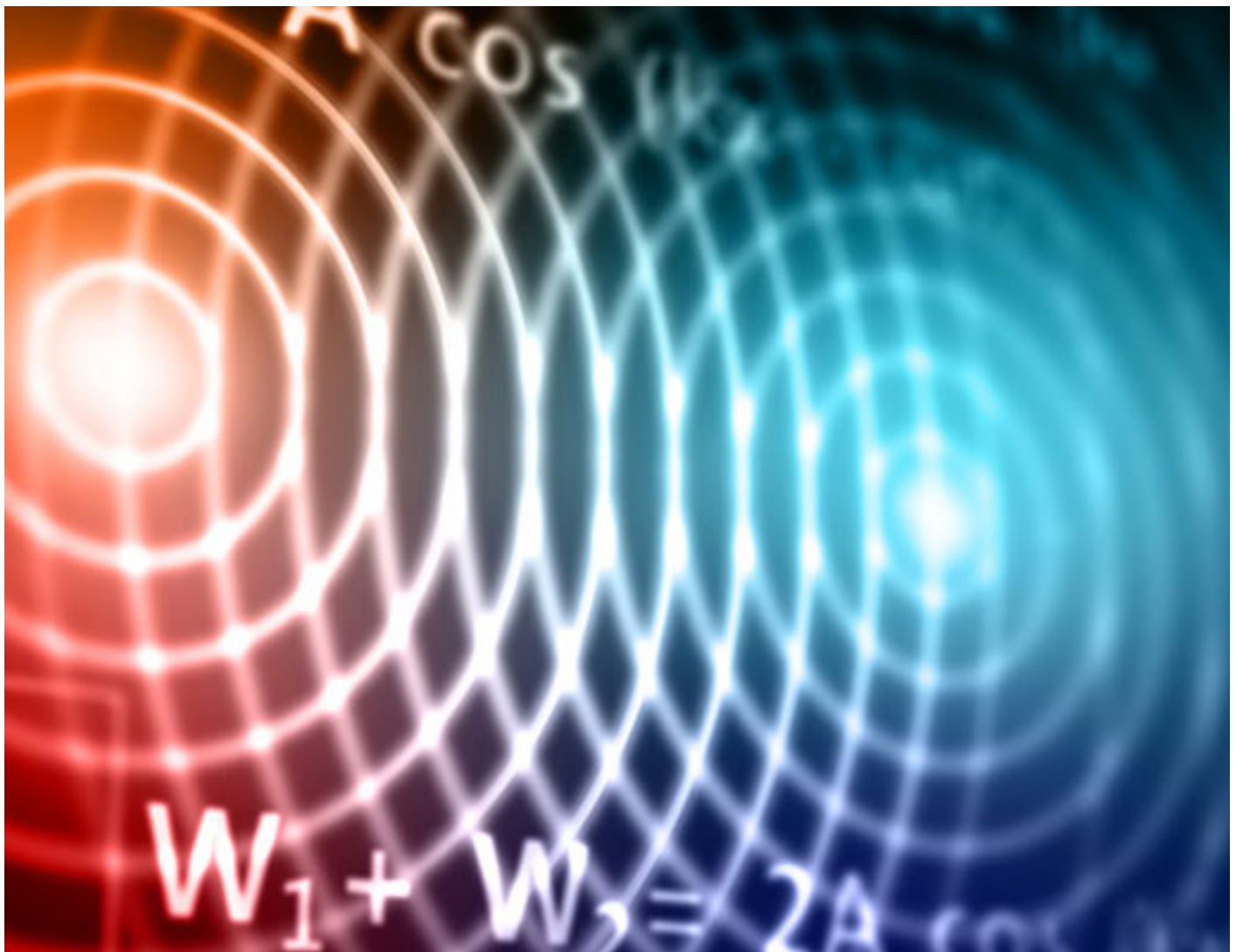


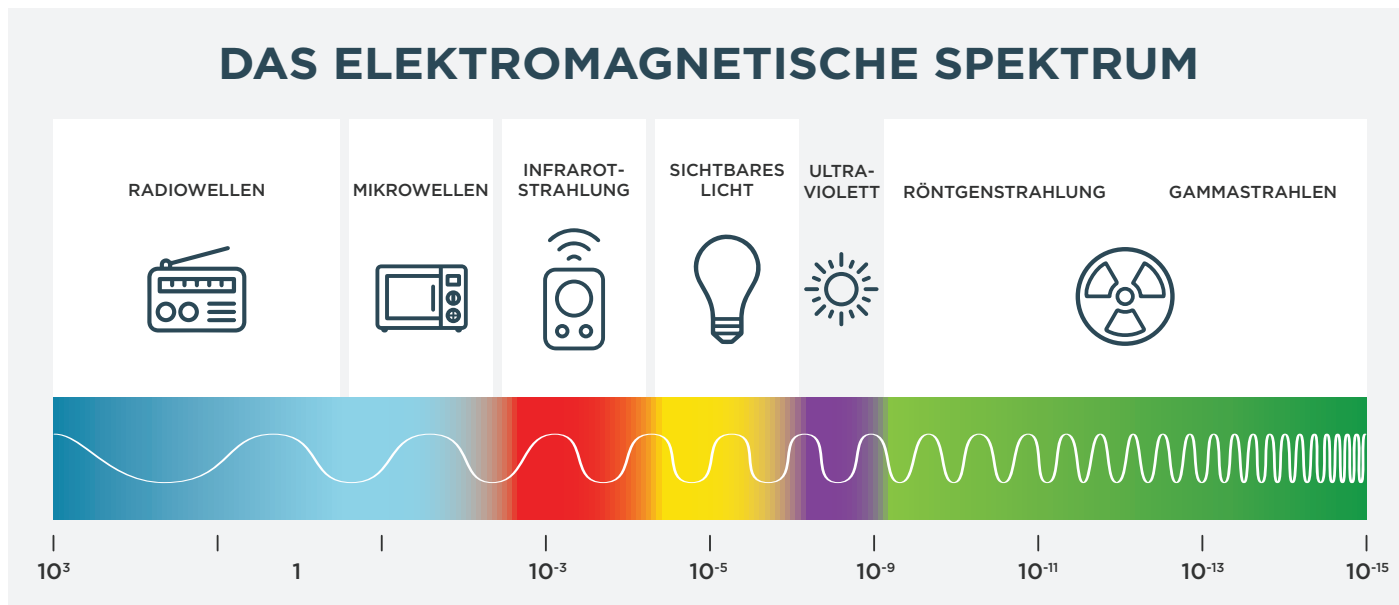
ABSCHIRMUNG ELEKTROMAGNETISCHER INTERFERENZEN

Ein wichtiger Bestandteil der ingenieurtechnischen Entwicklung – Trends, Erkenntnisse und Entwicklungspunkte



Einführung

Elektromagnetische Interferenzen (EMI), auch als Hochfrequenz- oder Funkstörungen (engl.: RFI) bezeichnet, entstehen, wenn eine externe Quelle in einem elektrischen Weg oder Stromkreis Rauschen oder Interferenzen verursacht. Eine Abschirmung ist erforderlich, um zu verhindern, dass elektromagnetische Interferenzen zu Fehlfunktionen elektronischer Geräte führen. Solche Fehlfunktionen können harmlos sein, wie das Rauschen eines Autoradios, aber auch zu schweren Unfällen aufgrund versagender Sicherheitsausrüstungen führen.



