

Emissionsmessungen im GHz-Bereich – Bestimmung des Einflusses des Nahfeldes von großen Prüflingen

Dipl.-Ing. Alexander Kriz, Seibersdorf Labor GmbH

Dipl.-Ing. Ronald Svadlenka, SLG

Dipl.-Ing. Friedrich, Wilhelm Trautnitz, Albatross Projects GmbH, Team Technik

1. Vorwort

In der CISPR 16-1-4 wurde im Jahr 2007 das sogenannte Site VSWR Verfahren zur Validierung von EMV Messplätzen in die CISPR 16-1-4 eingeführt. Nachdem einige Punkte wie Antennenöffnungswinkel der Empfangsantennen und Volumengröße des Prüflings im Verhältnis zum Messabstand weiterer Klärung bedürfen, wurde auf der CISPR Sitzung in Seattle eine Ad Hoc Gruppe ins Leben gerufen. Diese Ad Hoc Gruppe hat zwei Themen zu bearbeiten. Zum einen wurden in einem Rundversuch die gängigen und verfügbaren Antennen untersucht und zum anderen weitere Untersuchungen zum Prüflingsvolumen und dem Abstrahlverhalten durchgeführt. Vom Autor wurde 2012 in der CISPR Sitzung ein theoretisches Papier dazu präsentiert. Im April dieses Jahres wurden in der 10 m Halle bei der SLG in Hartmannsdorf Messungen zur Verifizierung der Theorie durchgeführt. Die Theorie und die dazugehörigen Messungen werden vorgestellt, weitere Schlüsse und entsprechende Eingaben bei CISPR diskutiert.

2. Beschreibung der Theorie

In der Literatur wurden bisher verschiedene Möglichkeiten zur Simulation von Prüflingen angewandt. Einige Autoren [1][2] verteilten Störquellen zufällig bzw. gleichmäßig im Prüfvolumen. Andere [3] platzierten die Störquellen an den Rändern des Prüfvolumens, mit dem Hintergedanken auf diese Weise ein Maximum zu simulieren. Ein Maximum zu suchen ist in Hinblick auf die Emissionsmessung ein gangbarer Weg, da ja auch dort versucht wird die maximale elektrische Feldstärke zu finden.

In Bild 1 werden drei theoretische Prüflinge dargestellt. Prüfling A besitzt nur eine Störquelle die am Rand des Prüflingsvolumens platziert ist. Prüfling B besteht aus zwei Störquellen die an den gegenüberliegenden Seiten des Prüflingsvolumens angeordnet sind. Beide Prüflinge sind ansonsten hochfrequenztechnisch transparent, die Wellen werden also nicht weiter reflektiert oder gebeugt. Prüfling C ist identisch wie Prüfling B, jedoch besitzt dieser einen absorbierenden Kern, der die Kopplung der Störquellen in bestimmten Winkeln behindert. Sämtliche Prüflinge haben eine Durchmesser von 5 m ($R=2.5$ m), und sind somit im Vergleich zu typischen realen Prüflingen recht groß bemessen. Die emittierte Leistung der Störquellen beträgt $P_0=1$ mW. Diese Normierung dient dazu, um die elektrische Feldstärke einfach berechnen zu können. Die elektrische Feldstärke wird im Abstand D zwischen 1 m und 100 m, in der horizontalen Achse vom rechten Rand gemessen, bestimmt. Der Wellenwiderstand des leeren Raumes wird mit $Z_0=377 \Omega$ angenommen. Der Prüfling wird dabei in einer 0° und einer 90° Position betrachtet (90° Position im Bild 1 dargestellt).

