

# Validierung von EMV-Emissionsmessplätzen im Frequenzbereich 1 GHz bis 18 GHz nach dem Site VSWR-Verfahren

A. KRIZ, W. MÜLLNER OVE

Die Messung von gestrahlten Emissionen ist ein integraler Bestandteil jedes EMV-Tests. Seit Inkrafttreten der EMV-Richtlinie vor zehn Jahren erhöhten sich die Taktraten von Computersystemen dramatisch, wodurch jetzt Messungen im Frequenzbereich über 1 GHz immer wichtiger werden. In naher Zukunft treten internationale Standards in Kraft, die diesen Bereich abdecken werden. Um Störfeldstärkemessungen durchführen zu können, werden zwei Techniken benötigt: Erstens das Messverfahren selbst und zweitens ein Verfahren, das die Eignung des Messplatzes verifiziert. Solch ein Validierungsverfahren („Site VSWR“-Verfahren, das gerade von CISPR genormt wird) und erste Messergebnisse der Absorberhalle des EMV-Prüfzentrums Seibersdorf werden in diesem Artikel beschrieben. Es konnte die Normkonformität dieser Vollabsorberkabine bestätigt werden.

**Schlüsselwörter:** Absorberkammer; Hallenvalidierung; VSWR-Technik; EMC über 1 GHz; Site VSWR

**Validation of a EMC radiated emission test site in the frequency range 1 GHz to 18 GHz using the Site VSWR technique.**

*The measurement of radiated emissions (RE) is an integral part of each EMC measurement. Since commencement of the EMC directive ten years ago the clock frequency of computer systems increased dramatically. Measurements in the frequency range above 1 GHz become more and more important. In near future an international standard will be published to close this gap. To implement an RE measurement procedure two techniques are required: The measurement technique itself and a validation technique for the test site. The working group of the standardization organization CISPR is focused on a validation technique called Site VSWR. In this article first measurement results of the anechoic chamber at Seibersdorf research are presented. The compliance of this anechoic chamber had been approved.*

**Keywords:** anechoic chamber; chamber validation; VSWR technique; EMC above 1 GHz; Site VSWR

## 1. Einleitung

Die Störfeldstärke eines Prüflings zu messen, ist ein integraler Bestandteil jedes EMV-Tests seit Inkrafttreten der EMV Richtlinie. Die dabei vorgeschriebenen Frequenzgrenzen waren leicht nachzuvollziehen. Unterhalb von 30 MHz sind die Emissionen vernachlässigbar, da der Prüfling samt Verkabelung klein gegenüber der Wellenlänge ist, wodurch die Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen ineffizient ist. Messungen oberhalb von 1 GHz waren nicht erforderlich, da es damals keine Emissionen in diesem Frequenzbereich gab. Die Taktraten typischer Mikrocomputer lagen unter 100 MHz – die zehnte Oberwelle konnte auf jeden Fall erfasst werden.

Heutzutage ist das anders: Moderne PC-Systeme laufen mit Prozessorgeschwindigkeiten bis zu 4 GHz. Die Einführung einer genormten Störfeldstärkemessung für den Frequenzbereich 1 bis 18 GHz ist zwingend erforderlich. Die Veröffentlichung der neuen CISPR 16-2-3 (IEC, 2005), die dieser Entwicklung Rechnung trägt, steht unmittelbar bevor. Untrennbar verbunden mit der neuen Emissionsmesstechnik ist auch das Verfahren zur Bestimmung des Einflusses der Messumgebung. Wie auch

unterhalb von 1 GHz stellt die neue CISPR 16-1-4 (IEC, 2004) ein Verfahren zur Verfügung, das zur Bewertung der Eigenschaften von echoarmen Räumen dient. Ebenso wird ein Grenzwert spezifiziert, der zwischen geeigneten und ungeeigneten Absorberhallen unterscheidet.

Das Verfahren zur Messung der normierten Felddämpfung (NSA) im Frequenzbereich 30 MHz bis 1 GHz ist jedem Betreiber einer EMV-Messeinrichtung ein Begriff. Die Motivation hinter der NSA ist leicht erklärt: Es wird versucht, einen rundstrahlenden Prüfling durch eine Messantennen-Signalgeneratorkombination zu simulieren. Die Messantenne wird an verschiedenen Stellen und Polarisationssebenen im Prüfvolumen positioniert und die Emission durch die Empfangsantenne gemessen. Mithilfe von Kalibrierdaten bestimmt man

---

KRIZ, Alexander, Dipl.-Ing., MÜLLNER, Wolfgang, Dipl.-Ing., ARC Austrian Research Centers GmbH, Tech Gate Vienna – Ebene 08, Donau-City-Straße 1, 1220 Wien, Österreich (E-Mail: alexander.kriz@arcs.ac.at)

die Abweichung zum Sollwert, die  $\pm 4$  dB nicht überschreiten darf.

