

## Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder: IEC 61000-4-3

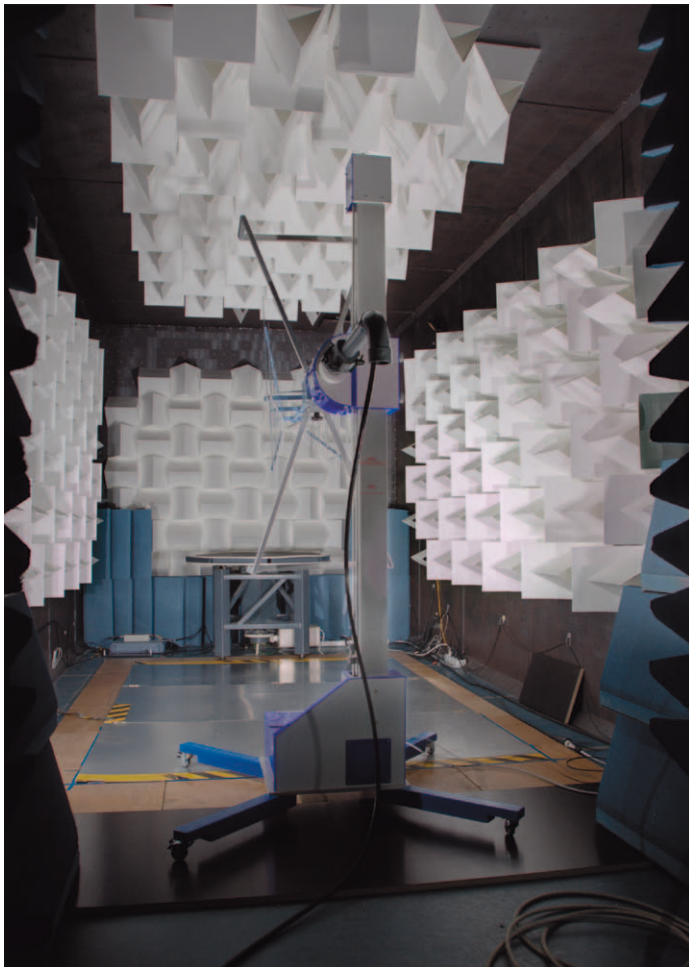


Bild 1: FRIWO-Absorberhalle am Standort Ostbevern

### Kurz gefasst

Elektromagnetische Felder nutzen der modernen Kommunikation, können aber andere elektronische Geräte negativ beeinflussen. Um negative Einflüsse zu verhindern, ist die Prüfung der Störfestigkeit von Geräten gegen hochfrequente elektromagnetische Felder in der EMV-Norm IEC 61000-4-3 reguliert.

Heutzutage sind wir von einer Vielzahl hochfrequenter elektromagnetischer Felder umgeben: Rundfunkanstalten, Fernsehen und Mobilfunkanbieter verfügen über eine Vielzahl von Sendeeinrichtungen. Hinzu kommen die unterschiedlichsten Sendeleistungen und Frequenzen, etwa von WLAN- und Bluetooth-Verbindungen oder vom schnurlosen Telefon daheim. Diese elektromagnetischen Felder nutzen zwar der modernen Kommunikation, beeinflussen aber andere elektronische Geräte negativ. Leiterbahnen und Drähte in den Geräten wirken als Antennen und die auf diesem Wege eingekoppelte elektromagnetische Energie kann, je nach Feldstärke und Schaltung, die Leistungsmerkmale eines Gerätes verändern oder Bauteile gar direkt zerstören. Ein geläufiges Beispiel ist etwa das „Knacken“ von Radios, wenn ein Mobiltelefon in der Nähe ist. Auch auf Netzteile hat die elektromagnetische Strahlung negative Auswirkungen und kann beispielsweise zum Einbruch der Ausgangsspannung führen.