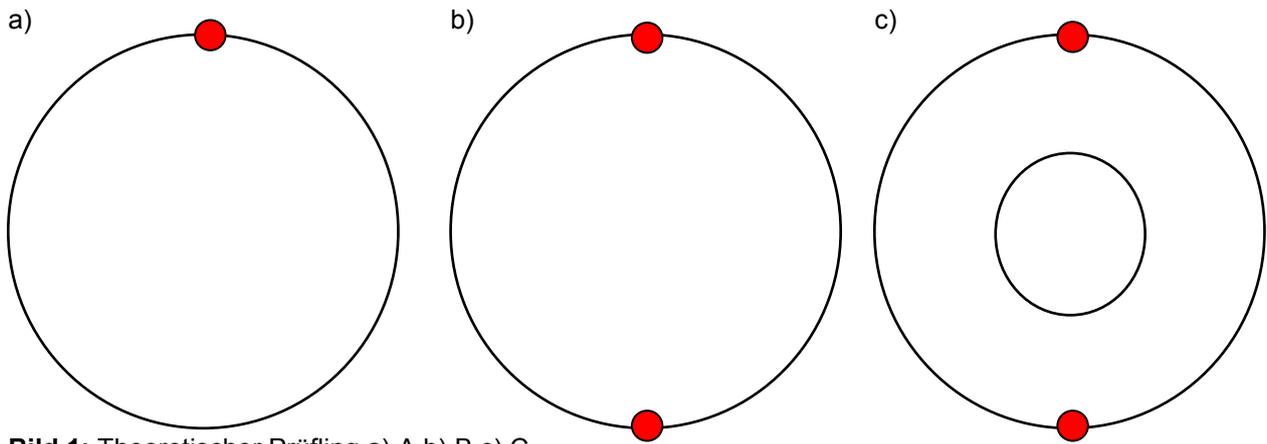


Bild 1: Theoretischer Prüfling a) A b) B c) C

Für Prüfling A gilt:

$$E_0 = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \frac{1}{D} \qquad E_{90} = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(D+R)^2 + R^2}} \qquad \text{Formel 1,2}$$

Für Prüfling B muss die Wellenlänge berücksichtigt werden, denn in der 0° Position kommt es zu Interferenzen, da sich die Wellen beider Quellen überlagern oder auslöschen. Es gilt:

$$E_0 = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \left(\frac{1}{D} \pm \frac{1}{D+R} \right) \qquad E_{90} = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \frac{2}{\sqrt{(D+R)^2 + R^2}} \qquad \text{Formel 3,4}$$

Für Prüfling C gilt:

$$E_0 = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \frac{1}{D} \qquad E_{90} = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot P_0}{4\pi}} \cdot \frac{2}{\sqrt{(D+R)^2 + R^2}} \qquad \text{Formel 5,6}$$

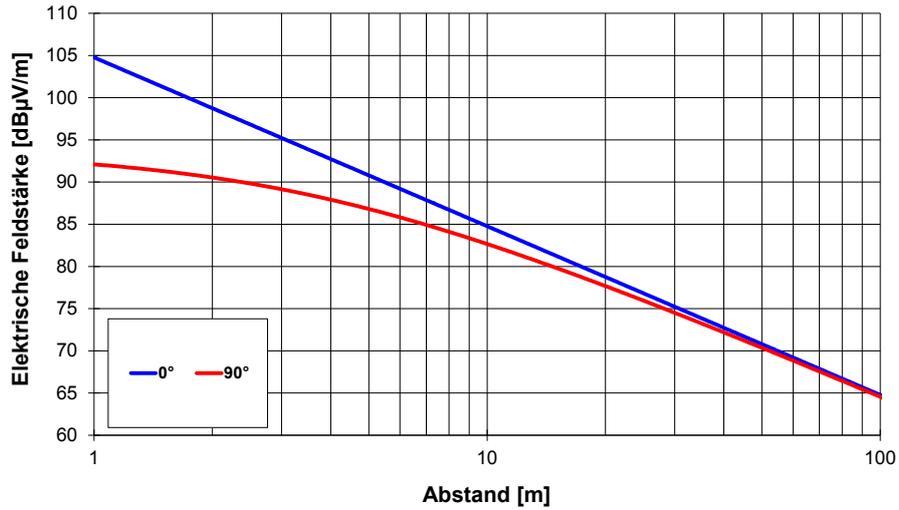
Mithilfe dieses Formelsatzes wird Bild 2 generiert. Gegebenenfalls wird neben den simulierten Feldstärken wird auch die $1/D$ Feldstärkeabnahme dargestellt, die unter Fernfeldbedingungen gelten würde.

Bei Prüfling A wird die maximale Feldstärke in der 0° Position gefunden und das $1/D$ Gesetz ist gültig. Bei Prüfling B wird das Maximum wellenlängenabhängig in der 0° oder in der 90° Position gefunden. In beiden Fällen ist das $1/D$ Gesetz nicht gültig. Der Umrechnungsfaktor zwischen 3 m und 10 m beträgt 6.5 dB bzw. 8.9 dB und liegt somit unter der $1/D$ Umrechnung von 10.5 dB. Bei Prüfling C wird das Maximum bei 3 m in der 0° Position gefunden und bei 10 m in der 90° Position. Der 3 m/10 m Umrechnungsfaktor liegt bei 6.6 dB und erfüllt ebenso wenig das $1/D$ Gesetz.

