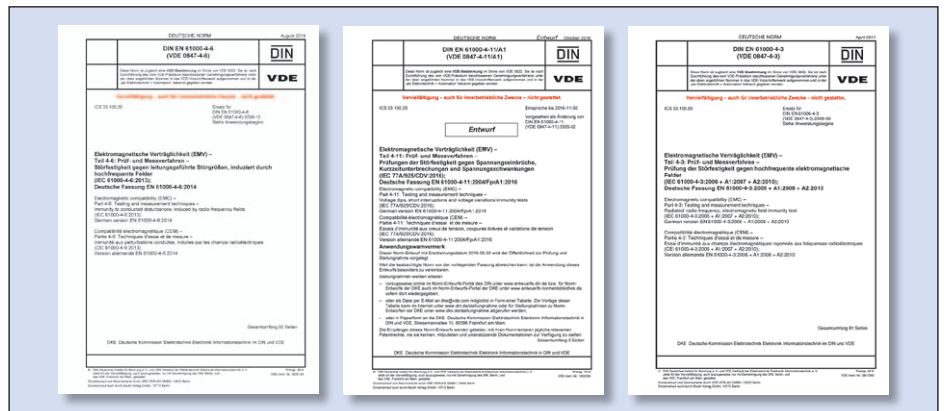


# EMV-Prüfungen auf Störimmunität

Eine gute elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) bedeutet neben geringen Störemissionen in erster Linie eine hohe Störfestigkeit. Unsere Beitrag verschafft diesbezüglich den Überblick und legt dabei den Schwerpunkt auf HF-technische Aspekte.



Die europaweit gültige Vorgabe für die EMV ist im Elektromagnetisches Verträglichkeitsgesetz (EMVG) definiert. Die Standards für die EMV gelten in Bezug auf die Emission als auch auf die Immunität, und zwar für den häuslichen sowie den kommerziellen Bereich. Stets ist auch zwischen geleiteten und gestrahlten Emissionen zu unterscheiden (s. Tabelle 1 und 2). Die existierenden und entworfenen Normen decken den Problembereich praktisch sehr gut ab.

## Geleitet: Electrostatic Discharge (ESD), Geräte

Eine ESD entsteht beim Potentialausgleich einer elektrostatisch geladenen Person oder eines elektrostatisch geladenen Körpers mit der (direkt oder indirekt geerdeten) Umgebung. Im ersten Fall beträgt die Anstiegs- bzw. Abfallszeit um die 350 ps, im zweiten (Furniture Discharge) etwa 5 bis 10 ns [1]. Die mögliche Spannung hängt vom Material und (indirekt proportional) von der relativen Luftfeuchte ab. Etwa bei synthetischem Material und 5% muss man mit etwa 15 kV rechnen, bei Wolle und 50% hingegen nur mit etwa 2 kV.

Hier ist die DIN EN 61000-4-2:2009-12 VDE 0847-4-2:2009-12 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-2: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität (IEC 61000-4-2:2008, deutsche Fassung EN 61000-4-2:2009) zuständig. Sie ist identisch mit der zweiten Ausgabe der Internationalen

Norm IEC 61000-4-2 (Ausgabe 2008) und trifft neben den Prüfschärfegraden (Prüfpegeln) Festlegungen zur Prüfeinrichtung, zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Bewertung der Prüfergebnisse sowie zum Prüfbericht.

Neu sind u.a. Festlegungen und Informationen zur Kalibrierung des Prüfsystems sowie zur Messunsicherheit. Ziel ist hierbei, die Reproduzierbarkeit der Prüfung zu verbessern. Ferner wurden zu einer Reihe von in der Norm angegebenen Parametern die zugehörigen Grenzwerte ergänzt. Angaben zu konstruktiven Einzelheiten entfallen dagegen. Weiter wurden die Prüfschärfegrade (Prüfpegel) auf die Luftentladung eingeschränkt. Typische Testpegel sind bis 4 kV (Kontaktentladung) bzw. bis 8 kV (Luftentladung).