Dieses Konzept bei Frequenzen über 1 GHz beizubehalten wäre vorteilhaft, ist aber aufgrund einiger physikalischer Effekte nicht durchführbar.

## 2. Emissionsmessverfahren in CISPR 16-2-3

Das Messverfahren zur Bestimmung der Störfeldstärke im Frequenzbereich 1 GHz bis 18 GHz wird in der Norm CISPR 16-2-3 beschrieben. Diese Norm wurde am 27. Mai 2005 veröffentlicht und ist derzeit unter der Bezeichnung CISPR 16-2-3-am1 – Ed. 1.0 zu beziehen.

Im Gegensatz zur Emissionsmessung unterhalb von 1 GHz wird bei diesem Messverfahren eine andere Messumgebung verwendet. Hier benutzt man vollausgekleidete Absorberräume oder ein Freifeldmessgelände mit Absorberlayout auf der Groundplane – es werden somit Freiraumbedingungen simuliert. Das bringt den Vorteil, dass kein Höhenscan der Empfangsantenne zwischen 1 m und 4 m benötigt wird, da es keine Reflexion durch die Groundplane gibt. Ganz auf den Höhenscan zu verzichten ist allerdings nicht vorgesehen. Je nach Richtwirkung der Antenne – bzw. ihrer Leistungshalbwertsbreite – wird ein unterschiedlich großer Teil des Prüflings abgetastet, siehe Abb. 1. Wird ein Prüfling vermessen, der höher als die Länge  $w$  ist, muss man die Empfangsantenne in der Höhe verstellen, um die Prüflingshöhe abzudecken.

Der Messabstand wurde von 10 m auf 3 m reduziert, weil die Kopplung zwischen Prüfling und Empfangsantenne in diesem Frequenzbereich vernachlässigbar ist.

In der Norm wird eine Vormessung beschrieben: Der Prüfling wird in  $15^\circ$ -Schritten gedreht und mit dem Messempfänger in jeder Empfangshöhe gescannt. Der Empfänger wird mit dem Spitzenwertdetektor und im Max Hold-Modus betrieben.

Bei der „richtigen“ Messung muss so lange gedreht und die Empfangsantenne in der Höhe verfahren werden, bis das tatsächliche Emissionsmaximum gefunden wird. Der zu verwendende Detektor ist noch nicht spezifiziert. Diese Aufgabe liegt bei den Produktkomitees.

## 3. Geplante Anforderungen an den Messraum nach CISPR 16-1-4

Das Messverfahren zur Bestimmung der Störfeldstärke im Frequenzbereich 1 GHz bis 18 GHz wird in der künftigen Norm CISPR 16-1-4 beschrieben. Zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Artikels ist diese Norm gerade zur Abstimmung bei den Nationalen Komitees (Fristende: 16. Dezember 2005). Ab diesem Zeitpunkt braucht es zirka noch ein Jahr bis zur Veröffentlichung. Der Name des internen Dokuments der Arbeitsgruppen lautet CISPR/A/602CDV (IEC, 2005).

In diesem Frequenzbereich ist die Simulation des Prüflings mit einer Antenne und Vergleich der Empfangsfeldstärke nicht anwendbar. Aufgrund der kleinen Wellenlänge –  $\approx 16$  mm bei 18 GHz – ist die Positionierung der Messantennen sehr sensibel. Änderungen im mm-Bereich können Schwankungen der Empfangsfeldstärke im dB-Bereich bewirken. Ein Verfahren nach dem unter 1 GHz verwendeten Prinzip ist aufgrund der schlechten Wiederholbarkeit nicht geeignet.

Andere Hallencharakterisierungsverfahren im Mikrowellenbereich wurden schon vor Jahrzehnten entwickelt, da sie für die Vermessung von Radarantennen benötigt wurden. Im Gegensatz zur NSA-Methode, bei der auf eine absolute Kalibrierung referenziert wird, verwendet man hierbei Relativmessungen. Ausführliche Literatur zu diesen Techniken ist unter den Stichwörtern Free Space VSWR-Verfahren (Hollis, Lyon, Clayton, 1970) bzw. Field Probe-Test (IEEE, 1979) verfügbar.

