliche Rolle für flexible Kabel. Dieser muss in einem gewissen Bereich liegen, damit bei der Bewegung das Geflecht nicht abreißt. Eine höhere Steigung verkürzt die Produktionszeit und das Kabel wird günstiger und wirtschaftlicher. Eine zu hohe Steigung führt bei dem Geflecht jedoch zur Instabilität und ist aus Sicht der EMV ungeeignet. Nach Kley³ liegt der optimale Winkel für kleinstmögliche Kopplungen zwischen 30° und 40°. Dieser Bereich ist jedoch für flexible Anwendung nicht optimal. Je nach Anwendung können wir den Kunden diverse optimierte Lösungen anbieten.

Ein weiterer Parameter ist die Spulenanzahl. Sie ist für die Anzahl und die Größe der Öffnungen sehr wichtig. Eine höhere Anzahl der Spulen (M) erhöht die Anzahl der Aperturen. Andererseits wird die Fläche dieser Aperturen kleiner, was die Schirmdämpfung positiv beeinflusst. Mehrere kleine Aperturflächen sind besser als wenige große.

Eine weitere Komponente ist die Wahl des Draht-Durchmessers. In der Praxis liegt dieser meist zwischen 0,07 mm und 0,3 mm. Dünnere Drähte können leichter reißen, haben aber andererseits weniger Gewicht. Mit einer hohen Drahtanzahl und dünnen Drähten können wirtschaftliche und EMV-taugliche Geflechte hergestellt werden. Jeder Kabeldurchmesser muss speziell analysiert und konstruiert werden.

In bestimmten Fällen verlangen die Kunden physikalische Geflecht-Querschnitte für interne Berechnungen. Die Berechnung des elektrischen Widerstandes über den physikalischen Geflecht-Querschnitt führt zu einem falschen Schirmwiderstand. Der effektive Schirmwiderstand kann bis zu 20 Prozent über dem theoretisch berechneten Wert liegen. Für die Berechnung des Schirmwiderstandes sollte immer der elektrische Querschnitt angefragt werden.

¹ EN50306-3: Bahnanwendungen – Kabel und Leitungen für Schienenfahrzeuge mit verbessertem Verhalten im Brandfall – Reduzierte Isolierwanddicken Teil 3: Ein- und mehradrige Kabel und Leitungen (Paare, Dreier, Vierer) geschirmt mit reduzierten Mantelwanddicken

² EN50264-3: Bahnanwendungen – Kabel und Leitungen für Schienenfahrzeuge mit verbessertem Verhalten im Brandfall – Standard Isolierwanddicken Teil 3: Mehr- und vieladrige Leitungen

³ „Optimierte Kabelschirme Theorie und Messung“ DISS. ETH Nr. 9354
Thomas Kley, Seite 77

Fazit

Ein EMV-taugliches Kabel kann erst konstruiert werden, wenn die Vorgaben bekannt sind. Sowohl der Frequenzbereich als auch die Kopplungsgrenzen müssen definiert sein. Die wichtigsten Kopplungsparameter für den Schirm sind der Kopplungswiderstand und die Schirmdämpfung. Beide sind sehr stark abhängig von der Frequenz. Bei kleineren Frequenzen (bis zu wenigen Hundert kHz) kann ein möglichst niedriger Schirmwiderstand die Störkopplungen vermeiden. Bei hohen Frequenzen spielen alle Geflechtparameter aufgrund komplexer Kopplungsmechanismen eine wesentliche Rolle. Mit dem Modell von Kley können runde symmetrische Kabel sehr gut für tiefe und hohe Frequenzen simuliert und optimiert werden.

Heutzutage sind für Datenkabel, sowie Cat 5 bis Cat 7 die entsprechenden Vorgaben in der EN- oder IEC-Norm vorgegeben. Die meisten Signalkabel (mit Ausnahme des Bahnbereichs) sind nicht normiert oder es wird lediglich eine Deckung von 85 % verlangt. Diese Deckung allein macht vor allem bei größeren Kabeln wenig Sinn, weil hier bei gleicher Deckung die Aperturflächen ebenfalls vergrößert werden. Die Öffnungen können mit einer Aluminiumfolie abgedeckt werden falls keine Dauerbewegung gefordert ist. Dadurch wird die Schirmwirkung sehr stark verbessert. Aufgrund weitreichender Erfahrung und verifizierter Simulations-Software ist LEONI in der Lage für alle Anforderungen die optimale Abschirmungslösung zu entwickeln.