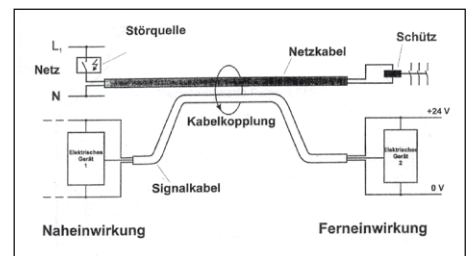
## Geleitet: Burst (AC/DC Power, Signalleitungen)

Diesbezüglich gilt die DIN EN 61000-4-4 VDE 0847-4-4:2013-04 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-4: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst (IEC 61000-4-4:2012, deutsche Fassung EN 61000-4-4:2012). Sie ist identisch mit der dritten Ausgabe der Internationalen Norm IEC 61000-4-4. Diese Norm gehört zu den EMV-Grundnormen, die üblicherweise in den EMV-Fach- und

Produktnormen, welche Störfestigkeitsanforderungen festlegen, zitiert werden. Hierin werden Festlegungen zur Prüfausrüstung (Prüfgenerator, Koppel-/Entkoppelnetzwerk, kapazitive Koppelzange) einschließlich der Kalibrierung, zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Ermittlung der Prüfergebnisse und zum Prüfbericht getroffen. Zusätzlich spezifiziert der Entwurf empfohlene Bereiche der Prüfschärfegrade (Prüfpegel).

Neu sind u.a. Festlegungen zur Validierung der Prüfeinrichtung und das Prinzipschaltbild des Burst-Generators sowie einige Spezifikationen für den Burst-Simulator sowie die Prüfbedingungen und -kriterien. Auch ein neuer Anhang mit Informationen zur Messunsicherheit wurde geschaffen.

Schnelle Transienten entstehen meist durch Schalthandlungen an induktiven Lasten. Es entsteht dann ein sogenanntes Impulspaket. Da die Energie relativ gering ist, kommt es häufig zu Beeinflussungen, jedoch selten zu Zerstörungen.



Burst, Beeinflussungsbeispiel nach [1]

## Geleitet: Surge (vor allem Stromversorgung)

Hier ist die DIN EN 61000-4-5 VDE 0847-4-5:2015-03 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (IEC 61000-4-5:2014, deutsche Fassung EN 61000-4-5:2014) zuständig. Diese Norm ist identisch mit der dritten Ausgabe der Internationalen Norm IEC

Emissionsform	Norm
Electrostatic Discharge (ESD), Geräte	DIN EN 61000-4-2
Burst (AC/DC Power, Signalleitungen)	DIN EN 61000-4-4
Surge (vor allem Stromversorgung)	DIN EN 61000-4-5
Induktion durch HF-Felder (AC/DC Power, Signalleitungen)	DIN EN 61000-4-6
Spannungsunterbrechungen, -einbrüche, -schwankungen	DIN EN 61000-4-11

Tabelle 1: Überblick über die Störfestigkeit, geleitet

Emissionsform	Norm
hochfrequente Felder (Geräte)	DIN EN 61000-4-3
Messung der Spannungsqualität	DIN EN 61000-4-30
breitbandige Störgrößen an AC-Netzanschlüssen	E DIN EN 61000-4-31
Geräte mit Netzstrom oberhalb 16 A	DIN EN 61000-4-34
Felder im Nahbereich	E DIN EN 61000-4-39
niederfrequente Magnetfelder (z.B. 50 Hz)	DIN EN 61000-4-8

**Tabelle 2: Überblick über die Störfestigkeit, gestrahlt**

61000-4-5 (Ausgabe 2014). Sie beschreibt die Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln, Geräten und Einrichtungen gegenüber Stoßwellen (Stoßspannungen und -ströme). Solche Phänomene können durch Schaltvorgänge in Hoch- und Niederspannungssystemen oder Blitzeinschläge auftreten und die Funktion von Betriebsmitteln, Geräten und Einrichtungen stören, aber auch interne Bauteile beschädigen.

