

# Simulative Abschätzung des Einflusses eines Höhenscans in Vollabsorberhallen auf die maximale gemessene Feldstärke

Dr.-Ing. Jörg Petzold, Otto-von-Guericke-Universität, Deutschland

Dr.-Ing. Mathias Magdowski, Otto-von-Guericke-Universität, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, Otto-von-Guericke-Universität, Deutschland

## 1 Einleitung

Die CISPR 16-2-3 schreibt für gestrahlte Störaussendungsmessungen mit Bodenabsorbern in einem bevorzugten Abstand von 3 m für den Frequenzbereich  $> 1$  GHz eine feste Messantennenhöhe vor. Jedoch wird vom Subcommittee CISPR/1 im Amendment 1, Edition 2 von CISPR 32 eine Höhenvariation der Messantenne eingeführt, womit diese von der Messvorschrift in CISPR 16-2-3 abweicht. Durch die Höhenvariation der Messantenne soll die Wahrscheinlichkeit der Maximumfindung bei der Emissionsmessung gesteigert werden, wodurch im Frequenzbereich von 1 GHz bis 3 GHz der Grenzwert von  $50 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$  auf  $54 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$  erleichtert wurde. Das zugrundeliegende Messverfahren von CISPR 32 sieht eine solche Antennenhöhenvariation von 1 m bis 4 m vor, wobei die Antenne aber nicht auf den Prüfling gerichtet wird, sondern immer horizontal ausgerichtet bleibt, so dass bei kleinen Prüflingen in 1 m Prüflingshöhe die Antenne bei zunehmender Antennenhöhe den Prüfling immer weniger sieht. Außerdem nimmt der Abstand zum Prüfling mit zunehmender Antennenhöhe zu. Die Frage ist nun, um welchen Faktor bzw. welches Maß in dB die maximale gemessene Feldstärkeemission durch den Höhenscan zunimmt bzw. ob die Grenzwert erleichterung um 4 dB berechtigt ist.

## 2 Prüflingsmodell

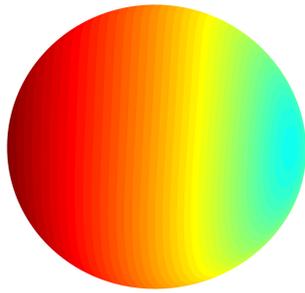
Das Ziel dieses Beitrags ist eine effiziente Simulation gestrahlter Störaussendungsmessungen nach CISPR 16-2-3. Dazu wird eine numerische Monte-Carlo-Simulation mit einem statistischen Strahler durchgeführt, dessen Modell auf [1, 3] zurückgeht. In [1] wird die mathematische Beschreibung des Modells detailliert erläutert und weiterentwickelt. Diese soll hier kurz zusammengefasst werden. Die komplexe Amplitude der abgestrahlten elektrischen Gesamtfeldstärke

$$E(\varphi, \theta) = \sum_i^N I_i e^{j(ka \cos(\Phi_i) + \alpha_i)} \quad (1)$$

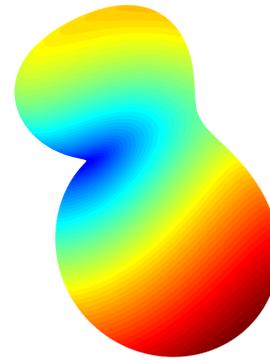
wird als Summe der einzelnen Felder von  $N$  Punktquellen, die auf der Oberfläche einer Kugel mit dem Radius  $a$  zufällig verteilt sind und zufällige Intensitätsamplituden  $I_i$  und Phasen  $\alpha_i$  aufweisen, aufgefasst. Dabei ist

$$\Phi_i = \arccos\left(\frac{\vec{r} \cdot \vec{r}_i}{|\vec{r}| |\vec{r}_i|}\right) = \arccos(\cos \theta \cos \theta_i + \sin \theta \sin \theta_i \cos(\varphi - \varphi_i)) \quad (2)$$

