

Diskussion des in CISPR 32 eingeführten Höhenscans bei der Emissionsmessung oberhalb 1 GHz

Prof. Dr.-Ing. Sven Battermann, Fachhochschule Bielefeld, Campus Minden
Kurt Hemmerlein, Bundesnetzagentur, Berlin

1 Einleitung

Im Zuge der Überarbeitung der CISPR 32 haben Mitarbeiter von CISPR/I [1] Emissionsmessungen über 1 GHz vorgenommen. Dabei wurden bei einem Höhenscan erhebliche Schwankungen der gemessenen elektrischen Feldstärke gegenüber der Messung mit fester Höhe der Empfangsantenne festgestellt. Da der Höhenscan trotz vorhandener Bodenabsorber durchgeführt wurde, dürften die gemessenen Schwankungen nicht auf die Interferenz zwischen dem direkten und dem am Boden reflektierten Signalpfad zurückzuführen sein. Diese Ergebnisse wurden zur Diskussion in die internationalen Normungsgremien gegeben.

Das deutsche Normungsgremium konnte die Messungen sowohl theoretisch als auch messtechnisch nicht bestätigen und hat gegen den Komiteeentwurf zur Abstimmung (CDV) entschieden [2]. Dabei hat man sich auch auf die bis 2009 in CIS/A/WG2 intensiv geführte internationale technische Diskussion zum Höhenscan gestützt, die mit dem Sitzungsprotokoll in Lyon (Clause 6.1) beendet wurde. Die internationale Abstimmung des CDV und auch des FDIS hat aber ein positives Voting ergeben. Damit ist es selbst bei (elektrisch) kleinen Prüflingen erforderlich, einen kontinuierlichen Höhenscan von 1-4 m vorzunehmen. Mit der Einführung des Messverfahrens wurde eine Grenzwert erleichterung von 4 dB von 1 bis 3 GHz verbunden – basierend auf der Behauptung, dass mit dem modifizierten Messverfahren Maxima aufgespürt werden, die mit dem bisherigen Messverfahren nicht erfasst wurden. Dieser erleichterte Grenzwert gilt mit der Veröffentlichung der CISPR 32 Ed. 2.1 für alle Prüflinge (EUTs) – unabhängig von deren Strahlungscharakteristik und Größe – und beeinflusst damit das FunkSchutzniveau in einem für viele Funkdienste bedeutsamen Frequenzbereich.

In diesem Beitrag werden einige physikalische Effekte aufgezeigt, die die Begründung der erfolgten Änderung des bestehenden Messverfahrens mit verbundener Grenzwert erleichterung widerlegen. Ergänzend werden Hinweise gegeben, welche Änderungen am Messverfahren technisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar sind. Dazu wurden u. a. im Normungsgremium DKE/GAK 767.4.1 „Feldstärke“ in der 10 m Halbabsorberkammer (SAC) der Bundesnetzagentur sowie einer 3 m Vollabsorberkammer (FAR) weitere Messungen sowie Feldberechnungen durchgeführt.

2 Beschreibung des Messaufbaus

2.1 Prüflinge (Strahlungsquellen)

Es kommen unterschiedliche Prüflinge zum Einsatz. Als künstliche Prüflinge werden eine mit Kammgenerator gespeiste bikonische Antenne (Schwarzbeck SBA 9119) und eine logarithmisch-periodische Antenne (Schwarzbeck USLP 9142) verwendet. Die Auswertung der Messergebnisse



Bild 1: Kammgenerator mit bikonischer Antenne

erfolgt bei diskreten Frequenzen des Kammgenerators. Die Messungen an realen Geräten sowie die Messungen mit einem vektoriiellen Netzwerkanalysator (im Frequenzbereich kontinuierlich) können aufgrund des Umfangs leider nicht in diesem Beitrag dargestellt werden.

2.2 Messungen in der Halbabsorberkammer (Semi-Anechoic-Chamber - SAC)

Der metallische Boden in der SAC wird mit Absorbern belegt und vor der Messung wird geprüft, ob die Messumgebung die Anforderungen der CISPR 16-4-1 [3] einhält (Bild 2).