Diese Verfahren basieren auf dem Überlagerungsprinzip zwischen direkten und reflektierten Wellen, siehe Abb. 2. Durch die Überlagerung dieser beiden Signale schwankt das Signal am Ort der Empfangsantenne sinusförmig, wenn durch Änderung der Position der Sendeantenne (Sendestrecke) sich die Phase zwischen erwünschten und unerwünschten Signalen verändert. Aus der mittleren Funkfelddämpfung und der Amplitude der Sinuswelle kann man die Größe des reflektierten Signals bestimmen.

Im dargestellten Modell werden reflektierte Wellen durch Anomalien erzeugt. Unter Anomalie versteht man Objekte, die elektromagnetische Wellen reflektieren, wie z. B. Lampen oder Kameras sowie die niemals perfekten Absorberwände selbst.

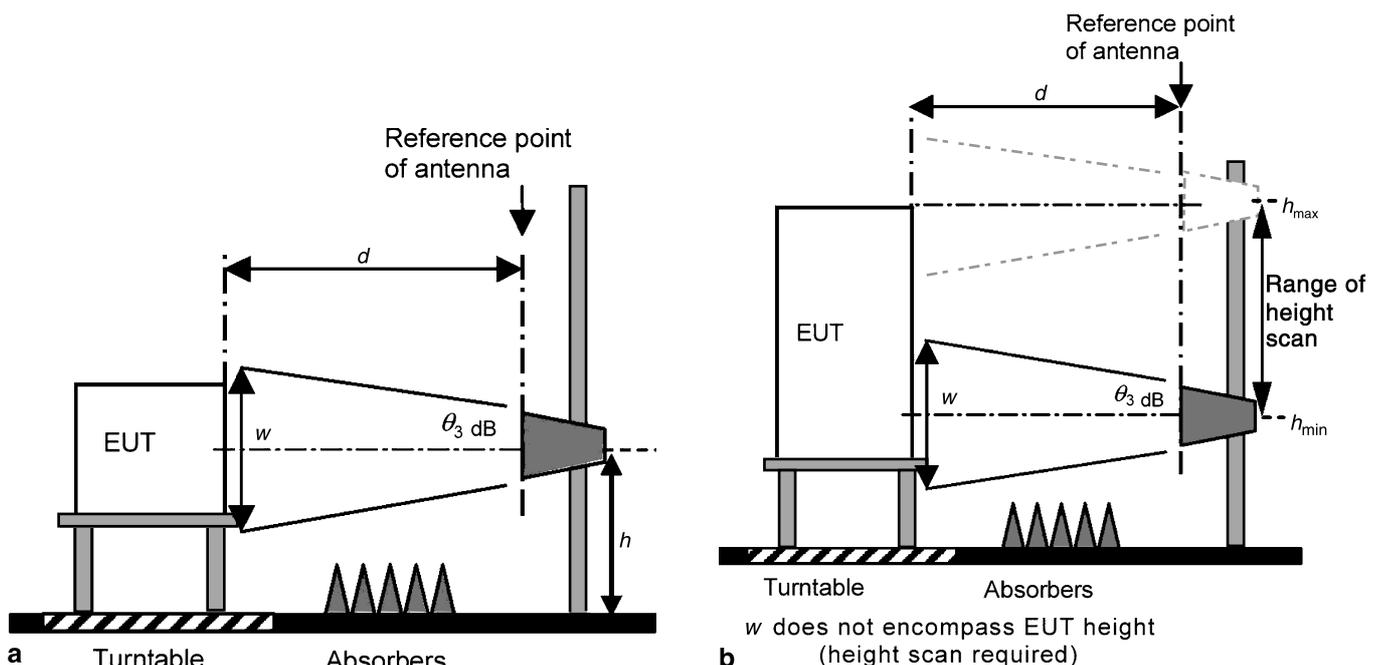


Abb. 1. Prüfaufbau des Emissionstest a) kein Höhenscan erforderlich b) Höhenscan erforderlich

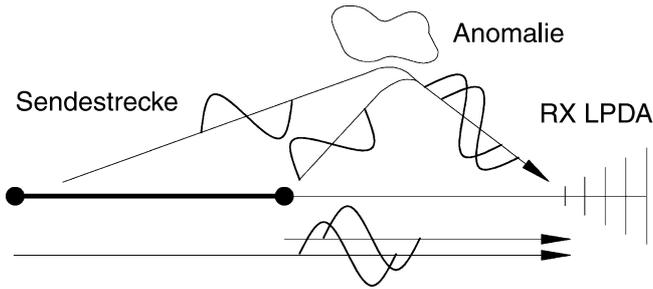


Abb. 2. Prinzipskizze des relativen Messverfahrens zur Hallenvalidierung

Diese Verfahren sind nur für schmalbandige Signale geeignet. Möchte man die Absorberkammer in einem größeren Frequenzbereich charakterisieren, muss die Überprüfung bei vielen Einzelfrequenzen durchgeführt werden. Somit ist das Verfahren für die EMV-Technik aufgrund der langen Messzeit ungeeignet.