Störungsbelastung (Störfestigkeit)



Wenn ein Mobiltelefon Störungen ausgesetzt ist, kann es keine Radiowellen empfangen.

Störungsemission (Emission)



Ein digitaler Stromkreis verursacht Störungen, die als „unerwünschte Emissionen“ bezeichnet werden.

(a) Wenn ein PC zur Störquelle wird

Emission von Radiowellen (Emission)



Mobiltelefone senden Funkwellen zur Kommunikation aus (in der Regel werden diese Funkwellen nicht als Störungen oder Rauschen bezeichnet).

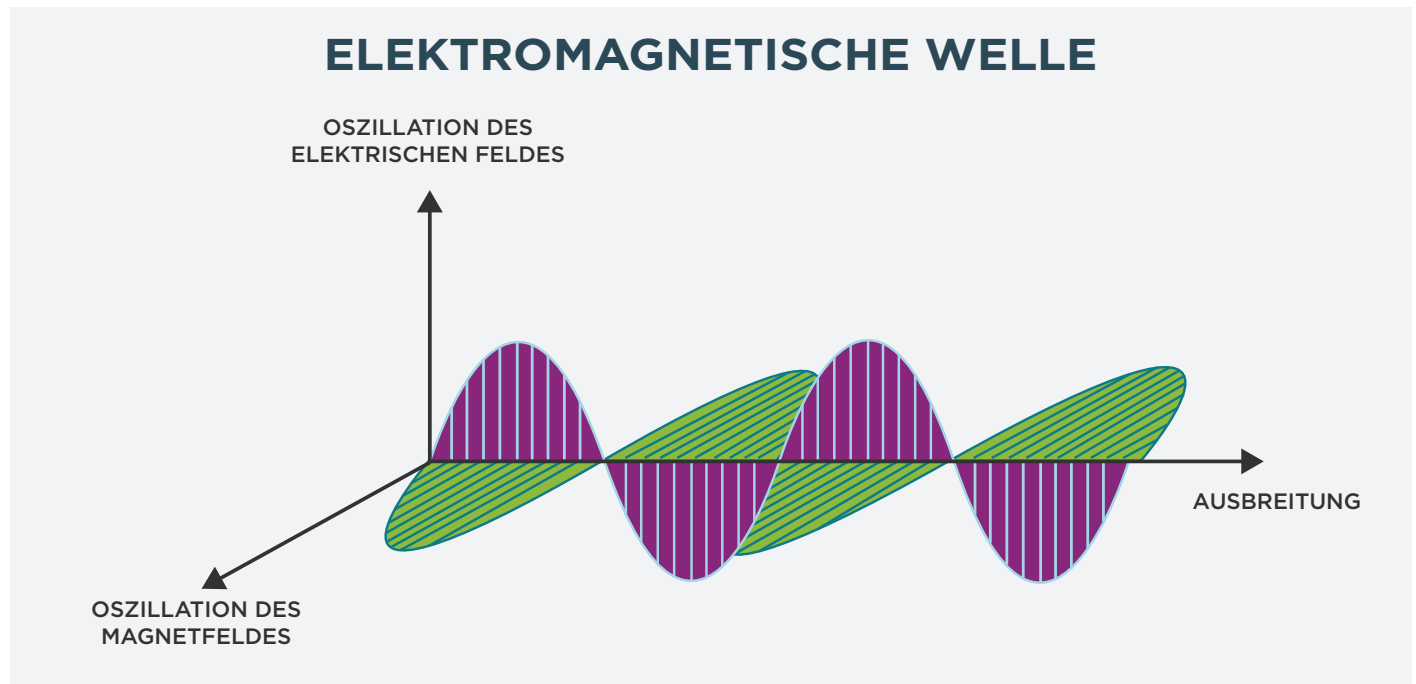
Störungsbelastung (Störfestigkeit)



Wenn ein digitaler Stromkreis eine starke Radiowelle empfängt, kann dies zu Fehlfunktionen führen.

(b) Wenn ein PC Störungen ausgesetzt wird

Im Zuge der technologischen Weiterentwicklung werden EMI-Abschirmungen immer wichtiger. Die imminenden Auswirkungen der fünften Generation drahtloser Technologie (5G), die zunehmende Reichweite des Internets der Dinge (IoT) und die wachsende Elektrifizierung haben alle Auswirkungen auf die EMI-Abschirmung. EMI-Abschirmung ist ein wichtiger Bestandteil des technischen Designs und muss in allen Designebenen berücksichtigt werden, vom Leiterplattenaufbau bis zum Gehäuse. Ingenieuren steht eine Vielzahl von Abschirmungsoptionen für die Anforderungen der jeweiligen Designphase und jeder Anwendung, wie den Bereichen Energiewirtschaft, Verteidigungstechnik und anderen zur Verfügung. Dieser Bericht soll Ingenieuren einen Einblick geben, welche technologischen Weiterentwicklungen die derzeitigen Konzepte der EMI-Abschirmung in Frage stellen werden, und einen detaillierten Überblick über die momentan auf dem Markt erhältlichen Materialien bieten.



Marktdynamik und Trends

IoT und 5G



Die Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) hat definiert, dass wir dann von einem IoT sprechen, wenn mehr „Dinge oder Gegenstände“ mit dem Internet verbunden sind, als Menschen.ⁱⁱ Nach Schätzungen der IBSG entstand das IoT etwa 2010, als die Weltbevölkerung 6,8 Milliarden Menschen umfasste und pro Person 1,84 Geräte mit dem Internet verbunden waren.ⁱⁱ Seitdem hat sich das IoT stetig weiter in unsere Welt vorgearbeitet – sowohl privat als auch beruflich. In unseren Häusern verbreitet es sich immer stärker. Wir steuern damit die Beleuchtung und HLK-Anlagen oder schauen uns per Smartphone Überwachungsvideos unseres Haustürbereichs an. Auf ähnliche Weise ermöglicht das IoT an unseren Arbeitsstandorten die Konnektivität von Maschinen, Fahrzeugen und Systemen.

Dabei wird 5G von einigen als Schlüsselfaktor für die IoT-Technologie betrachtet.ⁱⁱⁱ 5G verspricht eine schnellere Datenübertragung und eine bessere Konnektivität. Die Einführung von 5G in der Industrie wird zu bedeutenden Fortschritten beim IoT führen. Als drahtloses Netzwerk wird das industrielle 5G davon profitieren, dass in der jeweiligen Umgebung keinerlei Kabel mehr benötigt werden, was zu mehr Flexibilität und einem verbesserten Fertigungsaufbau führt. Die äußerst hohe Übertragungsgeschwindigkeit beim 5G soll Verzögerungen beseitigen und die Produktivität verbessern.

Im Vergleich zu den Frequenzen früherer Generationen liegen die Frequenzen des 5G-Netzes höher. In den Vereinigten Staaten liegen die Frequenzen in der zweiten Phase des 5G-Ausbaubereichs bei den vier großen Mobilfunk Anbietern bei Mittenfrequenzen von 2,5 bis 3,7 GHz.^{iv} In Europa haben die Regulierungsbehörden das 3,4–3,8 GHz-Band als geeignet für 5G befunden, das als Hauptfrequenzband für 5G dient. Für erhöhte Datenraten sind höhere Frequenzen in den Millimeterwellenbereichen von 24 bis 86 GHz erforderlich. Im Zuge der Weiterentwicklung von 5G sind noch höhere Frequenzen zu erwarten. Im Vergleich zu 4G wird 5G aufgrund seiner hohen Frequenzen und Datenraten weitaus mehr Basisstationen benötigen.