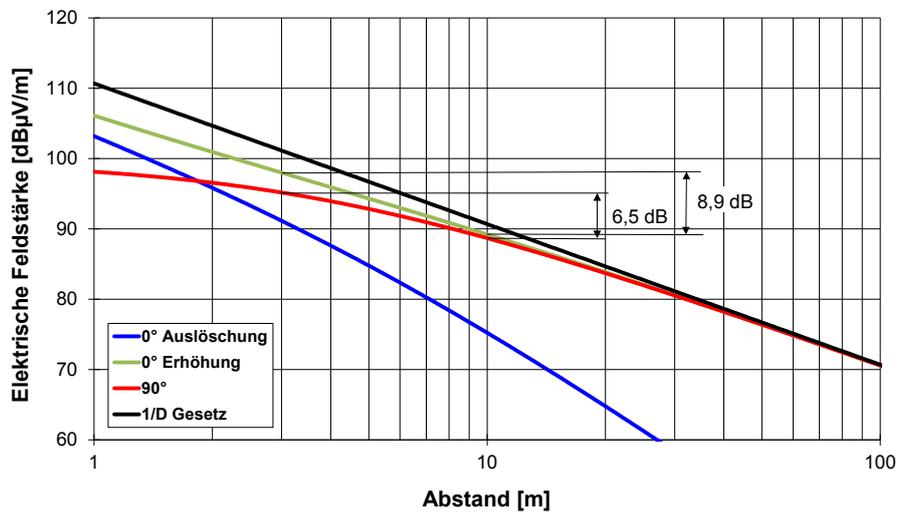
Die berechneten Umrechnungsfaktoren sind für einen Prüflingsdurchmesser von 5 m gültig. Die Abweichung zum „idealen“ Faktor von 10.5 dB nimmt mit der Größe des Prüflings zu. Dies ist leicht einsichtig, denn der Abstand r bei dem das Fernfeld „beginnt“, nimmt mit dem Quadrat der Größe d zu (Rayleigh Distanz).

$$r = \frac{2 \cdot d^2}{\lambda} \qquad \text{Formel 7}$$

a)



b)



c)

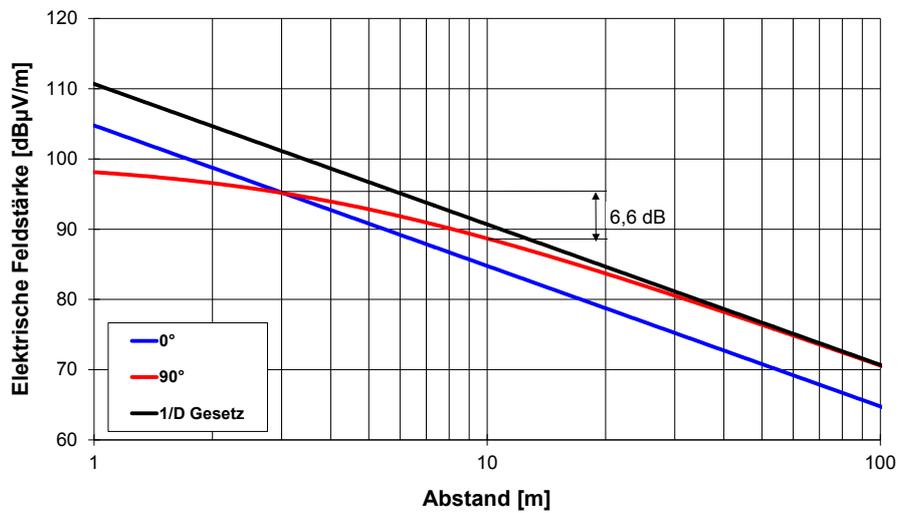
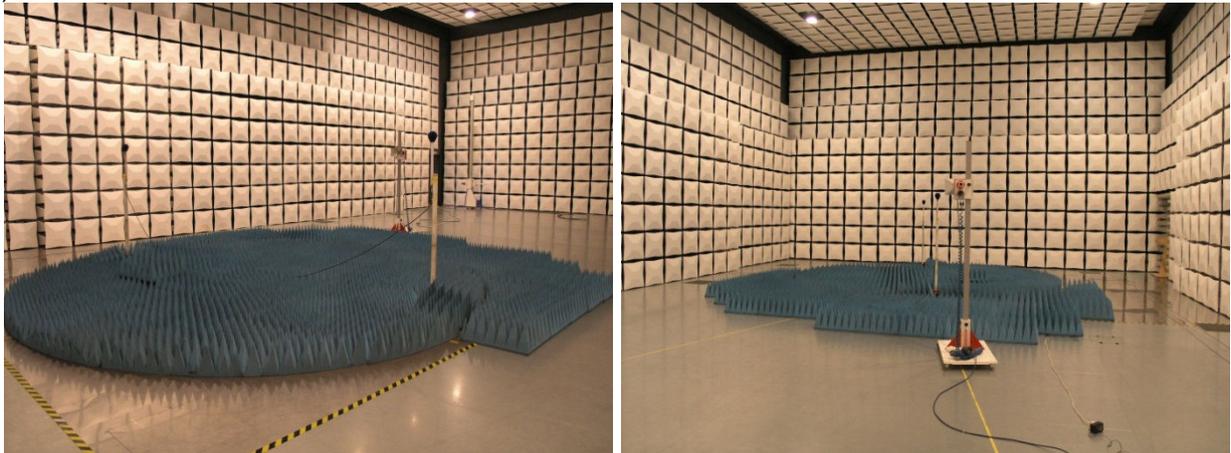