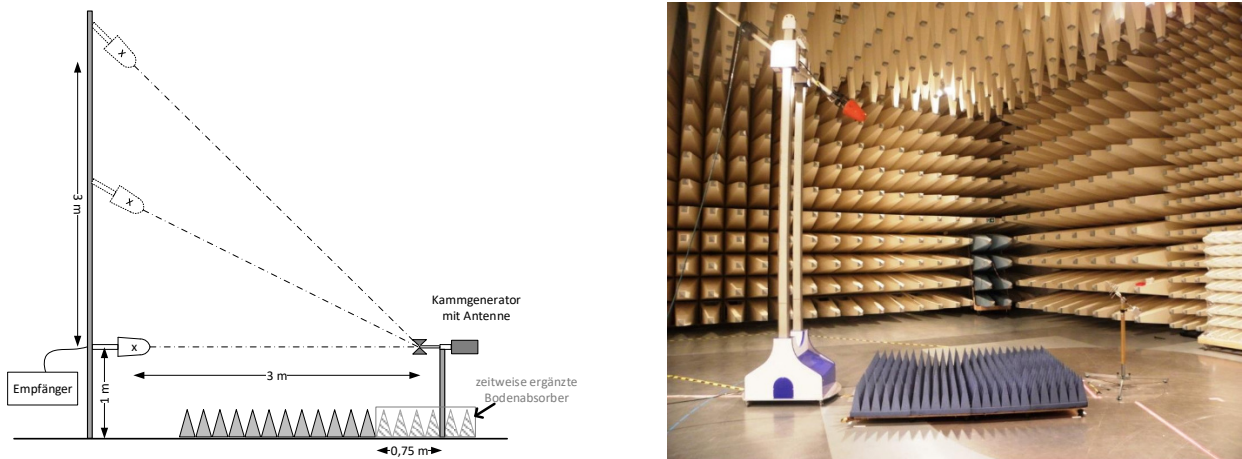


Bild 2: Schematischer Aufbau und Bild vom Messaufbau (Halbabsorberkammer)

Auf der Empfangsseite werden eine Doppelsteg-Breitband-Hornantenne (ETS Lindgren 3117) und eine V-Type-log.-per. Antenne (Rohde&Schwarz HL024) eingesetzt.

Mit den Antennen wird ein Höhengscan von 1 bis 4 m in 10 cm Schritten durchgeführt - mit und ohne Neigung (Tilting) der Empfangsantenne. Um den Einfluss der Bodenabsorber im Bereich des Prüflings darzustellen, wurden für einzelne Prüfungen weitere Bodenabsorber um den Prüfling ergänzt, wie in Bild 2 (links) dargestellt.

2.3 Messungen in der Vollabsorberkammer (Fully-Anechoic-Room - FAR)

In der 3 m Vollabsorberkammer werden mit unterschiedlichen Empfangsantennen (HL562, HF907, HL050E) u. a. Höhengscans von 1 bis 2,3 m mit einer Schrittweite von 2 cm aufgenommen. Weiterhin werden Azimutaldiagramme mit 1° Schrittweite gemessen.

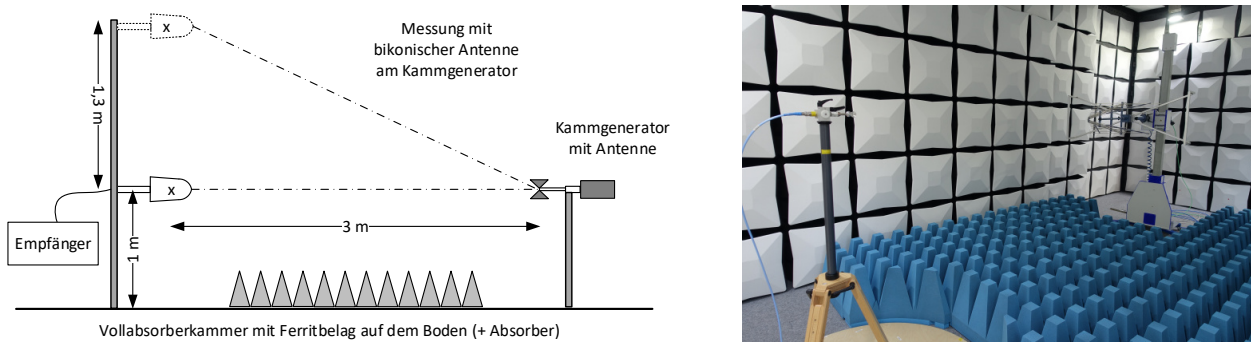


Bild 3: Schematischer Aufbau und Bild vom Messaufbau (Vollabsorberkammer)