Eine Erhöhung der Datengeschwindigkeit führt allerdings auch zu einer Zunahme des Rauschens und der Wärmeentwicklung. Eine stark verbesserte Konnektivität zur Unterstützung von mehr drahtlosen Geräten verursacht mehr Signale und höhere Temperaturen an den Verbindungsknoten. All diese Änderungen im Zusammenhang mit 5G machen eine angemessene EMI-Abschirmung immer wichtiger. Währenddessen müssen die Ingenieure im Zuge der Weiterentwicklung von 5G die Herausforderungen meistern, die mit dem Design für höhere Datengeschwindigkeiten, erhöhte Konnektivität und höhere Frequenzen verbunden sind.

Elektrifizierung



Zusätzlich zu den Problemen, die 5G und das IoT mit sich bringen, stellt auch der zunehmende Trend zur Elektrifizierung den Ingenieuren neue Herausforderungen hinsichtlich EMI. Regierungsinitiativen zur Förderung von Alternativen zum Verbrennungsmotor treiben die Elektrifizierung im Fahrzeugbereich voran – von PKWs über Fernlaster und Transporter bis hin zu Agrartechnik und Flugzeugen.^v

Konstruktionsbedingt umfasst das Elektrofahrzeug eine große Menge elektrischer Komponenten auf engstem Raum. Die Batterie in einem Elektrofahrzeug stellt eine mögliche Quelle für elektromagnetische Interferenzen dar. Im vollelektrischen Fahrzeug existieren elektromagnetische Felder zwischen den beiden Akku-Packs (Antriebs- und Hilfsbatterie), dem DC/DC-Umsetzer und anderen Systemkomponenten. Andere Arten von Elektrofahrzeugen – Hybrid-Elektrofahrzeuge, Plug-in-Hybridfahrzeuge und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge – verfügen über eine Hilfsbatterie, wodurch auch sie EMI-empfindlich sind. Bei der Auslegung einer EMI-Abschirmung für Elektrofahrzeuge muss der Ingenieur auch die Wärmeentwicklung und Entflammbarkeit der Batterie berücksichtigen. Wie bei einer zunehmenden Anzahl von Nicht-Elektrofahrzeugen können auch Elektrofahrzeuge immer mehr Navigationssysteme und Sicherheitsanwendungen wie hochentwickelte Fahrerassistenzsysteme auf Basis kontinuierlicher HF-Signale enthalten und zusätzliche Problembereiche für mögliche EMI darstellen.^v

Aber Bedenken hinsichtlich EMI bestehen auch über das eigentliche Elektrofahrzeug hinaus. Die elektrischen Ladesäulen (ECS) stellen aufgrund von AC- und DC-Magnetfeldern eine Quelle für EMI dar. Die Bordelektronik der ECS muss ebenfalls gegen EMI abgeschirmt sein. Außerdem ist das Elektrofahrzeug gegen externe EMI-Quellen anfällig, die von allgemeinen Haushaltsgegenständen wie Garagentoröffnern und Mobiltelefonen bis hin zu weniger häufig anzutreffenden Quellen wie Sonnenstürmen und Hochspannungsleitungen reichen.^v

Signalintegrität und elektromagnetische Verträglichkeit

Signalintegrität und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) können als zwei separate, aber zusammenhängende Komponenten des technischen Designs betrachtet werden, die jeweils einen speziellen eigenen Satz von Anforderungen rechtfertigen. Die Signalintegrität ist ein Maß für die Qualität der Signalübermittlung zwischen einem Sender und einem Empfänger. Zur Beibehaltung der Signalintegrität müssen die Zeitfolgen eingehalten werden und die Signale innerhalb der Spannungsgrenzen bleiben, damit die Sende- und Empfangseinrichtungen nicht beschädigt werden. Im Gegensatz zur EMV gibt es für die Signalintegrität keine Normen. Die wichtigste Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Signalintegrität ist, dass das Endprodukt in seiner vorgesehenen Anwendung ordnungsgemäß funktioniert.^{vi}

Der Einsatz von Simulationstools hat für die Entwicklung von Produkten mit guter Signalintegrität einen hohen Stellenwert. Eine kostengünstige und einfach durchführbare Simulation der Signalintegrität kann das Fehlerrisiko reduzieren, bedingungsabhängige Analysen in frühen Entwicklungsphasen ermöglichen und Informationen liefern, die Designänderungen in späteren Entwicklungsphasen rechtfertigen. Eine Simulation kann im Wesentlichen dazu beitragen, die Wirksamkeit von Designänderungen zu überprüfen und die Produkteinführungszeit zu reduzieren.^{vi}

Whitepaper Abschirmung elektromagnetischer Interferenzen

Ein wichtiger Bestandteil der ingenieurtechnischen Entwicklung – Trends, Erkenntnisse und Entwicklungsgesichtspunkte

EMV bedeutet definitionsgemäß, dass Geräte innerhalb ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend funktionieren können, ohne unzumutbare elektromagnetische Störungen für andere Geräte in der Umgebung zu verursachen.^{vii} Um elektromagnetische Störungen an ihrer Quelle zu beseitigen, müssen die Elektronikingenieure bei der Entwicklung auf einen guten Leiterplattenaufbau sowie auf gute Filterung, Erdung und Signalintegrität achten. Die EMV macht es erforderlich, dass Produkte unter Anwendung von Kriterien entwickelt werden, die in behördlichen Normen oder marktorientierten Normen zur Störaussendung und Störfestigkeit festgelegt sind. Um die EMV-Anforderungen zu erfüllen, müssen die Leiterplatten-Layouts in hoher Qualität gefertigt werden, um den Fluss unerwünschter Gleichtaktströme zu den Anschlussleitungen des Produkts zu begrenzen. Durch komplexe Prüfungen wird sichergestellt, dass diese Ströme den festgelegten Grenzwerten entsprechen. Bei der Prüfung auf abgestrahlte Störaussendungen gemäß Klasse B gilt die Prüfung beispielsweise als nicht bestanden, wenn ein Gleichtaktstrom von 5 mA oder mehr gemessen wird.^{vi}

Im Vergleich zur Simulation der Signalintegrität ist die Simulation der EMV kostspielig und schwierig durchführbar. Deshalb ist es für die Ingenieure besser, ein EMV-gerechtes Design zu erstellen und die Leiterplatten so auszulegen, dass die EMV gewährleistet wird, statt die EMV im Rahmen einer Simulation zu prüfen.^{vi} Eine ordnungsgemäße Erdung und die EMI-Filterung oder Abschirmung sind weitere Methoden zur EMI-Reduzierung.^{viii} Die Prüfung der Produkte unter den in den einschlägigen EMV-Normen angegebenen elektromagnetischen Umgebungsbedingungen ist ebenfalls wichtig.^{viii}

Konformität zu den EMV-Normen



Eine EMV-gerechte Entwicklung wird im Zusammenhang mit dem technologischen Fortschritt immer bedeutungsvoller. Insbesondere bei 5G müssen alle neuen Systeme die gesetzlichen EMV-Vorschriften erfüllen. Desweiteren ist eine EMV-Abschirmung der Gehäuse und Bauteile erforderlich. Die EMV wird von zahlreichen Stellen auf der ganzen Welt reguliert, und jede Branche hat spezifische EMV-Normen.^{viii} Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind in **Tabelle 1** gängige EMV-Normen nach Anwendung aufgeführt.^{viii} Eine ausführlichere Liste, die von Interference Technology veröffentlicht wurde, finden Sie unter <https://learn.interferencetechnology.com/2022-emc-testing-guide/>. Eine gute Verfahrensweise für die Entwicklungsingenieure besteht darin, vor Beginn eines Projekts die entsprechenden Richtlinien ihrer jeweiligen Region und Branche zu Rate zu ziehen.