Bild 2: Berechnete Feldstärken der theoretischen Prüflinge a) A b) B c) C

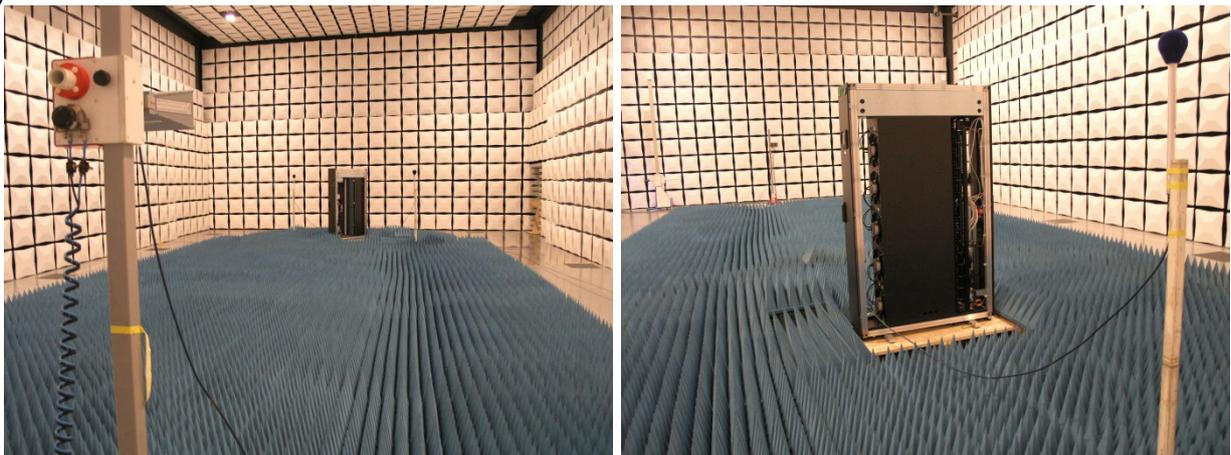
3. Verifikation der Theorie durch Messungen

Um die Berechnungen aus Kapitel 2 zu verifizieren, werden die einzelnen Prüflinge in einer 10 m Absorberhalle aufgebaut. Die Halle erfüllt das SVSWR Kriterium der CISPR 16-1-4 [4] sowohl auf 3 m als auch auf 10 m. Für die Störquellen werden vertikal polarisierte omnidirektionale Dipole des Typs POD618 [5] verwendet, die über einen 3 dB Hybridkoppler phasengleich gespeist werden. Es werden unterschiedliche Empfangsantennen genutzt. Die Messaufbauten sind in Bild 3 dargestellt.

a)



b)



c)