Für den Zweck der Störfestigkeitsprüfung werden empfohlene Prüfschärfegrade (Prüfpegel), Festlegungen zur Prüfausrüstung (Prüfgenerator, Koppel-/ Entkoppelnetzwerke), zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Ermittlung der Prüfergebnisse und zum Prüfbericht getroffen. Die zugrundeliegenden Impulsdefinitionen sind der 1,2/50- $\mu$ s-Spannungsimpuls und der 8/20- $\mu$ s-Stromimpuls sowie speziell für Prüfungen an außerhalb von Gebäuden befindlichen Telekommunikationsanschlüssen der 1,2/50- $\mu$ s-Spannungs- und der 5/320- $\mu$ s-Stromimpuls. Festlegungen zu letzterem finden sich im neuen Anhang A, während Anhang B zur Auswahl des geeigneten Prüfgenerators und der Prüfschärfegrade (Prüfpegel) informiert. Anhang C betrifft verschiedene Aspekte der Prüfung. Die Prüfpegel beziehen sich auf unterschiedliche Umgebungs- und Installationsbedingungen. Bei Netzanschluss sind 0,5 bis 2 kV typisch.

Weitere neue Anhänge informieren zu Maßnahmen für die Herstellung der Störfestigkeit von Geräten, die zum Anschluss an Niederspannungsnetze vorgesehen sind (Anhang D), zur mathematischen Modellierung der in dieser Norm betrachteten Impulsformen (Anhang E), zur Messunsicherheit im Rahmen der Einstellung des Prüfstörpegels (Anhang F), zur Kalibrierung von Impuls-Messsystemen (Anhang G) und zur Behandlung von Leitungen, die für Bemessungsströme oberhalb 200 A ausgelegt sind (Anhang H). Ferner erfolgten mehrere Ergänzungen im Festlegungsteil der Norm.

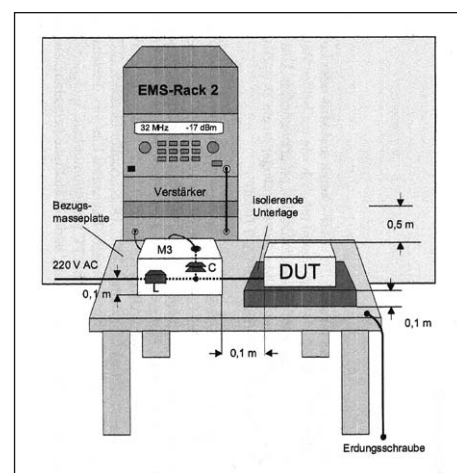
### Geleitet: Induktion durch HF-Felder (AC/DC Power, Signalleitungen)

Es gilt hier die DIN EN 61000-4-6 VDE 0847-4-6:2014-08 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-6: Prüf- und Messverfahren – Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder (IEC 61000-4-6:2013, deutsche Fassung EN 61000-4-6:2014); sie ist identisch mit der vierten Ausgabe der Internationalen Norm IEC 61000-4-6 (Ausgabe 2013-10).

Die DIN EN 61000-4-6 dient der Beschreibung des Verfahrens zur Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Geräten (Einrichtungen) gegenüber leitungsgeführten Störgrößen im Frequenzbereich 9 kHz bis 80 MHz, die durch Felder induziert werden. Empfohlene Prüfschärfegrade (Prüfpegel) werden nur ab 150 kHz gegeben, daneben Festlegungen zur Prüfeinrichtung, zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Bewertung der Prüfergebnisse sowie zum Prüfbericht. Neu ist eine Reihe von Einzeländerungen, etwa mehr Bilder und Zwischenüberschriften; auch erfolgten Änderungen bei den Festlegungen zur Verwendung des Koppel-/Entkoppelnetzwerks. Schließlich informieren neue Anhänge zu:

- Messung der Impedanz der Zusatz-/Hilfseinrichtung
- Anschluss-zu-Anschluss-Einkopplung
- Kompression und Nichtlinearität des Verstärkers

Ein Prüfaufbau besteht aus Generator und Leistungsverstärker, Kopplung-/Entkopplungseinrichtung, Abschluss- und Anpassgliedern sowie Messgeräten. Typische Testpegel sind 1, 3 und 10 V.



**Prüfaufbau nach DIN EN 61000-4-6 (Quelle: [1])**

### Geleitet: Spannungsunterbrechungen, -einbrüche, -schwankungen

Die seit 2004 gültige Norm wird erneuert. Dazu gibt es den gültigen Entwurf E EN 61000-4-11/A1 VDE 0847-4-11/A1:2016-10 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-11: Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen (IEC 77A/925/CDV:2016), deutsche Fassung EN 61000-4-11:2004/FprA1:2016.