Tabelle 1: Gängige EMV-Normen nach Anwendung/Industrie^{viii, ix}

Anwendung/Industrie	EMV-Norm
Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Offshore-Ausrüstung	DEF STAN 59-411 MIL-STD-461 MIL-STD-704 MIL-STD-1275 MIL-STD-1399
Automobilkomponenten	IEC CISPR 25 ISO 11451 ISO 11452 ISO 7637 SAE (mehrere Nummern)

Whitepaper zum Thema Abschirmung elektromagnetischer Interferenzen

Ein wichtiger Bestandteil der ingenieurtechnischen Entwicklung – Trends, Erkenntnisse und Entwicklungspunkte

Anwendung/Industrie	EMV-Norm
Gewerbliche Ausrüstungen	FCC Teil 5 Klasse B IEC 61000-6-1 (allgemein) IEC 61000-6-3 (allgemein)
Industrielle Geräte	FCC Teil 15 Klasse A IEC 61000-6-2 (allgemein) IEC 61000-6-4 (allgemein)
Medizinische Geräte	IEC 60601-1-2
Kraftwerks- und Umspannwerksausrüstungen	IEC 61000-6-5
Prozesssteuerungs- und Messausrüstungen (<1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 61326-1
Schalt- und Steuerungsanlagen (1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 60947-1

IEC: International Electrotechnical Commission; ISO: International Organization for Standards;
SAE: Society of Automotive Engineers; FCC: Federal Communications Commission

EMV-Prüfung

Unabhängig von Branche und Anwendung muss vor der Markteinführung von Elektronikprodukten die EMV entsprechend behandelt werden.^x Eine EMV-Prüfung misst die HF-Störaussendung eines Produkts und seine Störfestigkeit gegenüber HF-Emissionen. Die in der Prüfumgebung gewonnenen Ergebnisse geben den Ingenieuren Aufschluss darüber, ob das Produkt in der realen Welt EMI erzeugen wird.^x

Die EMV-Prüfung besteht aus folgenden drei Hauptschritten:

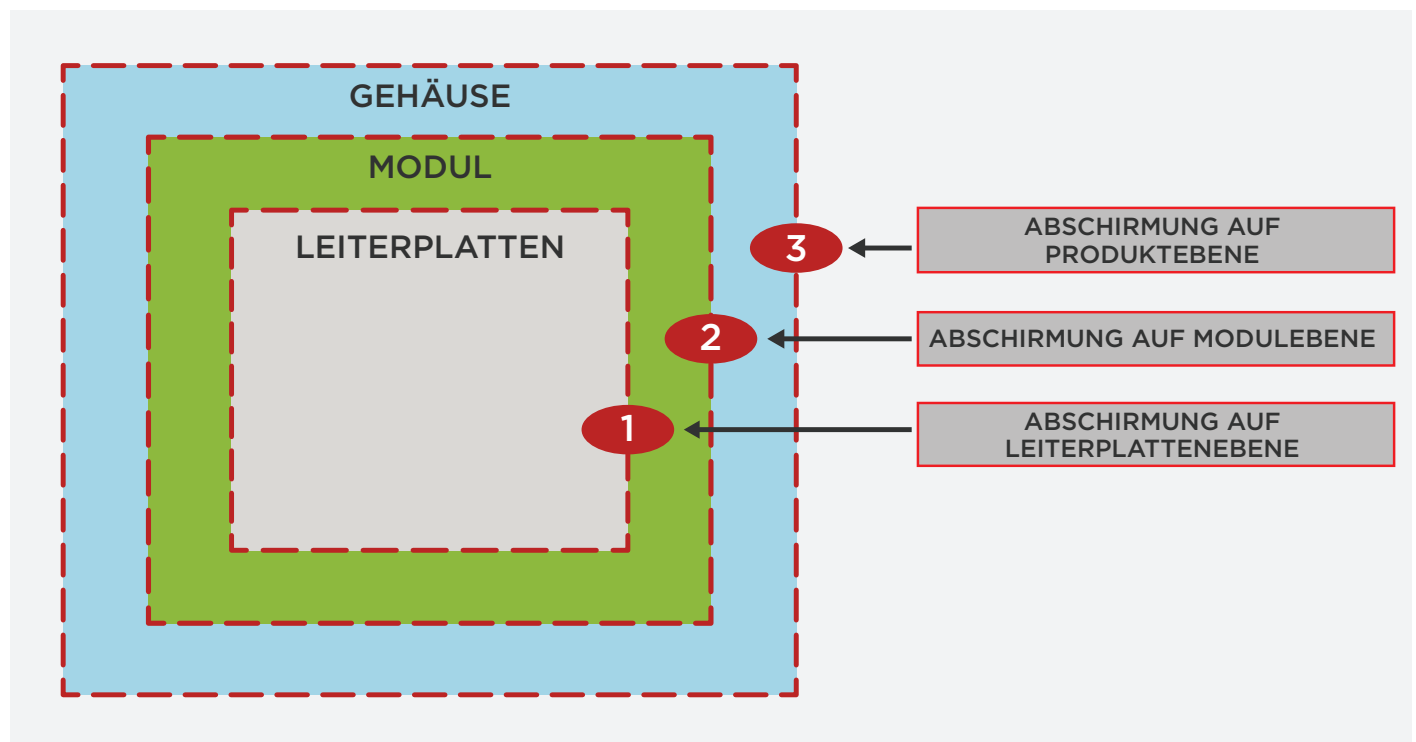
- 1. Identifizierung der relevanten Normen.** Wie bereits erwähnt, variieren die geltenden Normen je nach Produkt, Anwendung und geografischem Standort. Wenden Sie sich entweder an eine Prüfstelle, um zu erfahren, welche Normen gelten, oder führen Sie selbst eine vollständige Normenrecherche durch, bevor Sie mit den Prüfungen beginnen.
- 2. Durchführung einer Vor-Konformitätsprüfung.** Um sicherzustellen, dass Ihr Produkt vor den offiziellen Prüfungen vollständig immun gegen elektromagnetische Störungen ist und die Normen für Energieemissionen erfüllt, sollten Sie idealerweise in einer reflexionsarmen Kammer oder in einem gegen HF-Störstrahlung abgeschirmten Gehäuse eine Prüfung durchführen. Hierfür kann eine voll EMV-konforme Prüfausrüstung, wie ein EMI-Empfänger, angemietet werden. Ausführliche Anweisungen zur Einrichtung von Konformitätsprüfungen im eigenen Hause, eine Übersicht über die erforderliche Ausrüstung und eine Übersicht von Anbietern finden Sie unter <https://learn.interferencetechnology.com/2022-emc-testing-guide/>.
- 3. Auswahl eines EMV-Prüflabors.** Stellen Sie sicher, dass das von Ihnen ausgewählte Labor von A2LA für ISO/IEC 17025-Zertifizierungen akkreditiert ist. Diese Akkreditierung ist entscheidend, wenn Sie Ihr Produkt auf den Markt bringen, und validiert Ihre Prüfungen. Rechnen Sie mit einer Wartezeit von mindestens einigen Monaten, wenn Sie das Prüflabor buchen und planen Sie Ihre Vor-Konformitätsprüfungen dementsprechend.^x