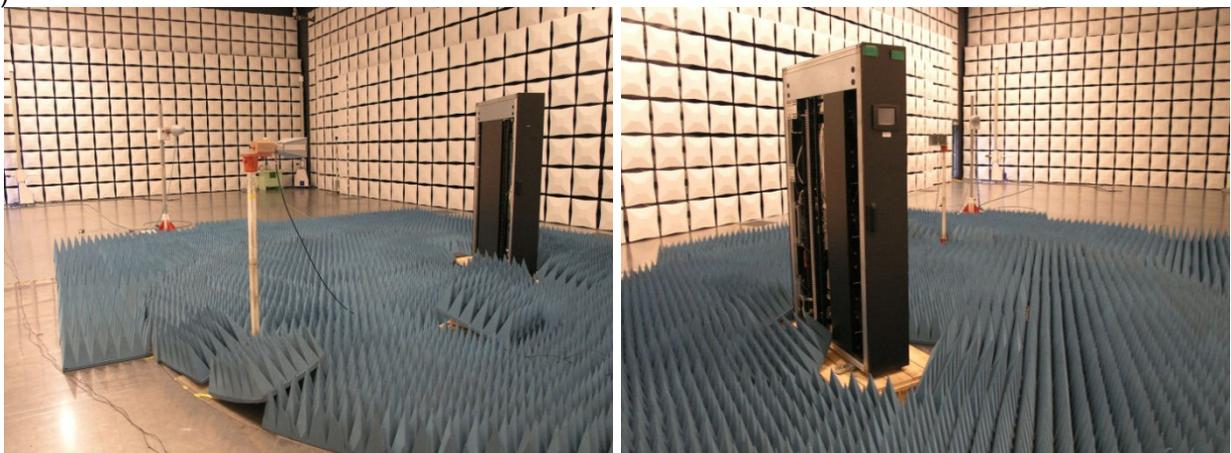
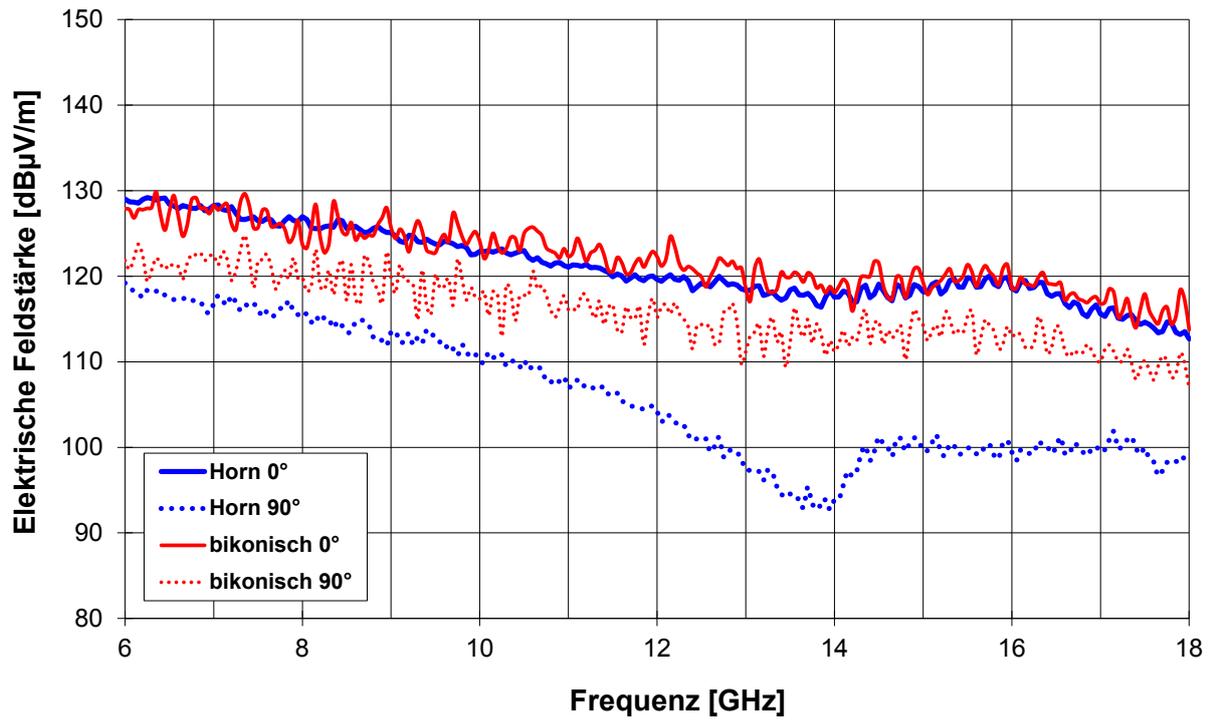


Bild 3: Messaufbau in der Absorberhalle a) Prüfling B in 3 m b) Prüfling C in 10 m c) Prüfling D in 3 m

a)



b)