Aus diesem Grund entwickelte das Normungsgremium ein neues Validierungsverfahren mit dem Namen „Site VSWR“. Man könnte diese Technik auch als Breitbandversion der klassischen Verfahren bezeichnen. Anstelle des kontinuierlichen Abfahrens der Sendestrecke wird an sechs diskreten Punkten gemessen. Im Gegenzug dazu misst der Netzwerkanalysator bzw. Signalgenerator und Spektrumanalysator in einem sehr feinen Frequenzraster von nur 50 MHz. Dadurch gelingt es, die räumliche Unterabtastung durch eine Überabtastung im Frequenzbereich zu kompensieren. Das ist der wichtigste Punkt, den man bei der Interpretation von Site VSWR-Resultaten berücksichtigen muss. Nicht an allen der 341 Frequenzpunkte werden die Maxima und Minima der Stehwelle gefunden. Aus diesem Grund sollten Ergebnisse nur oktavenweise und nicht frequenzpunktweise analysiert werden.

In Abb. 3 ist der normgerechte Testaufbau dargestellt. Der Messabstand  $d$  wird zwischen Volumen-Vorderkante und Referenzpunkt der Antenne gemessen. Im Prüfvolumen werden fünf Testpositionen definiert: Position Front (F), Center (C), Right (R) und Left (L) in der Höhe  $h_1$  und ein weiterer Front-Punkt (H) in der Höhe  $h_2$ . Die Höhe  $h_1$  liegt in der Mitte des Prüfvolumens, jedoch höchstens auf 1 m. Die zweite Höhe,  $h_2$ , ist gleich der Höhe des Volumens. Die Empfangsantenne wird stets in derselben Höhe der Sendeantenne

montiert und ist immer auf den Mittelpunkt des Prüfvolumens gerichtet.

Jede der Testpositionen besteht aus sechs Testpunkten, die ungleichmäßig auf einer Länge von 40 cm verteilt sind. Der erste Punkt ist jener, der der Empfangsantenne am nächsten liegt. Von diesem Punkt aus gemessen liegen die anderen Punkte in Entfernungen von 2 cm, 10 cm, 18 cm, 30 cm und 40 cm auf einer Linie. Man bestimmt die empfangene HF-Spannung bzw. HF-Leistung für jeden dieser Punkte. Mittels

$$S_{VSWR_{dB}} = 20 \log \left( \frac{V_{max}}{V_{min}} \right) = V_{max_{dB}} - V_{min_{dB}} \quad (1)$$

wird aus den sechs Punkten das Ergebnis für die jeweilige Testposition bestimmt. Dabei ist es zulässig, die unterschiedlichen Pegel aufgrund der verschiedenen Distanzen zur Empfangsantenne zu korrigieren. Der maximal zulässige Site VSWR-Wert liegt bei +5 dB.

Je nach Größe des Prüfvolumens ist es zulässig, einige der Punkte wegzulassen. Der dazu nötige Entscheidungsbaum ist in Abb. 4 dargestellt. Bei kleinen Prüfvolumen unter 1,5 m Durchmesser kann der Center Punkt ausgelassen werden. Ist das Prüfvolumen kleiner als 1 m, kann die Messung in der zweiten Höhe entfallen.

Als Sendeantenne werden rundstrahlende Antennen verwendet, um die Absorberhalle gleichmäßig „ausleuchten“ zu können. Nur in diesem Fall ist es möglich, die Wirkung von Reflexionen auf das Messergebnis des Störfeldstärketests zu maximieren. Als Empfangsantenne soll eine Antenne gleichen Typs verwendet werden, welche auch beim Störfeldstärketest eingesetzt wird. Das dient dazu, die Reflexionen bei der Validierung und beim Störfeldstärketest identisch zu bewerten. Wird eine stark bündelnde Antenne verwendet, blendet man die Seitenwände größtenteils aus. Im Gegenzug muss die Schrittweite beim Höhengscan verringert werden, bzw. ein Höhengscan wird bei kleinen Prüflingen notwendig. Dadurch verlängert sich die Messzeit und mehr Kosten werden verursacht, die durch einen günstigeren Absorberraum kaum wettzumachen sind.