3 Messergebnisse

3.1 Messungen in der Halbabsorberkammer (SAC)

Im Bild 4 (links) ist die beim Höhengscan von 1 – 4 m mit der ETS 3117 gemessene elektrische Feldstärke der bikonischen Antenne normiert auf die Messung bei 1 m Höhe der Empfangsantenne dargestellt

$$\Delta E = E_{\text{Messung_Höhenscan}} - E_{\text{Messung_1m}}$$

Auf diese Weise kann direkt abgelesen werden, ob beim Höhengscan höhere Werte der elektrischen Feldstärke gegenüber der Messung in 1 m Höhe gemessen werden können. Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, hätte auch eine Normierung auf 1,5 m Höhe der Empfangsantenne einen vernachlässigbaren Einfluss. Das wäre die typische Antennenposition bei einem 1,5 m hohen Prüfvolumen, das 0,75 m über dem Boden beginnt.

Bei allen Höhengscans ist zu erkennen, dass bei den betrachteten Frequenzen für horizontale und vertikale Polarisation nur eine maximale Überhöhung von ca. 1 dB gegenüber der Messung bei konstanter Empfangsantennenhöhe von 1 m auftritt. Diese Abweichung liegt im Bereich der Messunsicherheit und rechtfertigt keinen Höhengscan und somit auch nicht die Grenzwertleichterung.

Das Bild 4 (rechts) zeigt die Messung mit dem Tilten der Empfangsantenne. Wenn die Empfangsantenne beim Höhengscan getiltet wird, ist das Interferenzmuster deutlicher zu erkennen. Beim Tilten liegt die Reflexion des Bodens besser im Öffnungswinkel der Empfangsantenne. Dieser Effekt wird stärker, je schmaler der Öffnungswinkel der Antenne ist. Mehr als 1 dB Abweichung gegenüber der Messung in 1 m Höhe ist aber auch beim Tilten der Empfangsantenne nicht zu erkennen.

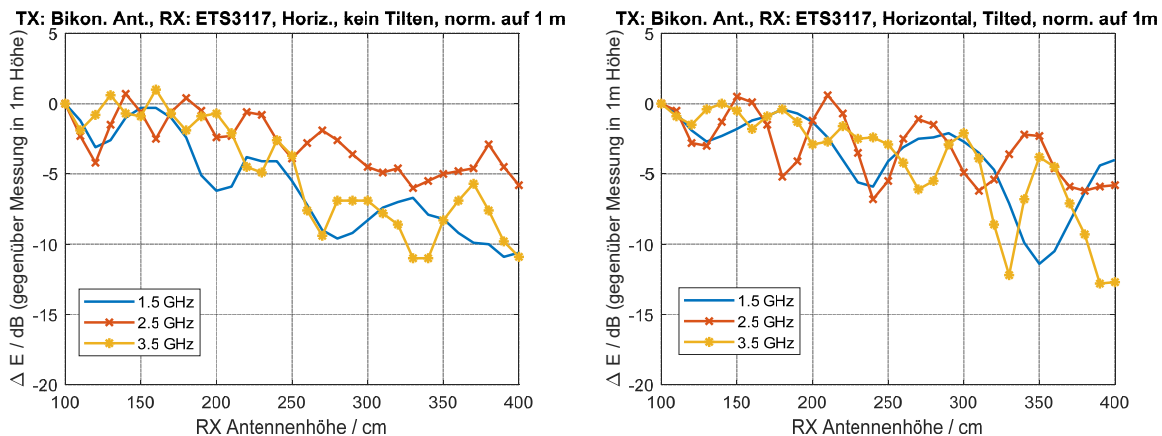


Bild 4: Abweichung beim Höhengscan gegenüber der Messung der Empfangsantenne auf nur 1 m (links: ohne Tilten der Empfangsantenne / rechts: mit Tilten der Empfangsantenne)

Wie in Bild 2 dargestellt, wurden auch zusätzliche Absorber auf die Metallfläche unterhalb des Prüflings bzw. der Sendeantenne gelegt. Bereits bei der dargestellten Feldstärke in Bild 5 (links) ist das Interferenzmuster gegenüber Bild 4 deutlich abgeschwächt. Im Bild 5 (rechts) ist die Abweichung gegenüber der Messung mit mehr Absorbern dargestellt

$$\Delta E = E_{\text{mehr_Absorber}} - E_{\text{Standard_Absorber}}$$

Jetzt ist das Interferenzmuster deutlich zu erkennen. Trotz der relativ großen Schrittweite des Höhenscans ist zu sehen, dass mit steigender Frequenz die Anzahl die Rippel (bzw. Nebenkeulen) zunimmt. Dieser Effekt wird in Abschnitt 4 weiter erläutert.