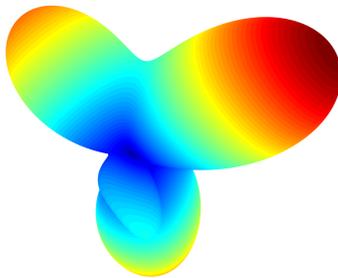
der Winkel zwischen der Beobachtungsrichtung  $\vec{r}$ , die durch  $(\varphi, \theta)$  bestimmt ist, und der Position  $\vec{r}_i$  einer einzelnen Quelle auf der Kugeloberfläche. Der Ausdruck  $ka$  entspricht der elektrischen Größe des Strahlers, wobei  $a$  der Radius der kleinsten, den Prüfling umschließenden Kugel ist und  $k$  die Wellenzahl bezeichnet. Um das Prüflingsmodell in seiner Anwendung zu demonstrieren, sind in Bild 1 ermittelte Abstrahlungsdiagramme für einige Frequenzen und einen Prüflingsradius von  $a = 25 \text{ cm}$  dargestellt. Man beachte, dass das Modell aufgrund der verwendeten Punktquellen skalare und komplexwertige Feldstärken liefert und daher Polarisierungseffekte unberücksichtigt bleiben.



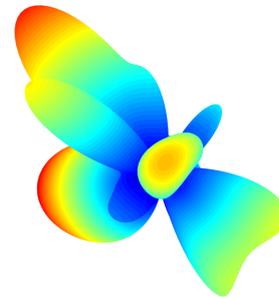
(a)  $f = 0,1$  GHz



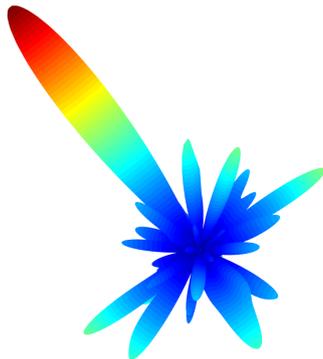
(b)  $f = 0,2$  GHz



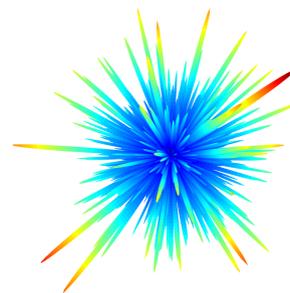
(c)  $f = 0,4$  GHz



(d)  $f = 1$  GHz



(e)  $f = 2$  GHz



(f)  $f = 10$  GHz



Bild 1: 3D-Abstrahldiagramme des Prüflingsmodells nach (1) für auf einer Kugel mit dem Radius  $a = 25$  cm zufällig verteilte Punktquellen. Dargestellt ist der Betrag der Feldstärke, normalisiert auf das jeweilige Maximum.

### 3 Simulation der Messung nach CISPR 16-2-3

Um die Messung in einer Vollabsorberhalle nach CISPR 16-2-3 mit Hilfe des Modells nachzubilden, wurde ein hochaufgelöstes Abstrahldiagramm mit einer Winkelauflösung von  $0,5^\circ$  für die jeweils betrachtete Frequenz bestimmt. Der dabei auftretende maximale Betrag des Feldes  $E_{\max}$  wurde als *wahres* Maximum bezeichnet. Anschließend wurde dasselbe Abstrahldiagramm nach CISPR 16-2-3 in der Azimutebene ( $\theta = 90^\circ$ ) mit einer Winkelauflösung  $\Delta\varphi = 10^\circ$  abgetastet und die dabei auftretende maximale Feldstärke  $E_{\text{CISPR}}$  gespeichert. Der so ermittelte Pegelabstand zum *wahren* Maximum

$$\Delta L = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{E_{\text{CISPR}}}{E_{\max}} \right) \quad (3)$$

wird in Bild 2 als *feste Höhe* bezeichnet. Um den Effekt eines zusätzlichen Höhenscans zu untersuchen, wurde der abgetastete Bereich in Polarrichtung erweitert. Bei einem angenommenen Messabstand und einer maximalen auf den Prüfling bezogene Antennenhöhe von 3 m ergibt sich so ein Polarwinkelsatz von  $\theta = \{45^\circ; 53,13^\circ; 63,43^\circ; 75,96^\circ; 90^\circ\}$  bei einer Wiederholung der Messung alle 75 cm. Um den Einfluss des dabei zunehmenden Abstands zwischen dem Strahler und der Messantenne zu berücksichtigen, wurde ein Korrekturfaktor  $r_K(\theta)$  bei der Berechnung des Feldes