Die Eigenschaften der rundstrahlenden Sendeantenne sind ebenfalls definiert, siehe Abb. 5. Es werden Anforderungen an die E-Ebene und an die H-Ebene der Richtcharakteristik gestellt, indem so genannte verbotene Flächen definiert werden. Das gemessene und auf 0 dB normierte Pattern darf nicht innerhalb dieser Regionen verlaufen.

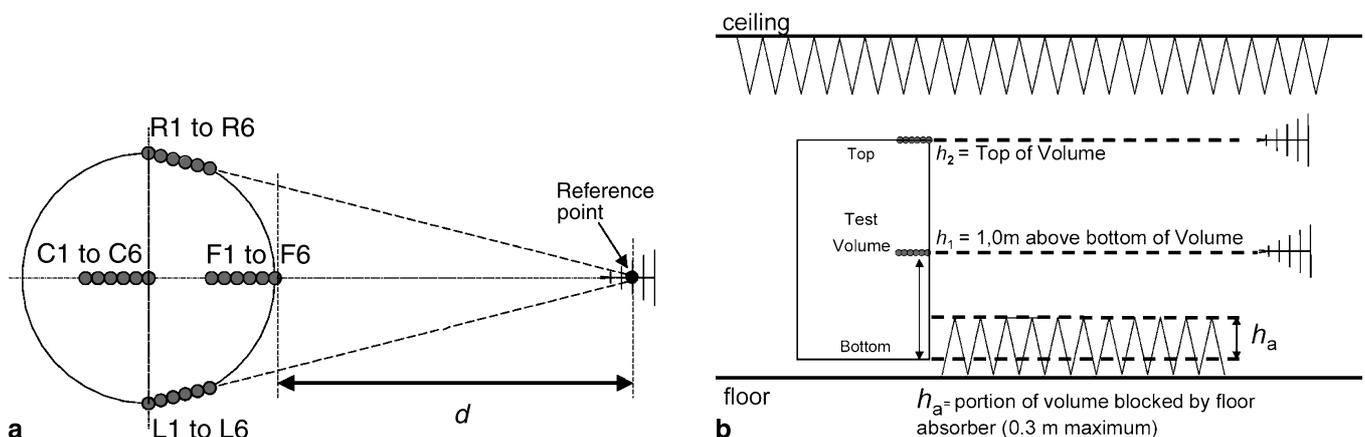


Abb. 3. Messaufbau beim Site VSWR a) Grundriss b) Aufriss, aus (Hollis, Lyon, Clayton, 1970)

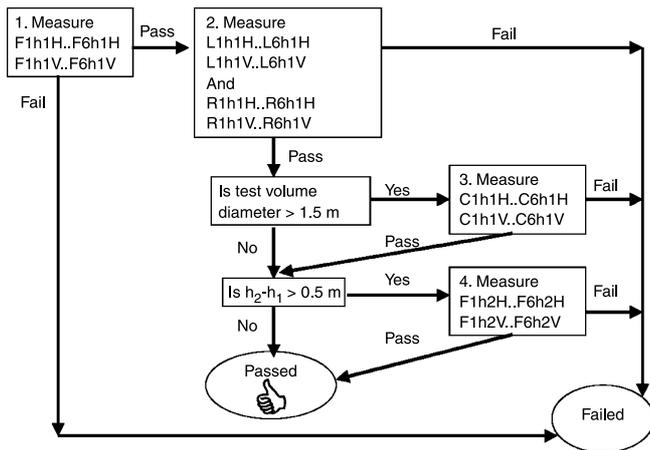


Abb. 4. Entscheidungsbaum für benötigte Messkonfiguration, aus (Hollis, Lyon, Clayton, 1970)

Das Verhalten in der E-Ebene ist ähnlich dem eines Dipols. Die verbotenen Flächen werden durch

- 3 dB für  $\pm 15^\circ$
- 5 dB für  $\pm 35^\circ$
- 7 dB für  $\pm 45^\circ$

definiert. Die Winkelangabe bezieht sich auf eine Keulenposition, die selbst gewählt werden darf. Dieser Winkel darf nicht mehr als  $\pm 15^\circ$  von der mechanisch definierten Hauptstrahlrichtung abweichen.