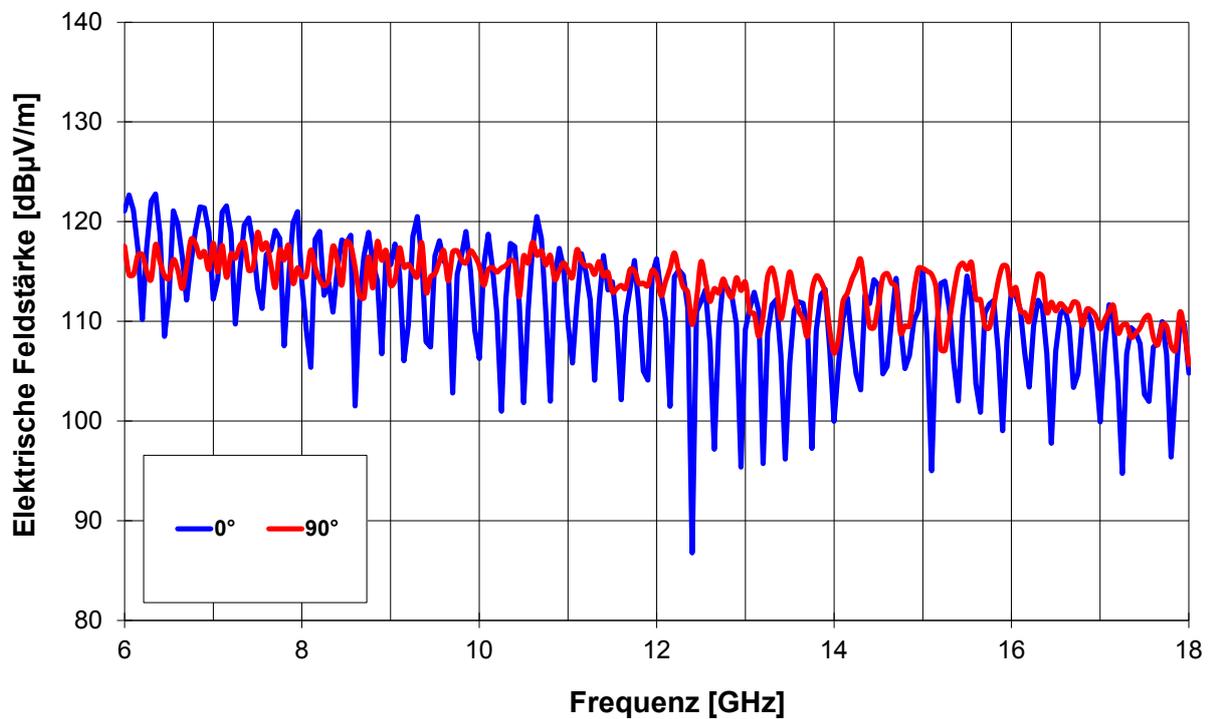
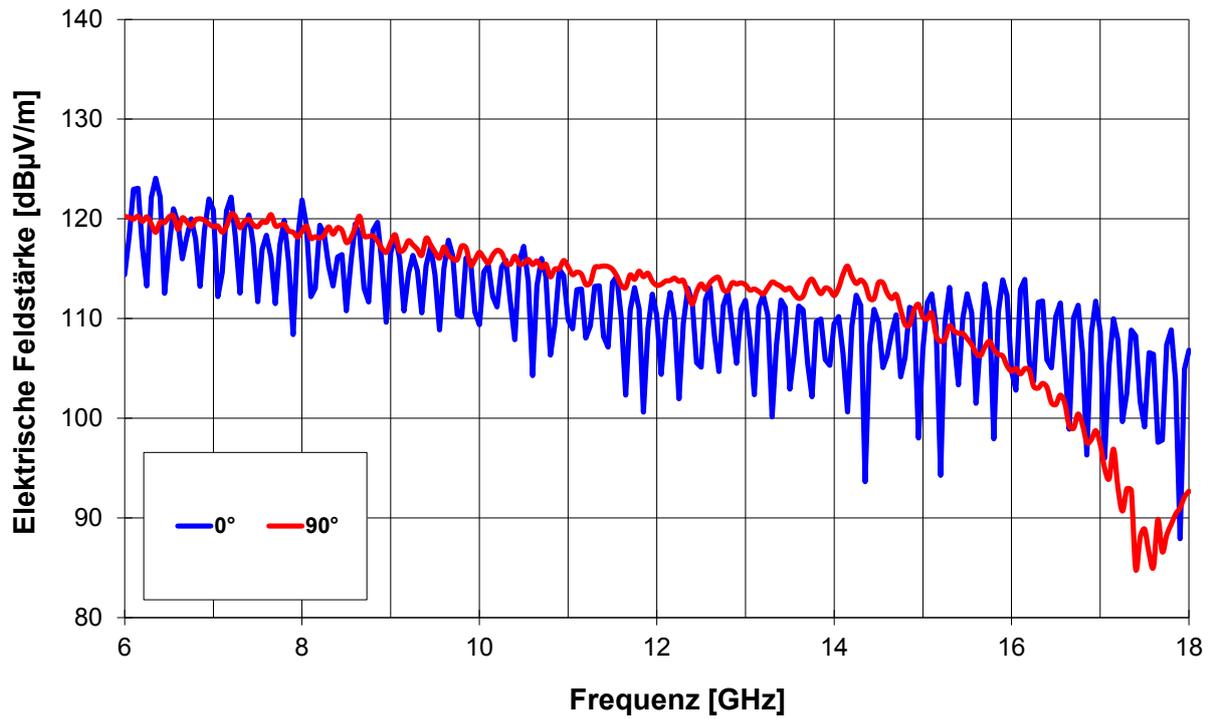