$$E(\varphi, \theta) = r_K(\theta) \sum_i^N I_i e^{j(ka \cos(\Phi_i) + \alpha_i)} \quad \text{mit} \quad r_K(\theta) = \sin \theta \quad (4)$$

eingeführt. Das Prozedere wurde dann für 150 verschiedene Frequenzen  $f$  von 1 GHz bis 18 GHz für eine einzelne Realisierung durchgeführt. Der gesamte Prozess wurde anschließend für 1000 zufällige Realisierungen wiederholt, um abschließend alle maximalen Feldstärken zu speichern und daraus schließlich die sich ergebenden statistischen 50. Perzentile bzw. Mediane oder Zentralwerte  $\Delta L_{\text{med}}$  der Pegelabstände zu ermitteln. Diese sind in Bild 2 mit und ohne zusätzlichen Höhenscan dargestellt. Es wird deutlich, dass der ermittelte Pegel bei steigender Frequenz immer stärker vom tatsächlichen Pegel abweicht und sich durch einen zusätzlichen Höhenscan um ca. 1 dB an den tatsächlichen maximalen Pegel annähert. In einem weiteren Schritt kann auch der Einfluss einer eventuellen Fehlausrichtung, die sich bei rein vertikaler Verschiebung der Antenne ergibt, berücksichtigt werden. Der dafür nötige Antennenkorrekturfaktor ist im folgenden Abschnitt erläutert.

### 4 Berücksichtigung der Antennencharakteristik

Durch eine horizontale Verschiebung der Empfangsantenne ohne eine Nachführung der Antennenausrichtung auf das Testobjekt, verändert sich die relative Richtung des einfallenden Feldes und damit aufgrund der Antennencharakteristik die eingekoppelte Spannung am Antennenfußpunkt. Um den Einfluss dieses Effekts abschätzen zu können, wurde eine in dem gewählten Frequenzbereich typischerweise verwendete Antenne ausgewählt und ihre winkel- und frequenzabhängige Charakteristik untersucht. Diese ist in Bild 3 für einige Frequenzen dargestellt. Die dazu nötigen Daten wurden aus einem Datenblatt [2] des Herstellers extrahiert. Dabei ist zu beachten, dass die Werte bei jeder Frequenz auf das jeweilige Maximum der gemessenen Feldstärke normiert sind. Um die Charakteristik der Antenne nicht nur an diskreten Frequenzen und Winkeln berücksichtigen zu können, wurde eine 2-dimensionale lineare Interpolation durchgeführt. In Bild 4 ist beispielhaft der resultierende Datensatz für ein feinmaschiges Gitter dargestellt. Deutlich ist die mit steigender Frequenz zunehmende Direktivität bzw. Richtwirkung der Antenne zu erkennen. Das so bestimmbare frequenz- und winkelabhängige Verhalten der Antenne wird durch einen weiteren