Vom kreisrunden Verhalten in der H-Ebene darf auf zwei Arten abgewichen werden. Einerseits ist eine Anisotropie von 3 dB erlaubt, um die unvermeidbaren Reflexion des Zuleitungskabels zu berücksichtigen. Zusätzlich wird ein Winkel von  $90^\circ$  an der Rückseite der Antenne aus demselben Grund ausgenommen. Allerdings enthält der Normentwurf die Fußnote, dass es besser wäre, diese Ausnahme nicht zu nutzen. Die verbotene Fläche ist somit ein Kreissegment mit dem Radius -3 dB und einem Winkelbereich von  $\pm 135^\circ$ .

Eine andere Möglichkeit, diese strengen Anforderungen einzuhalten, ist die Anwendung des so genannten reziproken Verfahrens. Dabei wird anstelle der rundstrahlenden Antenne eine omnidirektionale Feldsonde eingesetzt und die Empfangsant-

enne zur Sendeantenne umfunktioniert. Vor- und Nachteile diese Technik sind bei Kriz (Kriz, 2005) beschrieben.

#### 4. Messantennen PCD16 und PCD618

Zum Zeitpunkt, als die Norm entwickelt wurde, waren keine Antennen am Markt erhältlich, die diese strengen Anforderungen an die Richtcharakteristik erfüllen konnten. Aus diesem Grund entwickelten wir im Geschäftsfeld Hochfrequenztechnik der ARC Seibersdorf research GmbH ein eigenes Antennenset für diese Anwendung. Dieses besteht aus zwei Antennen, um den Frequenzbereich von 1 GHz bis 18 GHz abzudecken. Schon aus den Bezeichnungen PCD16 (1 GHz bis 6 GHz) und PCD618 (6 GHz bis 18 GHz) sind die spezifizierten Frequenzbereiche ablesbar. Eine rundstrahlende Antenne zu konstruieren, die den kompletten Frequenzbereich abdeckt, ist nach heutigem Stand der Technik nicht möglich. Die Frequenz, bei der die Antenne gewechselt werden muss, auf 6 GHz zu legen, ist eine kluge Wahl. In den ersten Jahren nach Inkrafttreten der neuen Produktnorm für IT-Geräte wird der Grenzwert nur bis 6 GHz vorgeschrieben. Somit kann der Frequenzbereich, der vorerst für den EMV-Ingenieur wichtig wird, mit einer Antenne abgedeckt werden.

#### 5. Messergebnisse

Wir validierten die Absorberhalle des EMV-Prüfzentrums Seibersdorf nach dem Site VSWR-Verfahren. Diese mittlerweile 15 Jahre alte Vollabsorberhalle erfüllt die Anforderungen der neuen Norm und hält das 0...+5 dB-Limit ein. Die Messergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt.

Die Absorberhalle hat eine Größe der Schirmung von  $8,5\text{ m} \times 4,3\text{ m} \times 4,3\text{ m}$  und ist mit 36 Zoll bzw. 26 Zoll Absorbern (Kohlenstoffgetränkter Polyurethanschaum) der Firma Emerson & Cuming verkleidet. Das Prüfvolumen hat einen Durchmesser von 100 cm und eine Höhe von 160 cm. Aufgrund dieser Größe des Prüfvolumens ist eine Validierung am Punkt Center nicht vorgeschrieben, wohl aber auf einer zweiten Höhe.

In weiten Frequenzbereichen liegt das Messergebnis unter 2 dB. Das ist ein Indikator für die gute Wirkungsweise der eingesetzten Hochfrequenzabsorber. An manchen Stellen, z. B. bei ca. 5 GHz, 12 GHz und 14 GHz kommt es zu markanten Spitzen im Ergebnis. Eine eindeutige Zuordnung der Ursachen ist nicht immer einfach. Reflexionen, die in der zweiten Höhe auftreten, sind meistens der Beleuchtung oder Kameras zuzuordnen. Begehbare Absorber oder Doppelböden erkennt man manchmal an den Seitenpunkten.