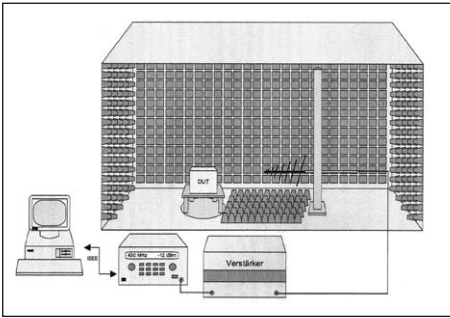
In einem wichtigen Anhang wird erläutert, dass in der Praxis Abfallzeiten von 1 bis 5  $\mu$ s bei Spannungseinbrüchen, die durch Kurzschlüsse in der Nähe des Betriebsmittels (Geräts, der Einrichtung) verursacht werden, möglich sind. Die Anstiegszeiten hängen von mehreren Faktoren ab einschließlich der Impedanz des Netzes, der Verkabelung und den parallel angeschlossenen Betriebsmitteln (Geräten, Einrichtungen). Es gibt Festlegungen für den Entwurf und die Kalibrierung von Generatoren. Auch wird begründet, warum der Prüfgenerator den Einschaltstrom nicht begrenzen sollte, um den Prüfling optimal testen zu können.

### Gestrahlt: Hochfrequente Felder (Gerät)

Zuständig ist allgemein die DIN EN 61000-4-3 VDE 0847-4-3:2011-04 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-3: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder (IEC 61000-4-3:2006 + A1:2007 + A2:2010, deutsche Fassung EN 61000-4-3:2006 + A1:2008 + A2:2010).

Diese Norm trifft Festlegungen für den Frequenzbereich 80 MHz bis 6 GHz. Neben den Prüfschärfegraden (Prüfpegel) werden

Festlegungen zur Prüfeinrichtung, zur Kalibrierung des hochfrequenten elektromagnetischen Feldes (Verfahren mit konstanter Feldstärke und Verfahren mit konstanter Leistung), zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Bewertung der Prüfergebnisse sowie zum Prüfbericht gegeben. Neu ist ein Anhang zur Messunsicherheit bei der Einstellung der Prüffeldstärke, die durch die Prüfeinrichtung verursacht wird.



Skizze eines Prüfaufbaus für gestrahlte HF-Felder nach [1]

Ein Prüfaufbau besteht aus Generator und Leistungsverstärker, Antenne sowie Messgeräten nebst Kalibriersonden. Typische Testpegel sind 1, 3 und 10 V/m. Die Prüfung erfolgt ausschließlich in einem geschirmten Raum.

### Gestrahlt: Messung der Spannungsqualität

Hier gilt die DIN EN 61000-4-30 VDE 0847-4-30:2016-01 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-30: Prüf- und Messverfahren – Verfahren zur Messung der Spannungsqualität (IEC 61000-4-30:2015), deutsche Fassung EN 61000-4-30:2015. Diese Norm ist identisch mit der dritten Ausgabe der Internationalen Norm IEC 61000-4-30. Sie legt Verfahren für die Messung von anderswo festgelegten Merkmalen (Parametern) der Spannungsqualität in 50/60-Hz-Stromversorgungsnetzen und die Interpretation der Messergebnisse fest. Es werden Vor-Ort-Messungen unabhängig vom verwendeten konformen Messgerät und den Umgebungsbedingungen für jedes relevante Merkmal beschrieben. Die betrachteten Merkmale der Versorgungsspannung sind neben Frequenz und Spannung:

- Flicker
- Spannungseinbrüche, -überhöhungen und -unterbrechungen
- schnelle Spannungsänderungen
- transiente Spannungen
- Unsymmetrie
- Oberschwingungen und Zwischenharmonische

Diese Effekte entstehen oft durch Fremdeinstrahlungen. Man beschränkt sich auf solche Phänomene, die in einem Stromversorgungsnetz auf Leitungen übertragen werden können. Für die adressierten Merkmale werden Messverfahren angegeben, wobei die Messgröße entweder direkt zugänglich sein kann oder über einen Messwandler zugeführt werden muss. Hierbei unterscheidet die neueste Ausgabe zwischen zwei Anforderungsklassen für Spannungsqualitäts-Messgeräte (A und S). Neue Anhänge geben Informationen zur Messung von leitungsgeführten Aussendungen im Frequenzbereich 2...150 kHz sowie zur Messung von Unter- und Überabweichungen.