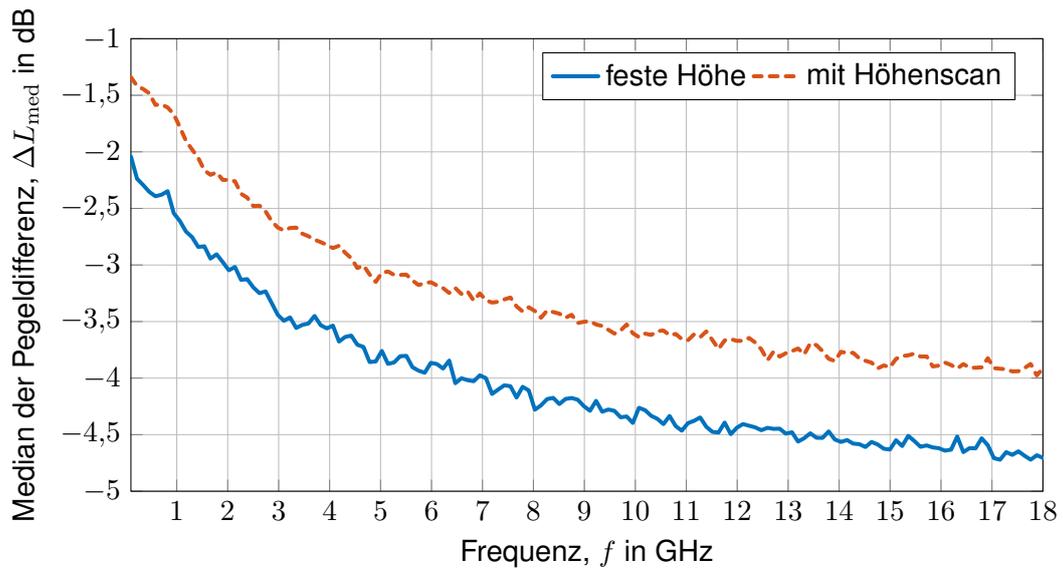


Bild 2: Abweichung der Mediane der nach verschiedenen Verfahren bestimmten Maximalwerte der Beträge der abgestrahlten Feldstärke im Fernfeld statistischer Strahler von der jeweiligen *wahren* maximalen Feldstärke

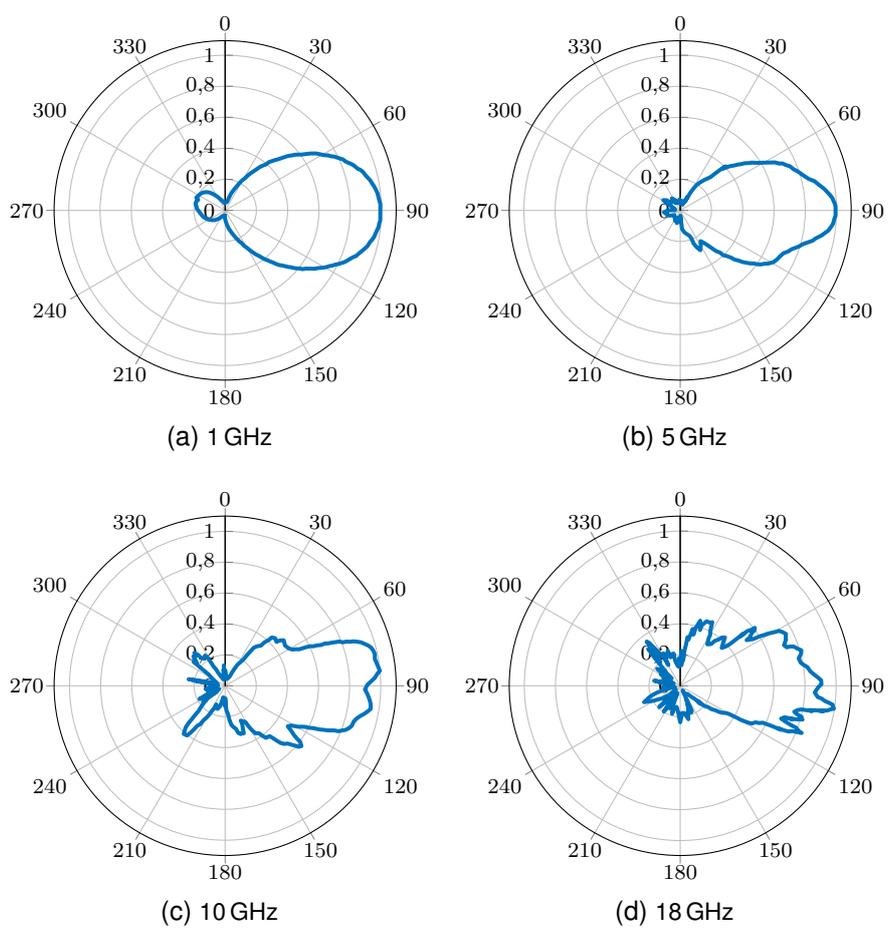


Bild 3: Richtcharakteristik einer Antenne des Typs STLP 9148 von Schwarzbeck [2]