Um dies zu verhindern, ist die Prüfung der Störfestigkeit von Geräten gegen hochfrequente elektromagnetische Felder in der EMV-Norm IEC 61000-4-3 reguliert. Der vorliegende Fachartikel beschreibt die grundsätzlichen Regelungen der Norm, erklärt die Grundsätze von elektromagnetischen Feldern samt ihrer Wirkung und beschreibt Maßnahmen, um die Störfestigkeit von elektronischen Geräten zu erhöhen.

### Was sind hochfrequente elektromagnetische Felder?

Hochfrequente elektromagnetische Felder sind im elektromagnetischen Spektrum im Frequenzbereich zwischen 100 Kilohertz (kHz) und 300 Gigahertz (GHz) angesiedelt. Sie werden im Allgemeinen von einer Antenne abgestrahlt und können Energie und Informationen über große Entfernungen übertragen. Besonders für die moderne Kommunikation bieten hochfrequente elektromagnetische Felder vielfältige Nutzungs-

möglichkeiten. Entsprechend groß ist die Anzahl verschiedener Sendeeinrichtungen und unterschiedlicher Sendeleistungen und Frequenzen, von denen der Mensch heute umgeben ist.

Frequenz und Wellenlänge elektromagnetischer Felder sind über die Ausbreitungsgeschwindigkeit (im freien Raum ist das die Lichtgeschwindigkeit  $c$ ) fest miteinander verbunden und beschreiben den Wellencharakter der Felder. Bei hohen Frequenzen  $f$  sind die Wellenlängen  $\lambda$  (Lambda) klein, bei niedrigen Frequenzen entsprechend größer. Bei einer Ausbreitung im freien Raum liegen die Wellenlängen zwischen drei Kilometern und einem Millimeter.[1]

$$\lambda = c/f$$

### Maßeinheiten der elektrischen Feldstärke

Die Intensität der elektrischen Felder kann in drei unterschiedlichen Einheiten angegeben werden:

- In Form der elektrischen Feldstärke, Maßeinheit: Volt pro Meter, V/m
- In Form der magnetischen Feldstärke, Maßeinheit: Ampere pro Meter, A/m
- In Form der Leistungsflussdichte, Maßeinheit: Watt pro Quadratmeter, W/m<sup>2</sup>

### Ausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Mit zunehmender Entfernung von einer Sendeeinrichtung verringern sich die Feldstärken recht schnell. Im freien Raum sinkt die Leistungsflussdichte mit dem Quadrat der Entfernung, was bedeutet, dass sie sich bei doppeltem Abstand auf ein Viertel verringert. Weil viele Antennen bauartbedingt mit bestimmten Vorzugsrichtungen abstrahlen, kann die Intensität an verschiedenen Orten im Umfeld eines Senders trotz identischer Abstände zur Quelle sehr unterschiedlich sein. Allein vom Abstand zum Sender kann daher in der Regel nicht auf die Feldstärken an einem bestimmten Ort geschlossen werden. Hochfrequente elektro-

# Stromversorgung

Wellenlänge	m	100,0E+6	6,0E+6	5,0E+6	1,0E+6	15.000	100.000	2000	1000	300	10	1	0,3	0,1	0,01	0,001	
Frequenz	Hz	0	3	50	60	300	20,0E+3	30,0E+3	150,0E+3	300,0E+3	1,0E+6	30,0E+6	300,0E+6	1,0E+9	3,0E+9	30,0E+9	300,0E+9
		ELF		SLF	ULF	VLF		LW	MW	KW	UKW		GSM	WLAN	SAT	Radar	
		Sonar	Stromnetz	Audiobereich				Radio und TV Bereich				Mikrowellenbereich					
		Niederfrequenz						Hochfrequenz									