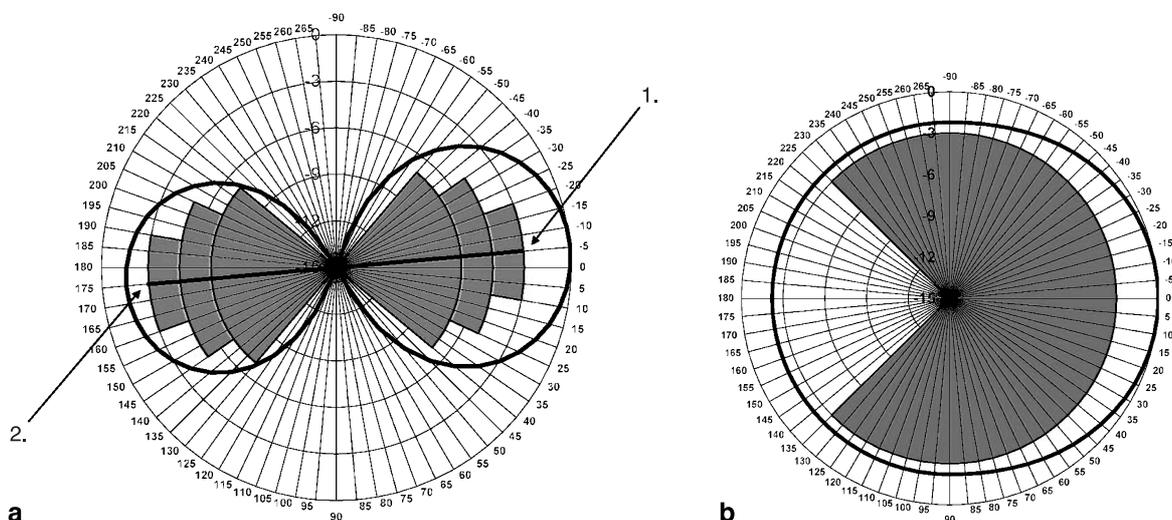
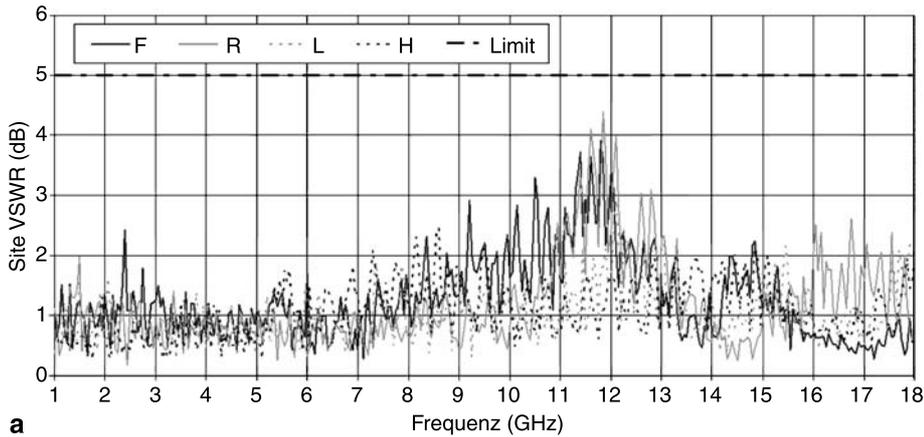
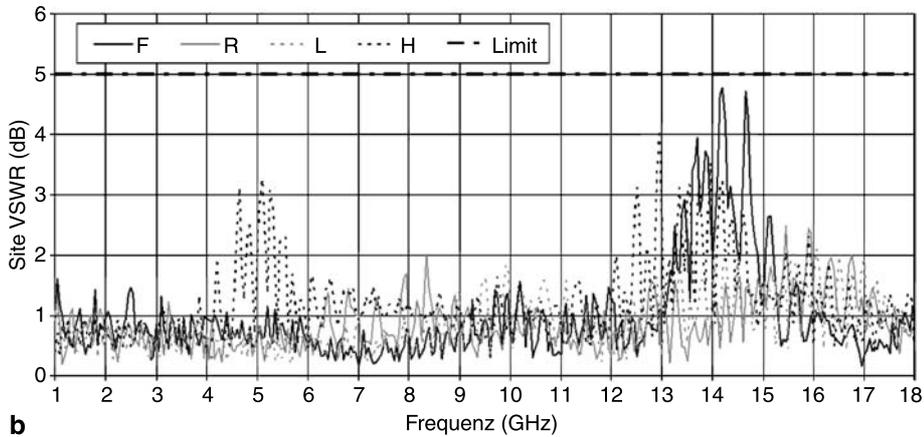