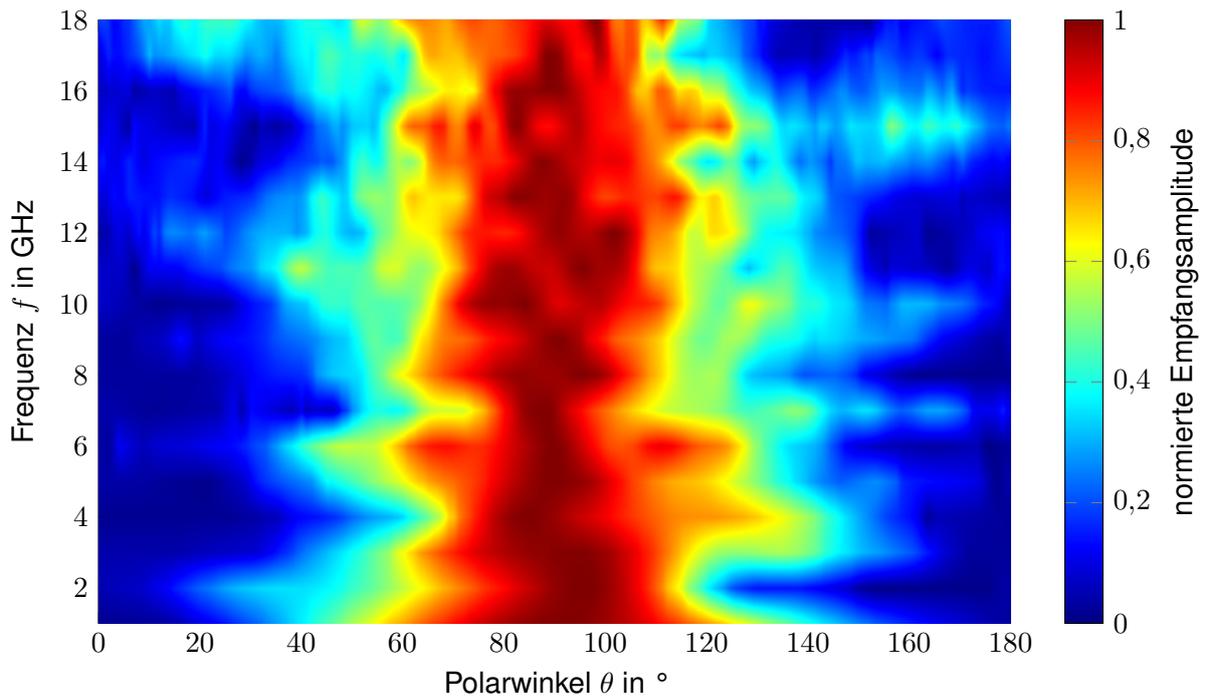


Bild 4: Interpolation entlang der Frequenz und des Einfallswinkels der Richtcharakteristik einer Antenne des Typs STLP 9148 [2]

Korrekturfaktor  $r_A$ , welcher der normierten Empfangsamplitude entspricht, in

$$E(\varphi, \theta) = r_A(k, \theta) r_K(\theta) \sum_i^N I_i e^{j(ka \cos(\Phi_i) + \alpha_i)} \quad (5)$$

abgebildet. Eine anschließende Simulation, wie sie im Abschnitt 3 erläutert wird, ergibt die in Bild 5 dargestellten Mediane der Abweichungen der nach CISPR 16-2-3 ermittelten maximalen Feldstärke von der *wahren* Feldstärke. Zum Vergleich sind zusätzlich noch einmal die Ergebnisse aus Bild 2 dargestellt. Es wird deutlich, dass ein rein vertikales Verschieben der Antenne ohne Nachführung der Ausrichtung nahezu jeden Nutzen eines Höhengscans durch die abnehmende Empfindlichkeit der Antenne revidiert.

## 5 Ergebnis und Zusammenfassung

Ab einer Frequenz von 2 GHz ist durch den Höhengscan eine Annäherung der detektierten maximalen Feldstärke an die tatsächliche maximale Feldstärke von ca. 1 dB realisierbar, sofern die Antennenausrichtung auf den Prüfling gewährleistet wird. Das wahre Emissionsmaximum wird allerdings auch dann noch um mehrere dB unterschätzt, wobei dieser Fehler mit der Frequenz ansteigt. Aus den Simulationsergebnissen lässt sich schließen, dass die maximale Feldstärke für elektrisch große Prüflinge keine aussagekräftige Messgröße ist, weil die Abstrahldiagramme sehr schmale Keulen aufweisen, die aufwendig zu finden sind. Gleichzeitig sinkt natürlich auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine Störsenke genau in einer solchen schmalen, aber starken Abstrahlkeule befindet.