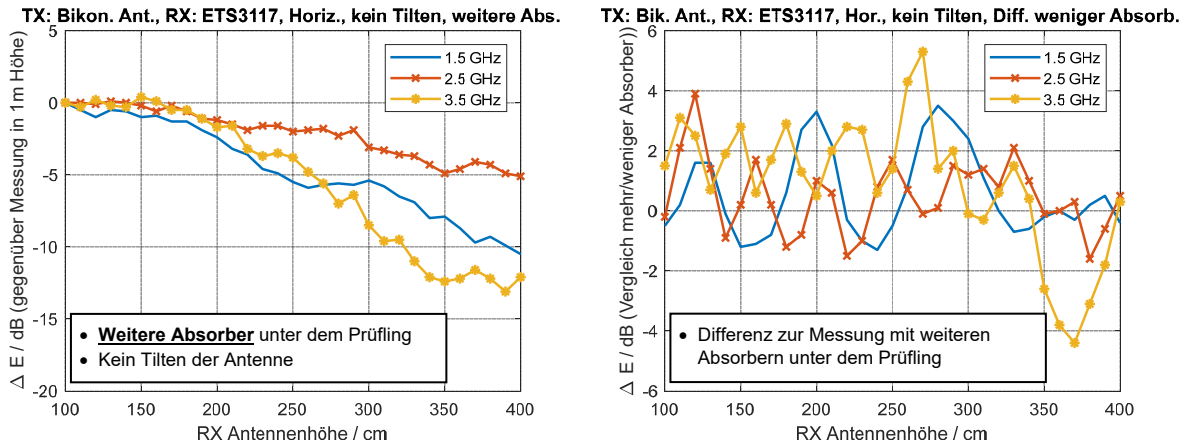


Bild 5: Ergänzung von weiteren Absorbieren im Bereich des Prüflings (links: gemessene Feldstärke normiert auf 1 m Höhe der Empfangsantenne / rechts: Differenz der gemessenen Feldstärke mit/ohne zusätzliche Absorbier)

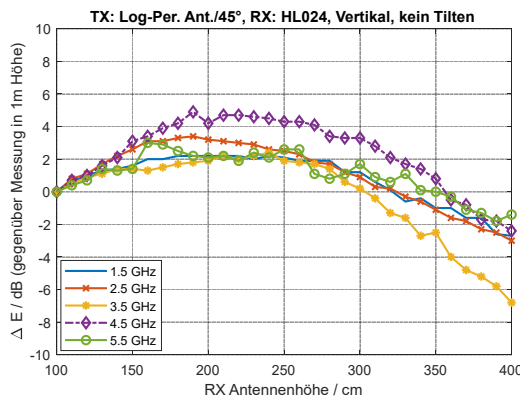


Bild 6: Antenne/Prüfling mit Richtwirkung

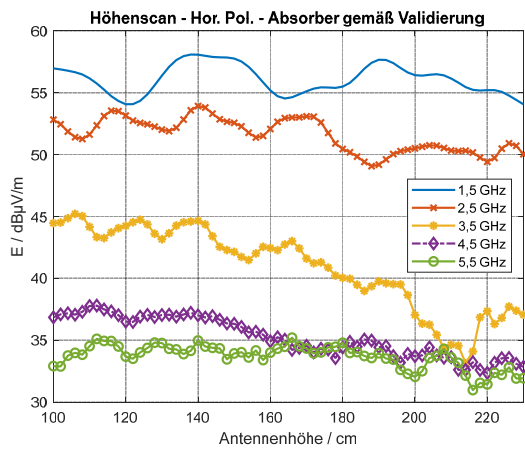
Anstelle der bikonischen Antenne wurde auch eine log-per. Antenne als Sendeantenne verwendet, die eine stärkere Richtcharakteristik besitzt. Bild 6 zeigt bei einem 45° Winkel zwischen Sendeantenne und Groundplane die Abweichung beim Höhenscan gegenüber der Messung in 1 m Höhe. Erwartungsgemäß kann mit dem Höhenscan auch das Strahlungsdiagramm aufgenommen werden. Damit steigt auch die Abweichung gegenüber der Messung in 1 m Höhe, wenn mit der Empfangsantenne die Keule der Sendeantenne überfahren wird. Das entspricht derzeit aber

nicht den Anforderungen der Norm [4] und es ist derzeit auch nicht das Ziel einer EMV-Prüfung, das vollständige Strahlungsdiagramm des Prüflings aufzunehmen. Dieser wichtige Punkt wird im Abschnitt 5 wieder aufgegriffen.