Zur Beurteilung der EMV eines Produkts werden mehrere grundlegende Prüfungen durchgeführt. Prüfbestandteile sind unter anderem die Beständigkeit gegen Störeinstrahlungen und die Störungsabstrahlung sowie die Beständigkeit gegen leiterbasierte Störungen und leiterbasierte Störaussendungen. Bei der Beständigkeitsprüfung gegen Störstrahlung wird die Leistung des Produkts gemessen, wenn es in seiner Umgebung elektromagnetischer Energie ausgesetzt ist. Bei der Prüfung auf eigene Störabstrahlungen wird die Menge der vom geprüften Produkt ausgehenden elektromagnetischen Störungen beurteilt. Bei der Beständigkeitsprüfung gegen leitungs-basierte Störungen wird die Reaktion des zu prüfenden Produkts auf elektromagnetische Energie gemessen, die von einem anderen Produkt ausgeht und über ein Kabel oder einen Leiter zum Prüfprodukt geleitet wird. Die Prüfung auf leitungs-basierte Störaussendungen analysiert die elektromagnetische Energie, die von dem Prüfprodukt die entlang eines Leiters zu einem anderen Produkt geleitet wird. Für die hausinterne Durchführung jeder dieser Prüfungen steht eine breite Vielfalt an Spezialausrüstungen zur Verfügung. Wenn solche Prüfungen vor dem Versand des Produkts an ein Prüflabor zur EMV-Zertifizierung im eigenen Hause durchgeführt werden, ist noch eine feinere Abstimmung des Produkts möglich. Dies kann verhindern, dass ein Produkt im ersten Zertifizierungsanlauf bei der Prüfung durchfällt.^x

Ebenen der EMI-Abschirmung

Aus Sicht der technischen Entwicklung muss die EMI-Abschirmung auf allen Ebenen berücksichtigt werden – vom Gehäuse über die Module bis hin zu den Leiterplatten. Ein Faradayscher Käfig (ein Schutzaufbau, der verhindert, dass elektromagnetische Strahlungen in einen Bereich eindringen oder diesen verlassen) ist eine wichtige Komponente bei der EMI-Abschirmung auf den nachfolgend erläuterten unterschiedlichen Ebenen.^{xi}

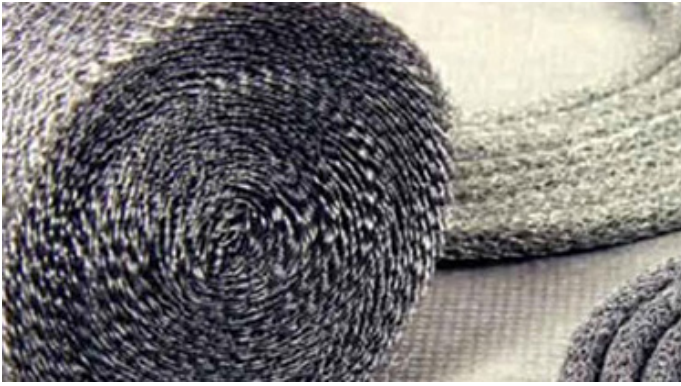
- **Gehäuseebene:** Bei der EMI-Abschirmung von Gehäusen jeder Art geht es darum, einen Faradayschen Käfig zur Abschwächung von Signalen zu schaffen, die aus dem Gehäuseinneren kommen. Dies minimiert das Entweichen von Signalen, die Interferenzen mit anderen Geräten in der Umgebung verursachen können und kann verhindern, dass Störungen von außen in das Gehäuse eindringen.
- **Modulebene:** Unter einer Abschirmung auf Modulebene versteht man die Abschirmung aktiver Bauteile wie Antriebe, Anzeigen usw. innerhalb des Elektronikgehäuses, um diese Bauteile vor internen Störeinflüssen zu schützen.
- **Leiterplattenebene:** Die Abschirmung auf Leiterplattenebene umfasst die Abschirmung einzelner Bauteile, z. B. integrierter Schaltkreise, durch Abschirmungsgehäuse, indem z. B. ein kleiner Faradayscher Käfig für diese Bauteile gebildet wird.



Arten von EMI-Abschirmungsmaterialien

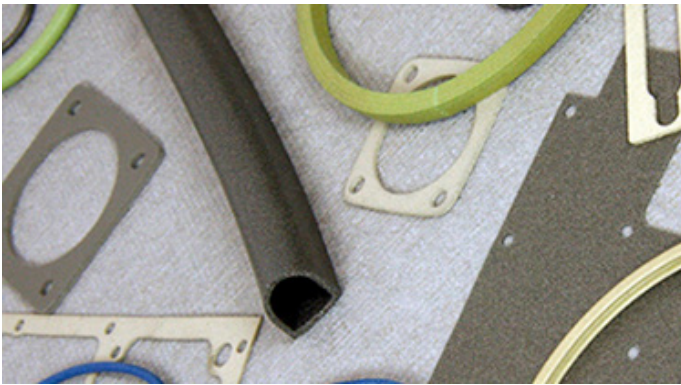
EMI-Abschirmungen sind in einer Vielzahl verschiedener Materialien erhältlich, um ein breites Spektrum an Anforderungen in allen Anwendungen und Branchen zu erfüllen. Verschiedene Materialarten eignen sich für unterschiedliche Anforderungen zur Erzielung einer wirkungsvollen EMI-Abschirmung. Nachfolgend sind die vier Haupttypen von EMI-Abschirmungsmaterialien aufgeführt:

- Maschendrahtgeflecht
- Elektrisch leitfähige Elastomere
- Leitfähiges Gewebe über Schaumstoff
- Metallabschirmstreifen, typischerweise Beryllium-Kupfer oder Edelstahl



Maschendrahtgeflecht. Maschendrahtgeflechte stellen eine kostengünstige Lösung für die EMI-Abschirmung dar. Diese Art der Abschirmung besteht aus mehreren Drahtschichten, üblicherweise aus Monel (Nickel-Kupfer-Legierung), verzinnem, kupferbeschichtetem Stahl, Edelstahl oder Aluminium, die über einen Kern gewirkt werden. Die Grundmaterialien reichen von Silikonschwämmen und massivem Silikon bis hin zu geschlossenzelligen Neoprenschwämmen. Die Verfügbarkeit verschiedener Materialien für Maschendrahtgeflechte ermöglicht eine galvanische Kompatibilität mit den Gegenflanschen, wodurch die Korrosionsgefahr

verringert wird. Gewirkte Drahtgeflechte können in komplexen Formen hergestellt und als O-Ring in Nuten eingesetzt werden. Wenn das Maschendrahtgeflecht mit einem Träger verbunden ist, kann es auch auf einer Oberfläche angebracht werden, wo es für eine Staub- und Feuchtigkeitsabdichtung sorgt. Diese Art der Abschirmung eignet sich gut für Schranktüren, Deckel und abnehmbare Abdeckplatten. Die Abschirmwirkung von Maschendrahtgeflecht nimmt ab 1 GHz ab, sodass weitere Maschendrahtschichten hinzugefügt werden müssen.



Elektrisch leitfähige Elastomere. Eine weitere kostengünstige Möglichkeit zur EMI-Abschirmung sind elektrisch leitfähige Elastomere, die aus einer Reihe von Materialien für verschiedene Anwendungen erhältlich sind. Zu diesen Materialien gehören versilbertes Aluminium, Kupfer oder Glas in Silikon oder auch Fluorsilikon und nickelbeschichteter Graphit bzw. reines Nickel in Silikon oder Fluorsilikon. Jedes dieser Materialien bietet eine hohe Leistung bei allen Frequenzen. Nickelbeschichteter Graphit und versilbertes Aluminium zeichnen sich durch ein geringes spezifisches Gewicht aus, was sie kostengünstiger macht als Füllstoffe auf Kupfer- oder Nickelbasis.