Merkmale der Spannung in europäischen öffentlichen Energieversorgungsnetzen sind in der EN 50160 beschrieben, deren Deutsche Fassung als DIN EN 50160 veröffentlicht wurde.

### Gestrahlt: Breitbandige Störgrößen an AC-Netzanschlüssen

Der gültige Normentwurf E DIN EN 61000-4-31 VDE 0847-4-31:2015-12 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-31: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte breitbandige Störgrößen an Wechselstrom-Netzanschlüssen (IEC 77B/726/CDV:2015, deutsche Fassung FprEN 61000-4-31:2015) ist identisch mit dem Entwurf der ersten Ausgabe der Internationalen Norm IEC 61000-4-31. Er enthält Anforderungen und Prüfverfahren für die Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln (Geräten, Einrichtungen) gegen symmetrische, breitbandige leitungsgeführte Störgrößen, die von Quellen von beabsichtigten und/oder unbeabsichtigten Breitbandsignalen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 80 MHz herrühren. Solche Störgrößen können u.a. von modernen Kommunikationssystemen verursacht werden.

Dieser Entwurf ist nur auf einphasige Betriebsmittel, Geräte und Einrichtungen anwendbar, deren Bemessungs-Eingangstrom >16 A ist und die mindestens einen Wechselstrom-Netzanschluss besitzen.

Zum Zweck der Störfestigkeitsprüfung werden empfohlene Prüfpegel als Werte der spektralen Leistungsdichte spezifiziert, zur Erleichterung der Anwendung auch als äquivalentes Spannungsspektrum und als gesamte Vorwärtsleistung angegeben. Die Werte wurden für ein 50-Ohm-System abgeleitet. Der Entwurf legt ferner die Prüfeinrichtung, den Prüfaufbau, das Prüfverfahren, die Ermittlung der Prüfergebnisse und die im Prüfbericht notwendigen Angaben

fest. Die Einkopplung der symmetrischen breitbandigen Prüfstörgröße erfolgt über ein Koppel-/Entkoppelnetzwerk für symmetrische Einkopplung, das beschrieben wird. Breitbandsignale können auf verschiedene Weise erzeugt werden: Breitbandsignalgenerator, Impulsgenerator oder Erzeugung eines OFDM-Signals. Verfahren zum Nachweis der Eigenschaften des Prüfsystems, um die notwendige Flachheit des Prüfsignals und eine ausreichende Einfügedämpfung sicherzustellen, werden ebenfalls beschrieben.

Anhänge halten Informationen zur Messunsicherheit bei der Messung der als Prüfstörgröße verwendeten spektralen Leistungsdichte und zur Auswahl der geeigneten Quelle von breitbandigen Störgrößen bereit. Die berechnete Messunsicherheit lässt sich für verschiedene Zwecke verwenden. Auch wird eine Anleitung für die Realisierung von bandbegrenzten Breitbandsignalen gegeben und erläutert, weshalb ein zufälliges Rauschsignal als bevorzugtes Prüfsignal ausgewählt wurde.

### Gestrahlt: Geräte mit Netzstrom oberhalb 16 A

Unter die Norm DIN EN 61000-4-34 VDE 0847-4-34:2010-04 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-34: Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit von Geräten und Einrichtungen mit einem Netzstrom >16 A je Leiter gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen (IEC 61000-4-34:2005 + A1:2009 + Cor.:2009, deutsche Fassung EN 61000-4-34:2007 + A1:2009) fallen sowohl Geräte und Einrichtungen, die Strom aus dem Netz entnehmen, als auch Geräte und Einrichtungen, die Strom in das Netz einspeisen.