Bild 4: Gemessene Feldstärken der Prüflinge a) A in 3 m b) B in 10 m

a)



b)

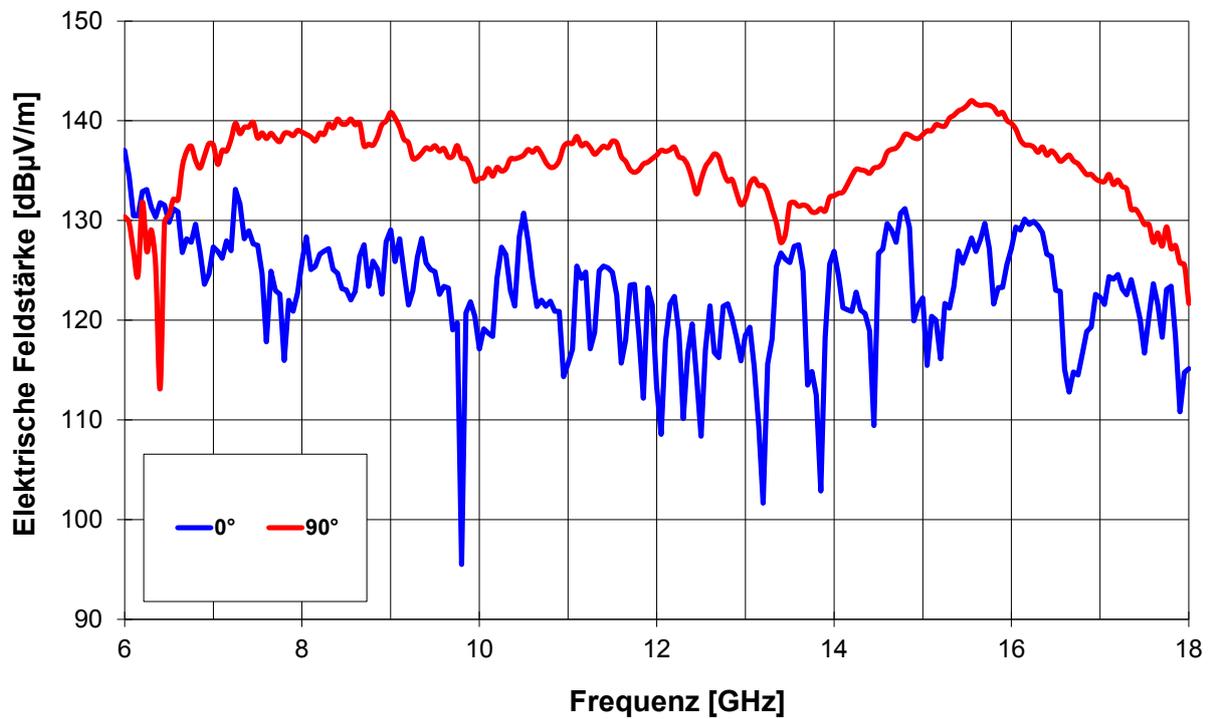


Bild 5: Gemessene Feldstärken der Prüflinge a) C in 10 m b) D in 3 m

In Bild 4 a) ist die Feldstärke von Prüfling A in 3 m Abstand dargestellt, die mit unterschiedlichen Empfangsantennen gemessen wurden. Wenn eine bikonische Empfangsantenne verwendet wird liegt die Differenz zwischen 0° und 90° bei ca. 6 dB, in Übereinstimmung mit der Theorie. Bei Verwendung einer Hornantenne ist diese aufgrund der Richtcharakteristik deutlich höher, siehe Riedelsheimer/ Trautnitz [6]. Somit passiert ein systematischer Fehler, der im Messunsicherheitsbudget der Emissionsmessung berücksichtigt werden muss. Dieser Beitrag ist von der Richtwirkung der Empfangsantenne, vom Volumendurchmesser und vom Messabstand abhängig. Auch wenn der Prüfling von der Halbwertsbreite der Empfangsantenne eingeschlossen wird, kann dieser Wert bis zu - 3 dB betragen.

In Bild 4 b) ist die Feldstärke von Prüfling B in 10 m Abstand dargestellt, gemessen mit einer bikonischen Empfangsantenne. Das Verhalten folgt sehr gut der Theorie aus Bild 3 b). Die Emission in der 0° und der 90° Position sind identisch, falls positive Überlagerung in der 0° Position stattfindet. Bei Auslöschung sinkt der Pegel um bis zu 15 dB.