Statt eines zeitaufwendigen Höhengscans, der in kleinen Vollabsorberhallen auch unmöglich ist, wäre es als Ergebnis der Simulationen empfehlenswerter, den Prüfling auf die Seite zu legen und per Drehtisch zwei weitere Schnittebenen zu vermessen, um auch zu ermitteln, was der Prüfling nach oben sowie unten strahlt und somit näher an das tatsächliche Maximum der Abstrahlung heranzukommen. Außerdem wäre es wünschenswert, alle Messwerte abzuspeichern, um aus dem Ver-

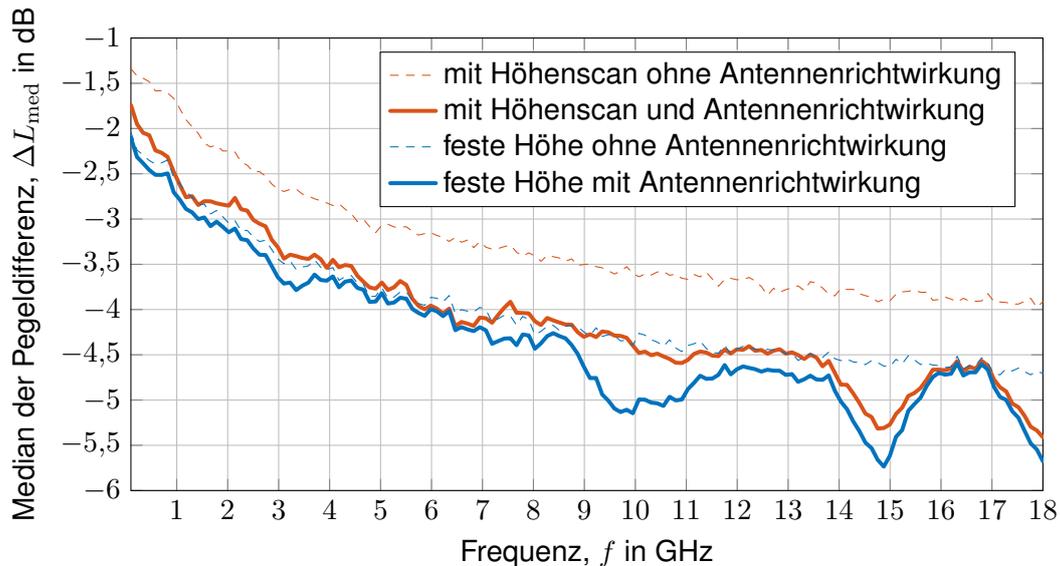


Bild 5: Abweichung der Mediane der nach verschiedenen Verfahren bestimmten Maximalwerte der Beträge der abgestrahlten Feldstärke im Fernfeld statistischer Strahler von der jeweiligen maximalen Feldstärke unter Berücksichtigung der Antennenrichtwirkung aus [2]

hältnis von Mittelwert und Maximalwert eine Direktivität bzw. statistische Messunsicherheit durch die Unterabtastung des Abstrahldiagramms abzuschätzen.

Weiterhin lässt sich aus den Simulationen schlussfolgern, dass es oberhalb von 1 GHz besser wäre, die gesamte abgestrahlte Leistung als Messgröße und als Grenzwert heranzuziehen, weil sie robuster zu messen ist und mehr Aussagekraft über das realistische Störpotential liefert.

### Literaturangaben

- [1] KRAUTHÄUSER, Hans G.: Statistical Analysis of the Correlation of Emission Limits for Established and Alternative Test Sites. 53 (2011), November, Nr. 4, S. 863–875. <http://dx.doi.org/10.1109/TEMC.2010.2102764>. – DOI 10.1109/TEMC.2010.2102764. – ISSN 0018–9375
- [2] SCHWARZBECK: *Gestockte Log.-Per. Breitband-Antenne STLP 9148*. Schönau : <http://www.schwarzbeck.de/en/antennas/logarithmic-periodic-broadband-antennas/stacked-logarithmic-periodic-broadband-antennas.html>, Februar 2005
- [3] WILSON, P. F.: Advances in radiated EMC measurement techniques. In: *URSI Radio Science Bulletin* 2004 (2004), Nr. 311, S. 65–78