**Tabelle: Frequenzbänder und Wellenlängen**

magnetische Felder können zudem von Objekten, die sich in der Ausbreitungsrichtung befinden, reflektiert oder absorbiert werden. Welcher Mechanismus überwiegt, hängt unter anderem von den Materialeigenschaften des jeweiligen Objekts ab. Daher unterscheidet sich die Ausbreitung hochfrequenter Felder in der realen Umwelt oft deutlich von dem oben angegebenen einfachen Fall, der Ausbreitung im freien Raum. [1]

## Wirkung auf den Menschen

Lebewesen, also auch der Mensch, enthalten viele elektrisch geladene Teilchen und polare Moleküle. Polare Moleküle, wie etwa das Wassermolekül, sind zwar als Ganzes elektrisch neutral, tragen aber an einem Ende eine negative und am anderen Ende eine positive Teillaadung. Elektrische und magnetische Felder üben auf elektrisch geladene oder polare Teilchen eine Kraft aus, sodass diese sich bewegen. In einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld bewegen sich die Teilchen im Takt der Frequenz sehr schnell. Dabei reiben sie aneinander und es entsteht Wärme. Wenn

die Felder sehr stark sind, können sich aufgrund der Kraftwirkung auch ganze Zellen bewegen. Sie richten sich im Feld aus oder wandern. Solche nicht-thermischen Wirkungen können durch Felder von Funkanwendungen aber nicht ausgelöst werden, da ihre Feldstärke dafür nicht ausreicht.

Maßgebend für die biologische Wirkung von hochfrequenten Feldern ist die vom Körper aufgenommene, „absorbierte“ Energie. Basisgröße hierfür ist die Spezifische Absorptionsrate (SAR, Maßeinheit: Watt pro Kilogramm - W/kg). Sie gibt die Leistung (Energie pro Zeit) an, welche pro Kilogramm Gewebe absorbiert wird. Wird der Körper nur örtlich begrenzt erwärmt, so kann das Blut die zusätzliche Wärme in der Regel abführen. Wird der ganze Körper erwärmt, so wird die Haut stärker durchblutet und die Wärme wird durch Verdunstung an der Hautoberfläche abgegeben (Schwitzen). Mit Auswirkungen auf die Gesundheit ist dann zu rechnen, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden und die Wärmeregulierung des Körpers gestört ist. [1]