In Bild 5 a) ist die Feldstärke von Prüfling C in 10 m Abstand dargestellt, gemessen mit einer Hornantenne. Die Ergebnisse sind mit jenen für Prüfling B vergleichbar, denn es treten hier ebenfalls Interferenzen auf. Diese lassen sich mit Hilfe der Spiegeltheorie erklären, der Schaltschrank wirkt als Spiegel. Zur Zeit der Entwicklung der CISPR 16-2-3 [7] nahm man an, dass jeder Prüfling aus nur einer HF-Quelle besteht, die während der Emissionsmessung irgendwann bei der Empfangsantenne vorbeigedreht wird. Durch diese Messung konnte gezeigt werden, dass die Annahme, aufgrund von Reflexionen im Prüfling, nicht gerechtfertigt ist. Hier muss ein Umdenken seitens der Normung stattfinden, und das Verhalten realer Prüfling sollte besser untersucht werden.

In Bild 5 b) ist die Feldstärke eines weiteren Prüflings (D) in 3 m Abstand dargestellt, gemessen mit einer Hornantenne. Diese Abwandlung zu Prüfling C besteht nur aus einer Quelle, einer Hornantenne, die auf den Schaltschrank ausgerichtet ist. Er stellt einen Extremfall eines Prüflings mit hoher Richtwirkung dar, nicht besonders wahrscheinlich, jedoch auf jeden Fall möglich. Durch die Reflexion am Schaltschrank wird das Feldstärkemaximum bei 90° gemessen, wobei die Differenz zur 0° Position 10 dB deutlich überschreitet.

4. Weiterführende Arbeiten:

Der in Bild 2 b) dargestellt Umrechnungsfaktor von 6.5 dB bzw. 8.9 dB konnte experimentell noch nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der kleinen Wellenlängen ist ein präzises Platzieren der Antennen notwendig, besonders für einen Abstand von 10 m. Deshalb sind noch weitere Messungen nötig, bei denen die Sendeantennen elektronisch ausgerichtet werden. Erst dadurch wird das Feldstärkemaximum bei 90° präzise gefunden.

Analog zu Formeln 4 lässt sich auch die magnetische Feldstärke für Prüfling B anschreiben:

$$H_{90} = \sqrt{\frac{P_0}{4\pi \cdot Z_0}} \cdot \frac{2 \cdot (D+R)}{(D+R)^2 + R^2} \quad \text{Formel 8}$$

Es liegt ein TEM Feld vor, für dessen Feldwellenwiderstand gilt:

$$Z_w = \frac{E_{90}}{H_{90}} = Z_0 \cdot \frac{\sqrt{(D+R)^2 + R^2}}{D+R}$$

Formel 9

Dieser beträgt für Prüfling B in 3 m Abstand 414 Ω bzw. 384 Ω in 10 m. Welche Auswirkung das auf den Antennenfaktor der Empfangsantenne hat ist noch Ziel weiterer Untersuchungen.

Auf jeden Fall müssen bei etwaigen Änderungen des Messverfahrens auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden. Ein Kompromiss zwischen Aufwand, Messzeit und Messunsicherheit soll gefunden werden.

5. Danksagung:

An Herrn Dipl. Ing. David Hamann von der Leibniz Universität Hannover für die Diskussion zum Thema Feldwellenwiderstand im Nahfeld.

6. Literaturhinweise:

[1] P. Wilson, C.L. Holloway, M. Candidi: "Comparison of Planar versus Spherical Emission Measurements for Unintentional Emitters", 2002 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pg. 189

[2] A. Kriz: "Calculation of Antenna Pattern Influence on Radiated Emission Measurement Uncertainty", 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 18-22. Aug. 2008, Detroit

[3] B. Bakker, H. Garn, D. Malinka, W. Müllner, K. Ruffing, L. Schmidt: "Ergebnisse meßtechnischer Untersuchungen über Hallenfaktoren und Felddämpfungen in Absorberhallen", Kongress EMV92, Feb. 25-27, 1992, Karlsruhe, Deutschland, pg. 911-921

[4] CISPR 16-1-4: "Specification for disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements", Edition 3.1, 2012-07, IEC, ISBN 978-2-8322-0213-5

[5] Antennas POD 16 | POD 618: "Precision Omnidirectional Dipoles – POD", Leaflet, www.seibersdorf-laboratories.at

[6] J. Riedelsheimer, F.-W. Trautnitz: „Influence of Antenna Pattern on Site Validation above 1 GHz for Site VSWR Measurements“, 2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, July 25-30, 2010, Fort Lauderdale, Florida, USA, ISBN 978-1-4244-6307-7

[7] CISPR 16-2-3: "Specification for disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurements of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements", Edition 3.1, 2010-08, IEC, ISBN 978-2-88912-123-6