Nickelbeschichteter Graphit ist jedoch drei- bis fünfmal kostengünstiger als versilbertes Aluminium. Elektrisch leitfähige Elastomere sorgen ebenso wie Maschendrahtgeflechte durch die Vielfalt an leitfähigen Füllstoffen für eine galvanische Verträglichkeit. Leitfähige Elastomere sind als Platten, Flachdichtungen oder O-Ringe erhältlich. Die Fluorsilikone sind kraftstoff- und ölbeständig und damit die ideale Wahl für raue Umweltbedingungen. Das Produkt nickelbeschichteter Graphit in Silikon ist auch in einer flammhemmenden Version erhältlich, die gemäß UL94-VO Aktenzeichen E344902 zugelassen ist.

Zwei weitere Arten leitfähiger Elastomeren sind Form-in-Place-Dichtungen und in Silikon eingebettete Drähte. Leitfähige Elastomere des Form-in-Place-Typs bestehen aus leitfähigem, flüssigem Silikon, das direkt in die Gehäusehardware verteilt werden kann. Zu den Materialien gehören nickelbeschichteter Graphit in Silikon und versilbertes Aluminium, Kupfer oder Nickel in Silikon. Leitfähige Elastomere des Form-in-Place-Typs sind auch aus nicht leitendem Silikon erhältlich. Sie bieten sich für kleine Gehäuse mit geringer Auflagefläche für Dichtungen an und sorgen auch für eine Staub- und Feuchtigkeitsabdichtung.

In Silikon eingebetteter Draht ist ein flaches Silikonfolienmaterial, in das senkrecht ausgerichtete Monel- oder Aluminiumdrähte eingebettet sind. Dieses Material stellt eine hervorragende Abschirmungsmöglichkeit gegen elektromagnetische Impulse dar und bietet eine Abdichtung gegen Umwelteinflüsse. Zu den Ausführungen gehören massives, geschlossenes Zellsilikon, weiches, festes Silikon, Schwammsilikon und massives Fluorsilikon mit jeweils unterschiedlicher Anzahl von Drähten.

Leitfähiges Gewebe über Schaumstoff. Diese Art der EMI-Abschirmung besteht aus einem leitfähigen, nickel-/kupfer- oder silberbeschichteten Polyester- oder Nylongewebe über einem weichen Polyether-Polyurethan-Schaumkern. Leitfähiges Gewebe über Schaumstoff ist als Material in vielen verschiedenen Ausführungen erhältlich, wodurch es sich für ein breites Anwendungsspektrum, einschließlich gewerblicher Anwendungen, eignet. Dieses Material bietet eine effektive Abschirmung bis 10 GHz. Obwohl diese Art der Abschirmung keine Wasserabdichtung ermöglicht, ist eine begrenzte Staubabdichtung möglich.

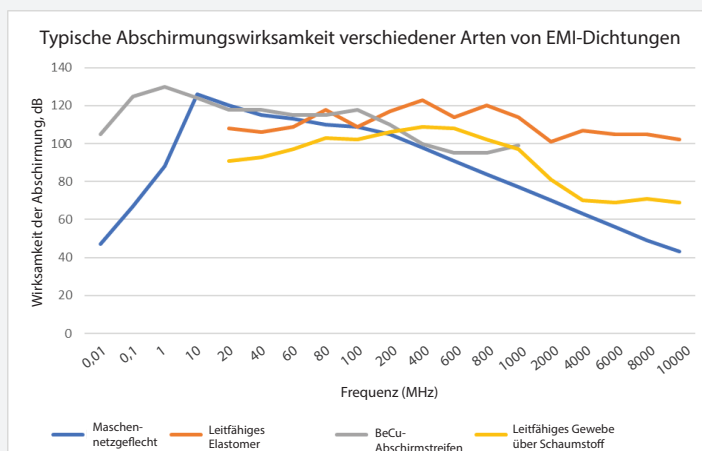
Whitepaper Abschirmung elektromagnetischer Interferenzen

Ein wichtiger Bestandteil der ingenieurtechnischen Entwicklung – Trends, Erkenntnisse und Entwicklungsgesichtspunkte

Abschirmstreifen. Aufgrund der mechanischen Federeigenschaften und der hohen elektrischen Leitfähigkeit sind Abschirmstreifen, die meist aus Beryllium-Kupfer bestehen, eine gute Wahl für die EMI-Abschirmung von Schaltschränken und Türen oder anderen Bereichen mit häufigem Zugang oder Zutritt. Für die galvanische Kompatibilität stehen verschiedene Beschichtungen zur Verfügung. Abschirmstreifen sind in einer großen Auswahl an lötbaren und nicht lötbaren Oberflächenvarianten mit Gold, Silber, Glanzzinn, Glanznickel, Zink und Nickel aus stromloser Nickelabscheidung erhältlich.

Abschirmstreifen. Aufgrund der mechanischen Federeigenschaften und der hohen elektrischen Leitfähigkeit sind Abschirmstreifen, die meist aus Beryllium-Kupfer bestehen, eine gute Wahl für die EMI-Abschirmung von Schaltschränken und Türen oder anderen Bereichen mit häufigem Zugang oder Zutritt. Für die galvanische Kompatibilität stehen verschiedene Beschichtungen zur Verfügung. Abschirmstreifen sind in einer großen Auswahl an lötbaren und nicht lötbaren Oberflächenvarianten mit Gold, Silber, Glanzzinn, Glanznickel, Zink und Nickel aus stromloser Nickelabscheidung erhältlich.

WIRKSAMKEIT DER ABSCHIRMUNG



MASCHENDRAHTGEFLECHT

H-Feld-Abschirmung (magnetisch) 62 dB bei 10 kHz erreichbar. SE fällt nach 1 GHz ab

LEITFÄHIGE ELASTOMERE

Abschirmung mit breitem Frequenzbereich, >100 dB bis 10 GHz E-Feld.

GEWEBE ÜBER SCHAUMSTOFF

Abschirmung mit breitem Frequenzbereich, >100 dB bis 10 GHz E-Feld.

BERYLLIUM-KUPFER-ABSCHIRMSTREIFEN

Abschirmung mit breitem Frequenzbereich, >100 dB bis 10 GHz E-Feld.

Weitere Optionen für die EMI-Abschirmung sind u. a. wabenförmige EMI-Lüftungsöffnungen, EMI-geschirmte Sichtfenster und EMI-Kabelverschraubungen.



Wabenförmige EMI-Lüftungsöffnungen.

Wabenförmige Lüftungs-/Belüftungspaneel bestehen aus einer wabenförmigen Aluminiumfolie, die in einem festen Rahmen aus extrudiertem Aluminium befestigt ist. Die Folie, die zu einer fortlaufenden Reihe von Wabenzellen geformt und laminiert sowie anschließend an den Verbindungsstellen geklebt und perforiert oder lasergeschweißt wird, sorgt an jeder Verbindungsstelle für einen Leitfähigkeitspfad. Obwohl die Folie in allen Richtungen leitfähig ist, ist es zur Verbesserung der EMI-Leistung zu empfehlen, je zwei Wabenstücke im 90°-Winkel zueinander zu polarisieren.