## Wirkung auf elektronische Geräte

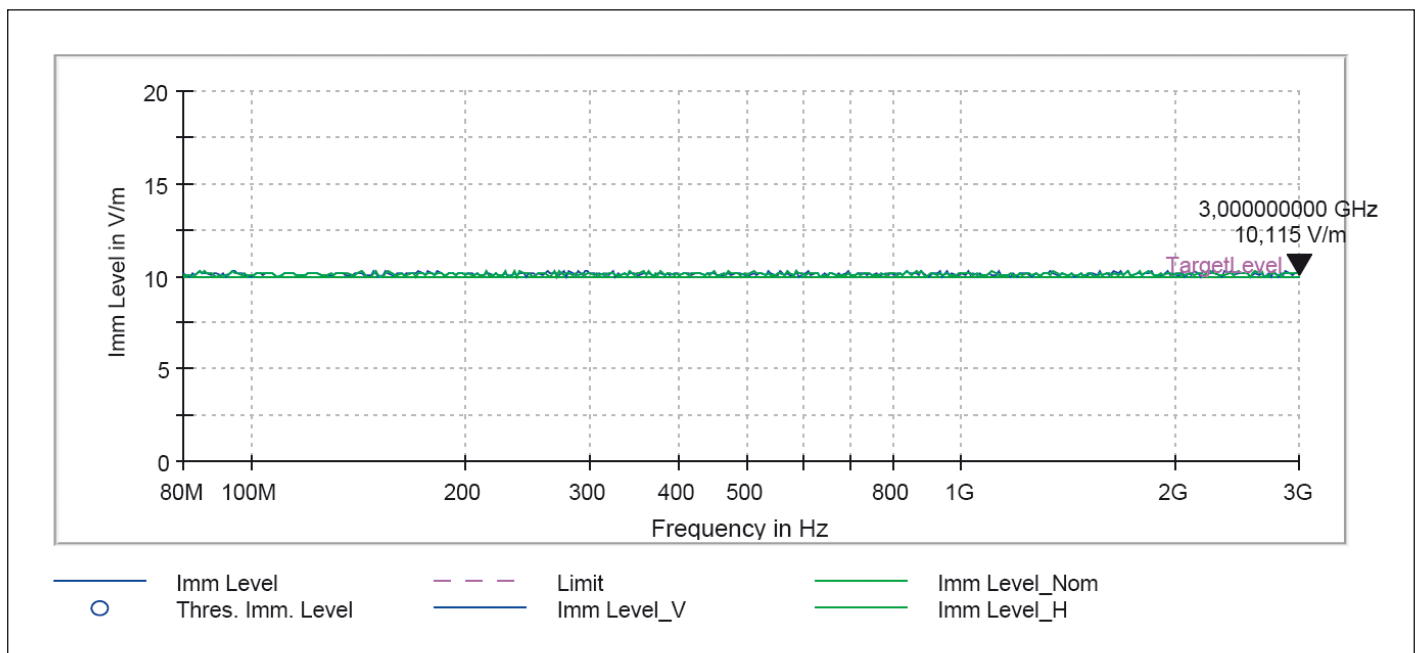
Nicht nur Lebewesen, sondern auch die meisten elektronischen Geräte lassen sich durch elektromagnetische Felder beeinflussen. Die Felder werden häufig durch in der Nähe befindliche, tragbare Geräte wie Mobiltelefone und Laptops oder durch stationäre Rundfunk- und Fernsehsender sowie Funkanlagen und verschiedene industrielle Quellen erzeugt. Die Leiterbahnen und Drähte der anderen Geräte wirken als Antennen und koppeln elektromagnetische Energie ein. Je nach Feldstärke und Schaltung kann diese Energie die Leistungsmerkmale eines Gerätes negativ verändern oder einzelne Bauteile gar direkt zerstören. Bei Netzteilen kann dies beispielsweise zu einem Einbruch der Ausgangsspannung führen.

## IEC 61000-4-3: Störfestigkeit von elektronischen Geräten und die Testanforderungen

Die Störfestigkeit gegen elektromagnetische Felder wird bei Geräten gemäß der Norm IEC61000-

4-3 getestet. Hierbei wird mit Hilfe einer Antenne ein Störpegel mit speziellen Feldstärken ausgesendet und ein homogenes Feld um das zu prüfende Gerät erzeugt. Das zu prüfende Gerät wird auf der zuvor kalibrierten Fläche positioniert und die geforderte Störgröße, meist ein amplitudenmoduliertes Signal wird schrittweise unter Beachtung einer Verweilzeit erhöht und die Reaktion des Gerätes beobachtet. Um die Homogenitätsbedingungen des Prüfraums zu erfüllen, ist es notwendig, den Test in einer sogenannten „Vollabsorberhalle“ durchzuführen.

Typische Prüfschärfegrade werden in der Norm IEC 61000-4-3 angegeben oder sind in einer besonderen Produktnorm spezifisch festgelegt. Viele Produktnormen, wie etwa die EN 55024 für IT-Geräte oder die EN 55014-2 für elektronische Haushaltsgeräte, gehen vom Prüfschärfegrad 2 mit 3 V/m aus. Die Medizinernorm IEC 60601-1-2 fordert für medizinische Geräte in häuslicher Umgebung, genauso wie die Norm IEC 61000-6-4 für Geräte in Industrieller Umgebung, den erheb-