Abb. 5. Anforderungen an die omnidirektionale Messantenne a) E-Ebene b) H-Ebene

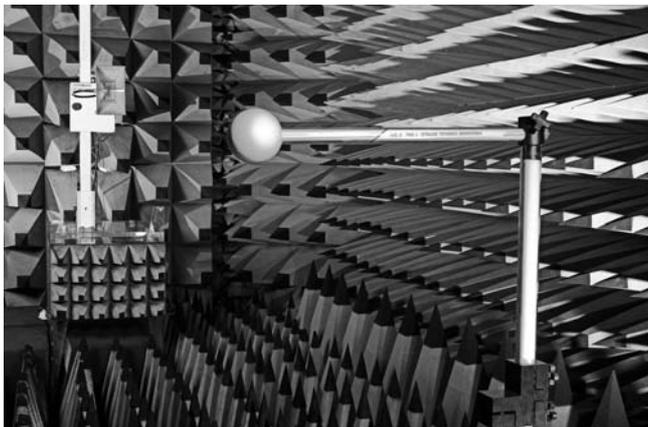


a

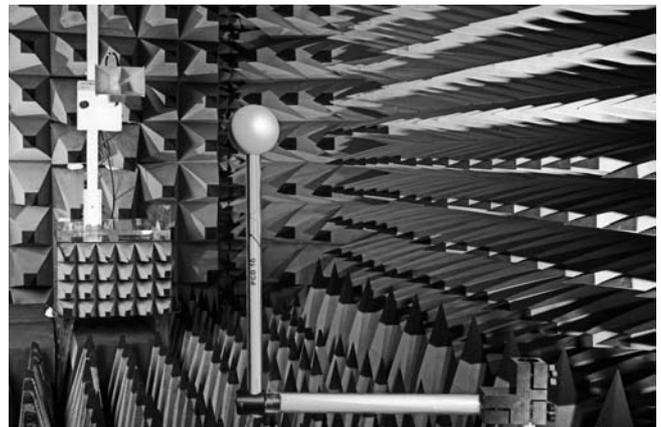


b

Abb. 6. Ergebnisse Site VSWR-Messung a) horizontale Polarisation b) vertikale Polarisation



a



b

Abb. 7. Fotos der Site VSWR-Messung a) horizontale Polarisation b) vertikale Polarisation. Im Vordergrund ist jeweils die PCD 16-Antenne auf dem speziell für diese Validierungsmessung entwickelten Stativ zu sehen (Antenne und Stativ sind Eigenentwicklung von Seibersdorf research)

Fotos von der Halle während der Validierungsmessung sind in Abb. 7 zu sehen.

### 6. Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten der EMV-Richtlinie vor zehn Jahren änderten sich die normativen Anforderungen im Bereich der Störfeldstärkemessung nur in geringem Ausmaß. Das wird sich in den

nächsten zehn Jahren deutlich ändern. Ein großer Block von Normen, der den Frequenzbereich von 1 GHz bis 18 GHz abdeckt, wird harmonisiert werden. Die dazu notwendigen Basis- und Produktnormen sind derzeit in Entwicklung. Die neuen Basisnormen CISPR 16-2-3 und CISPR 16-1-4 beschreiben die Emissionsmessung und die Validierung der Messumgebung. Produktnormen des Gremiums CISPR/I legen den

Grenzwert und den zu verwendenden Detektor fest. Das EMV-Prüfzentrum Seibersdorf ist für diese Entwicklungen gerüstet. Durch Mitarbeit bei der Normung auf nationaler und internationaler Ebene ist der Informationsvorsprung gesichert. Das Emissionstestverfahren wurde implementiert und die Konformität der bestehenden Absorberhalle konnte verifiziert werden.

#### **Literatur**

CISPR 16-2-3-am1 – Ed. 1.0 – Bilingual (2005): Amendment 1 – Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2–3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements. International Electrotechnical Commission, Geneva, 2005-05-27.

CISPR 16-1-4 – Consol. Ed. 1.1 (incl. am1) – Bilingual (2004): Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1–4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances. International Electrotechnical Commission, Geneva, 2004-05-06.

CISPR/A/602/CDV: CISPR 16-1-4 A2 f3 Ed. 1 (2005): Site evaluation above 1 GHz. International Electrotechnical Commission IEC, 2005-07-15.

Hollis, J. S., Lyon, T. J., Clayton, L. (1970): Microwave antenna measurement. Scientific-Atlanta Inc., Atlanta, Georgia, USA, July 1970.

IEEE Std 149-1979 (1979): IEEE standard test procedures for antennas. The Institute of Electric and Electronics Engineer Inc., Wiley-Interscience, 1979.

Kriz, A. (2005) Validating anechoic chambers above 1 GHz using a reciprocal Site VSWR technique. 2005 IEEE Int. EMC Symposium, August 8–12, 2005, Chicago, USA.