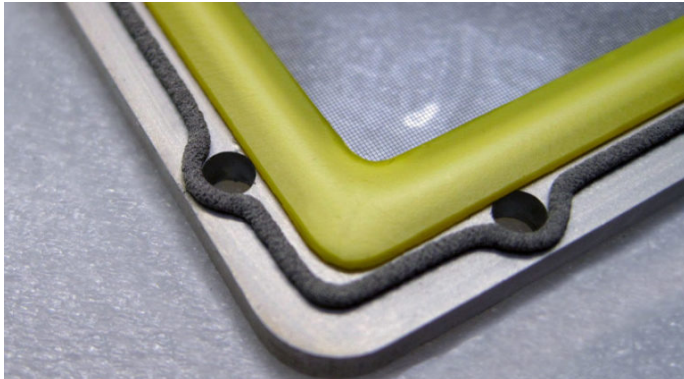
Der Rahmen ist mit einer integrierten oder separaten EMI/RFI-Dichtung erhältlich und kann mit einer Vielzahl von Oberflächenbehandlungen versehen werden, um Korrosionsschutz zu bieten oder die Leitfähigkeit zu verbessern. Diese Abschirmungsversion folgt dem Prinzip der Wellenleitung oberhalb einer Grenzfrequenz. Die wabenförmigen Lüftungsöffnungen bestehen aus einer Reihe von Röhren, die als Hohlleiter oder Wellenleiter fungieren und elektromagnetische Wellen in das Gehäuse oder aus dem Gehäuse durchlassen. Wenn die Röhren lang genug sind, werden diese Wellen gedämpft. In der Regel

Whitepaper zum Thema Abschirmung elektromagnetischer Interferenzen

Ein wichtiger Bestandteil der ingenieurtechnischen Entwicklung – Trends, Erkenntnisse und Entwicklungspunkte

sollte das Rohr mindestens dreimal so lang sein wie sein Durchmesser. In der Praxis hat sich das Vierfache des Durchmessers bewährt. Eine Zelle mit 3,18 mm Durchmesser sollte also 12,7 mm lang sein. Das Wabenmaterial wird verwendet, weil es eine hohe Abschirmungsleistung, geringes Gewicht und eine gute Luftströmung bietet.

Lüftungspaneele sind für den Einsatz in Elektronikgehäusen ausgelegt, in denen ein guter Luftstrom für Kühlung und Ventilation erforderlich ist, aber gleichzeitig auch die EMV-Konformität gewährleistet werden muss. Zu den typischen Anwendungen gehören Elektronikgehäuse, Klimaanlage, Ventilatorgehäuse, EMV-Racks und Kommunikationscontainer.



EMI-geschirmte Sichtfenster. EMI-geschirmte Sichtfenster bieten eine leistungsfähige EMI-Abschirmung für ein Gehäuse bei gleichzeitiger Beibehaltung einer optimalen Sichttransparenz. EMI-geschirmte Fenster sorgen als Bestandteile eines abgeschirmten Gehäuses, das Schutz vor Störstrahlung bietet und die Anfälligkeit reduziert, für eine EMI-Abschirmung. Geschirmte Fenster bieten eine gute Transparenz zur Betrachtung von Anzeigegeräten wie LED- und LCD-Displays. Sie können aber auch als Frontblende eines Gehäuses fungieren, um Schutz vor Impulsen, eine Kontrastverstärkung der Anzeigen oder eine Farbanpassung des Displays zu bieten. Außerdem

können sie zur Entspiegelung und zum Blendschutz dienen. Geschirmte Fenster können zur Bereitstellung einer EMI-Abschirmung für eine breite Anwendungspalette, wie Laptops und Kleindisplays eingesetzt werden. Größere Fenster können für architektonische Zwecke gute Sicht und EMI-Abschirmung miteinander verbinden, z. B. für Computerräume, abgeschirmte Räume, MRT-Räume und Räume zur abgesicherten Kommunikation.

Diese Sichtfenster sind in zwei Konfigurationen erhältlich:

- **Verbundfenster:** Ein sehr feines, gewebtes Maschendrahtgeflecht, das zwischen zwei Schichten eines optischen Substrats eingeschlossen ist und mit einer Polyurethan-Zwischenschicht laminiert wird
- **Gussfenster:** Ein sehr feines Drahtgeflecht, das in ein Gusssubstrat eingebettet ist



EMI-Kabelverschraubungen.

Kabelverschraubungen sorgen bei geschirmten Kabeln, die durch Gehäusewände führen, für eine hervorragende EMI-Abschirmung. Sie sind aus Messing gefertigt und für unterschiedliche Kabelgrößen erhältlich. Außerdem sorgen sie für die herkömmliche Zugentlastung eines Kabels.

EMV-gerechte Kabelverschraubungen bestehen aus vier Teilen: Körper, Kappe, Sicherungsmutter und Maschendrahtgeflecht. In der Kabeleinführungsbuchse wird ein Maschendrahtgeflecht verwendet, das über einen Silikonkern gelegt ist. Wenn die Kappe am Körper

festgeschraubt wird, wird durch den zunehmenden Druck am Außenumfang Druck auf das Kabel und den Kabelverschraubungskörper ausgeübt. Dadurch entsteht eine hervorragende elektrische Leitfähigkeit zwischen den beiden Komponenten, die eine gute Abschirmung gegen HF und elektromagnetische Strahlung gewährleistet.

Anwendung von EMI-Abschirmungen

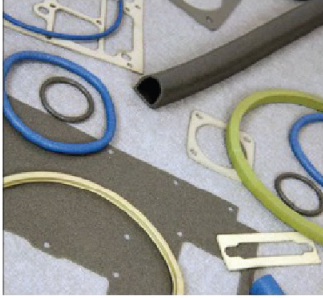
EMI-Abschirmungen sind in einer Vielzahl von Anwendungen und Branchen erforderlich, von der Luft- und Raumfahrt sowie der Verteidigungsindustrie bis hin zu Datenkommunikation/IoT, Automobiltechnik und Medizin. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit gibt **Tabelle 2** eine Aufstellung von EMI-Abschirmungsmaterialien wieder, die in einer Reihe von Anwendungen und Branchen zur Anwendung gelangen.

Tabelle 2: Arten von EMI-Abschirmungsmaterialien nach Anwendung und Branche

Material	Anwendung	Branche
Maschendrahtgeflecht	Türdichtungen Dichtungen für Zugangsöffnungen Bereiche mit häufigem Zugang/Zutritt	Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Offshore Datenkommunikation Energietechnik Industrie Medizintechnik
Elektrisch leitfähige Elastomere	Industrielle Steuerungsinstrumente Militärische Ausrüstung Bordelektronik in Luft- und Raumfahrt Medizinische Elektronik Gehäuse für Elektronikgeräte	Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Offshore Automobilindustrie Datenkommunikation Energietechnik Industrielles und gewerbliches Internet der Dinge (IoT) Medizintechnik Transportwesen
Gewebe über Schaumstoff	Schranktüren Schalttafeldichtungen Erdungskontakte Karten-/Baugruppenträgerdichtungen Steckverbinder und E/A- Durchführungsdichtungen	Datenkommunikation IoT Medizintechnik
Abschirmstreifen	Schranktüren Zugangsöffnungen Personentüren in geschirmten Räumen und Raumabteilungen Abgeschirmte Räume Erdungskontakte	Datenkommunikation IoT Medizintechnik