**Diagramm: Prüfpegel über Frequenz [3]**

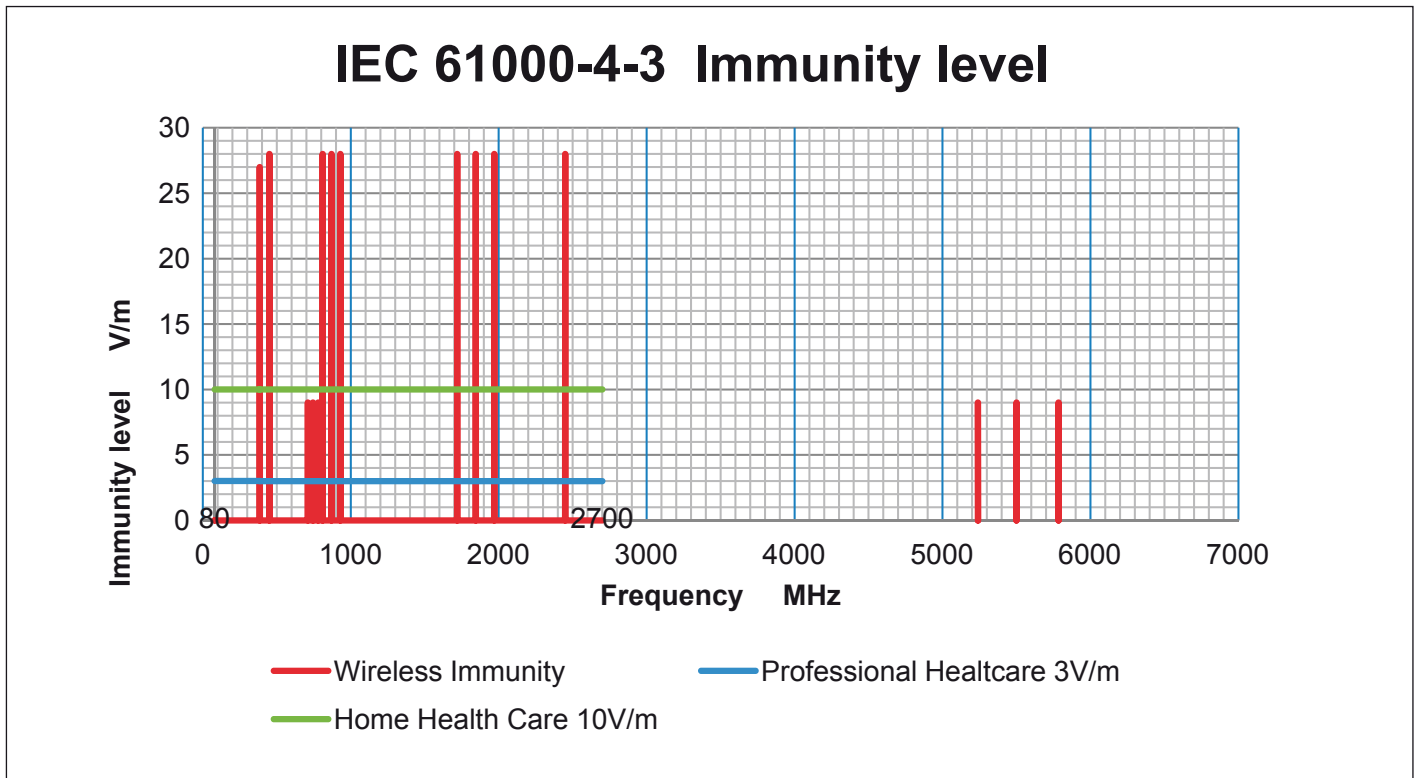


Diagramm: Prüfpegel IEC60601-1-2

lich strengeren Prüfschärfegrad 3 mit 10 V/m.

Neben dem Prüfschärfegrad ist auch der Frequenzbereich, in welchem das Gerät getestet wird, von hoher Bedeutung. Bei den meisten Produktnormen wird durchgehend von 80 MHz bis 1 GHz getestet. Jedoch gibt es einige Produktnormen, die wegen der hohen Sendeleistung von Mobilfunkgeräten und der im Haushalt eingesetzten WLAN-Technik einen durchgängigen Testbereich von 80 MHz bis 2,7 GHz oder sogar bis 3 GHz fordern.