Neben den erforderlichen Definitionen werden die empfohlenen Prüfpegel, die Prüfeinrichtung, der Prüfaufbau und das Prüfverfahren spezifiziert sowie Festlegungen zum Prüfbericht und zur Bewertung der Prüfergebnisse gegeben. Kein Thema mehr ist die Prüfung mit Halbschwingungen der Spannung.

In den Anhängen werden, neben Einzelheiten der Prüfschaltung, auch Beispiele für Prüfgeneratoren gegeben. Ferner werden die bei Dreiphasenprüfungen anzuwendenden Vektoren dargestellt.

### Gestrahlte Felder im Nahbereich

Der gültige Normentwurf E DIN EN 61000-4-39 VDE 0847-4-39:2016-09 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-39:

Prüf- und Messverfahren – Gestrahlte Felder im Nahbereich – Prüfung der Störfestigkeit (IEC 77B/751/CDV:2016, deutsche Fassung FprEN 61000-4-39:2016) ist identisch mit dem Entwurf der ersten Ausgabe der Internationalen Norm IEC 61000-4-39. Er beschreibt die Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln, Geräten und Einrichtungen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Nahbereich mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 6 GHz. Nahbereich meint hier, dass sich die Feldquelle in einem Abstand befindet, der für Frequenzen unter 26 MHz kleiner als 500 mm und für Frequenzen über 26 MHz kleiner als 200 mm ist.

Neben den notwendigen Definitionen werden empfohlene Prüfschärfegrade (Prüfpegel) für die Prüfung mit inhomogenen Magnetfeldern im Frequenzbereich von 9 kHz bis 26 MHz und für die Prüfung mit elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 385 MHz bis 6 GHz festgelegt, während Festlegungen für den Bereich von 26 MHz bis 385 MHz gegenwärtig noch in Beratung sind. Ferner gibt es Festlegungen zur Prüfeinrichtung, zur Einstellung des für die Prüfung verwendeten Feldes (Verfahren mit konstanter Feldstärke und Verfahren mit

konstanter Leistung), zum Prüfaufbau, zum Prüfverfahren, zur Bewertung der Prüfergebnisse sowie zum Prüfbericht. Eine Rahmenantenne dient der Erzeugung der inhomogenen Magnetfelder und eine TEM-Hornantenne der Erzeugung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder.

Die geplante Norm bezweckt, Festlegungen zur Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln, Geräten und Einrichtungen zur Verfügung zu stellen, um diese erforderlichenfalls so herzurichten, dass sie gegen Felder im Nahbereich immun sind. Hierbei wird reflektiert, dass die zunehmende Nutzung von Geräten mit drahtloser Kommunikationstechnologie vermehrt zu solchen Nahfeldsituationen führt. Beispiele sind der Betrieb oder die Ablage eines Mobiltelefons in der Nähe eines Geräts sowie die Artikelüberwachung mit RFID-Systemen. Daher ist auch eine Anleitung für die Berechnung von Feldstärken in Abhängigkeit von verschiedenen felderzeugenden Quellen (schnurlosen Diensten) und dem Berechnungsabstand enthalten.

Ein informativer Anhang zur Messunsicherheit bei der Einstellung der Prüffeldstärke kam neu hinzu. Zuständig ist das DKE/UK 767.3 Hochfrequente Störgrößen der DKE

Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE.

## Gestrahlt: Niederfrequente Magnetfelder

In der DIN EN 61000-4-8 VDE 0847-4-8:2010-11 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-8: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen (IEC 61000-4-8:2009, deutsche Fassung EN 61000-4-8:2010) werden neben erforderlichen Definitionen die empfohlenen Prüfpegel, die Prüfeinrichtung, der Prüfaufbau und das Prüfverfahren spezifiziert sowie Festlegungen zum Prüfbericht und zur Bewertung der Prüfergebnisse gegeben. Neu sind die Definition des Stromverzerrungsfaktors, Klarstellungen zur Verwendung der Masseplatte nur bei der Prüfung von Tischgeräten, Festlegungen zur Kalibrierung der verwendeten Induktionsspulen sowie ein Hinweis zur Sicherheit von Personen.

Hauptsächlich sind Medizingeräte die Prüfobjekte, allgemein Geräte mit gegen Magnetfelder empfindlichen Teilen. Typisch ist ein Prüffeld mit 100 A/m.

**FS**