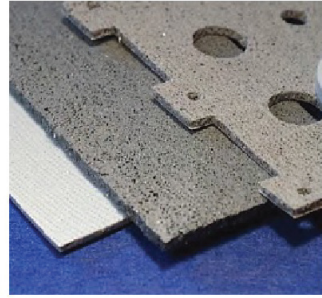
Wichtige Schlussfolgerungen

Fortschritte in der Technologie, einschließlich der zunehmenden Verbreitung von 5G und der zunehmenden Reichweite des IoT, führen zu einem höheren Bedarf an EMI-Abschirmung. Eine Berücksichtigung der EMI-Abschirmungsaspekte durch die Ingenieure bereits in den Anfangsstadien der Entwicklung ist deshalb unerlässlich. Vom Gehäuse über das Modul bis zur Leiterplatte muss jede Ebene eine EMI-Abschirmung aufweisen. Zu den Vorteilen der frühzeitigen Berücksichtigung der Abschirmungsaspekte im Entwicklungsprozess gehören eine Verbesserung des Wirkungsgrades, die Vermeidung kostspieliger Designüberarbeitungen und die Vermeidung von Verzögerungen bei der Produkteinführung. Für individuelle (TE-)Anwendungen stehen verschiedene Abschirmungsmaterialien zur Verfügung, die sich jeweils gut für unterschiedliche EMI-Anforderungen eignen. TE Connectivity verfügt über ein breites Sortiment an EMI-Abschirmungsmaterialien und ist damit der ideale Partner, wenn es um Unterstützung bei der Festlegung des am besten geeigneten Materials für Ihr spezielles Projekt geht.



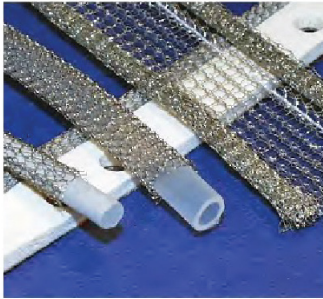
Leitfähige Elastomere

Standardsilikon weist einen hervorragenden Temperaturbereich auf und ist widerstandsfähig gegen Druckverformung. Fluorsilikon hat eine überlegene Beständigkeit gegen Heizöle und Lösungsmittel.



In Silikon eingebetteter Draht

Bietet eine ausgezeichnete Abschirmung mit EMP-Festigkeit und gewährleistet auch die Abdichtung gegen Umwelteinflüsse.



Maschendrahtgeflecht

Dichtungen aus Maschendrahtgeflecht bieten eine ausgezeichnete, kostengünstige EMI-Dichtung, die sowohl in magnetischen als auch in elektrischen Feldern eine Abschirmung garantiert.



EMI-abschirmende Lüftungspaneele

Hergestellt aus Aluminiumwaben, die in einem Rahmen montiert sind.

Referenzen

- i. Wright, Gavin. What is an Electromagnetic Interference? (Was ist eine elektromagnetische Interferenz?) Verfügbar unter: [https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/electromagnetic-interference#:~:text=Electromagnetic%20interference%20\(EMI\)%20is%20unwanted,natural%20or%20human%20made%20sources](https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/electromagnetic-interference#:~:text=Electromagnetic%20interference%20(EMI)%20is%20unwanted,natural%20or%20human%20made%20sources). Abgerufen am 8. Dezember 2022.
- ii. Evans, Dave. The Internet of Things (Das Internet der Dinge). How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything. (Wie die nächste Entwicklungsphase des Internets alles verändert.) April 2011. Verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/loT_IBSG_0411FINAL.pdf. Abgerufen am 15. November 2022.
- iii. Alsulami, Mashaal M. und Akkari, Nadine. The role of 5G wireless networks in the internet-of-things (IoT). (Die Bedeutung von drahtlosen 5G-Netzwerken im Internet der Dinge (IoT).) 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/CAIS.2018.8471687. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8471687>. Abgerufen am 14. November 2022.
- iv. Sha, Arjun. Liste der 5G-Bänder in den USA für Verizon, AT&T, Spring und T-Mobile. 3. September 2022. Verfügbar unter: <https://beebom.com/list-5g-bands-us-verizon-att-sprint-t-mobile/>. Abgerufen am 27. November 2022.
- v. Testo, Dominic J. EMI Shielding for Electric Vehicles. (EMI-Abschirmung für Elektrofahrzeuge.) Ballston Spa, New York: Specialty Silicone Products. (Silikon-Spezialprodukte.)
- vi. MacArthur, Don. Signal Integrity Versus EMC. (Signalintegrität im Vergleich zur EMV.) 30. September 2022.
- vii. TÜV SÜD. EMC vs EMI testing. (EMV- und EMI-Prüfungen im Vergleich.) Verfügbar unter: <https://www.tuvsud.com/en-us/services/testing/electromagnetic-compatibility-testing#:~:text=EMC%20testing%20measures%20the%20ability,to%20anything%20in%20that%20environment>. Abgerufen am 8. Dezember 2022.
- viii. Cadence System Analysis. The EMC Standards List: (Die EMV-Normenliste:) Common Standards and Their Significance. (Allgemeine Normen und ihre Bedeutung.) Verfügbar unter: <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2021-the-emc-standards-list-common-standards-and-their-significance>. Abgerufen am 7. Dezember 2022.
- ix. Interference Technology. (Abschirmungstechnik.) 2022 EMC Testing Guide. (2022 Leitfaden zur EMV-Prüfung.) Verfügbar unter: <https://learn.interferencetechnology.com/2022-emc-testing-guide/>. Abgerufen am 21. Oktober 2022.
- x. Advanced Test Equipment Corp. What is EMI/EMC Testing? (Was ist EMI/EMV-Prüfung?) Verfügbar unter: <https://www.atecorp.com/solutions/emc-testing>. Abgerufen am 7. Dezember 2022.
- xi. O'Callaghan, Jonathan. What is a Faraday cage? (Was ist ein Faradayscher Käfig?) 2. Dezember 2021. Live Science. Verfügbar unter: <https://www.livescience.com/what-is-a-faraday-cage>. Abgerufen am 13. November 2022.

te.com

© 2023 TE Connectivity Ltd. Unternehmensfamilie. Alle Rechte vorbehalten.

TE Connectivity, TE connectivity (Logo), TE und Kemtron Proven EMC Shielding (Logo) sind Handelsmarken im Eigentum von oder lizenziert durch die TE-Connectivity-Unternehmensfamilie. Alle anderen hier genannten Logos, Produkte und/oder Unternehmensnamen können Handelsmarken ihrer jeweiligen Eigentümer sein.

Die hier zur Verfügung gestellten Informationen, einschließlich Abbildungen, Illustrationen und schematischer Darstellungen, dienen lediglich zur Veranschaulichung und wurden nach unserem besten Wissen erstellt. TE Connectivity gewährt jedoch keinerlei Garantie bezüglich der Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben und lehnt jegliche Haftung für deren Gebrauch ab. TE Connectivity übernimmt nur die in den allgemeinen Geschäftsbedingungen für dieses Produkt festgelegten Verpflichtungen und haftet in keinem Fall für durch den Verkauf, den Wiederverkauf, den Gebrauch oder den fehlerhaften Einsatz des Produkts entstehende Begleitschäden, indirekte Schäden oder Folgeschäden. Die Nutzer von Produkten des Herstellers TE Connectivity müssen selbst beurteilen, ob das jeweilige Produkt für die jeweils gewünschte Anwendung geeignet ist.

01/23 Original - deutsche Übersetzung