Darüber hinaus gibt es auch Tests für abgestrahlte Hochfrequenz in speziellen Frequenzbändern mit erheblich höheren Feldstärken (bis zu 28 V/m) und einer anderen Modulationsart. Ein Beispiel findet sich in der Medizingerätenorm IEC60601-1-2, welche Tests in Frequenzbän-

dern von 385 MHz bis 5,7 GHz vorschreibt. Hierdurch soll der Einfluss moderner Kommunikationsmittel auf das Gerät besser simuliert werden. [4]

### Maßnahmen zur Erhöhung der Störfestigkeit von elektronischen Geräten

Schaltungstechnisch gibt es unterschiedliche Ansätze, um Geräte gegenüber der Beeinflussung durch elektromagnetische Felder unempfindlicher zu gestalten. Der einfachste Ansatz ist die Abschirmung. Man verhindert durch Maßnahmen wie den Einsatz eines Metallgehäuses, dass elektromagnetische Energie in die Schaltung eingekoppelt wird. Bei dieser Methode dürfen auch Zu- und Ableitungen nicht vergessen werden, diese gilt es mit einem entsprechenden EingangsfILTER zu schützen.

Dem Layout einer Schaltung kommt eine zentrale Bedeutung zu. Das Layout sollte so aufgebaut sein, dass die Leiterbahnen in der Schaltung so kurz wie möglich sind. Hierdurch wird die Antennenwirkung der Leiterbahnen reduziert. Darüber hinaus sollte die Masseanbindung von Komponenten in einer Schaltung möglichst niederohmig und sternförmig sein. Häufig wird in der einschlägigen Literatur vor Masseschleifen gewarnt. Erfahrungen aus dem Hause FRIWO zeigen jedoch, dass bei einer Masseschleife, welche zu einer niederohmigeren Anbindung führt und um einen Teil der Schaltung liegt, auch eine starke abschirmende Wirkung zu verzeichnen ist und die Schleifen deshalb nicht generell schlecht sein müssen.

Versorgungseingänge von ICs (VCC) sollten stets mit einem kleinen SMD-Kondensator (z. B. 100 nF) sehr dicht am Pin versehen werden. Bei sehr sensiblen Eingängen ist es auch hilfreich, neben dem 100 nF noch einen kleineren 100 pF SMD-Kondensator zu platzieren. Die Kondensatoren bilden ein Tiefpassfilter und schützen die Schaltung so vor hohen Frequenzen. Zu beachten sind Regeleingänge wie bei sehr empfindlichen Operationsverstär-

kern. Es ist darauf zu achten, dass es durch die Position eines Filterkondensators nicht zu einer Mitkopplung kommt und das System dadurch instabil wird.

Insgesamt gibt es die verschiedensten Maßnahmen und Ansätze, die Störfestigkeit einer Schaltung zu verbessern. Da jede Schaltung anders ist und entsprechend unterschiedlich auf die eingesetzten Maßnahmen reagiert, kann das Entstören einer Schaltung mitunter sehr zeitaufwendig sein und erfordert hohes spezifisches Knowhow. Speziell bei hohen Feldstärken kann die Entstörung auch komplett neue Maßnahmen nötig machen.

### Quellen:

- [1] Bundesamt für Strahlenschutz
- [2] EN61000-4-3
- [3] Messbericht FRIWO Gerätebau GmbH
- [4] EN60601-1-2:2015

Prüfschärfegrad	Prüffeldstärke V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
X	besondere Festlegung

Tabelle: Prüfschärfegrad der IEC61000-4-3 [2]

Autor:  
 Dipl.-Ing.(FH) Stefan Suttorp,  
 Field Application Engineer  
 Medical  
 FRIWO Gerätebau GmbH  
 www.friwo.com