3.2 Messungen in der Vollabsorberkammer (FAR)

In einer Vollabsorberkammer erfolgten weitere Messungen. Der Höhenscan hat gegenüber der SAC eine Schrittweite von 2 cm. Begonnen wird mit Untersuchungen der bikonischen Antenne am Kammgenerator (Bild 1). Das Trägerrohr der Antenne hat einen Winkel von 45° gegenüber dem Hallenboden (Bild 7). Im Gegensatz zur Messung in der SAC werden jetzt die gemessenen elektrischen Feldstärken dargestellt, um auch den Verlauf über die veränderliche Empfangsantennenhöhe erkennen zu können.

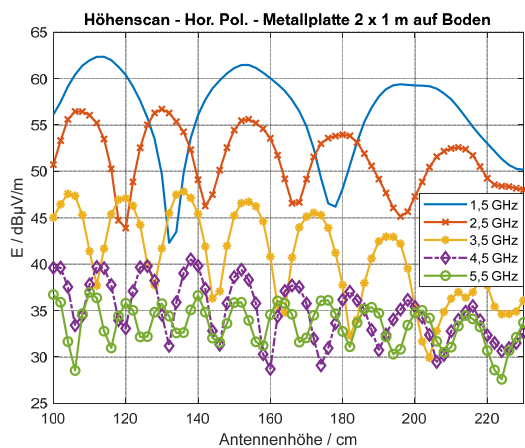
Um den Einfluss der Bodenreflexion auf den Höhenscan darzustellen, werden verschiedene Absorberlayouts gewählt. In Bild 7 ist die gemessene elektrische Feldstärke an fünf Frequenzen des Kammgenerators (1,5 / 2,5 / 3,5 / 4,5 / 5,5 GHz) dargestellt. Die Absorber entsprechen dem Layout bei Validierung der Kammer – bis auf die zusätzlichen Absorber links und rechts vom Drehtisch.



Sendeantenne im Mittelpunkt des Drehtisches

Bild 7: Gemessene elektrische Feldstärke beim Höhenscan (Absorber gemäß Validierung der Kammer)

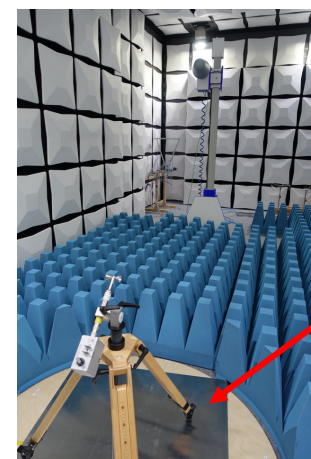
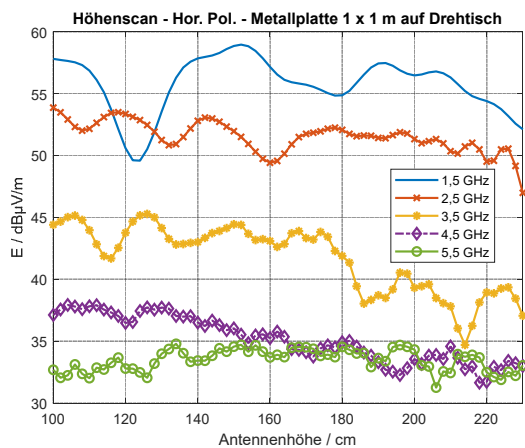
Um den Einfluss einer Reflexion zu zeigen, wurde eine 1 m x 2 m Aluminiumplatte zwischen Drehtisch und Empfangsantenne auf den Boden gelegt (Bild 8). Jetzt ist der Einfluss der Bodenreflexion sehr gut zu erkennen und direkt vergleichbar mit der für die Frequenz 1,5 GHz durchgeführten Simulation laut Bild 11 im Abschnitt 4.



Metallplatte (2 x 1 m) auf dem Ferritboden

Bild 8: Darstellung der gemessenen Feldstärke beim Höhenscan (mit einer Metallplatte auf dem Boden)

Dieser extreme Fall ist untypisch, aber um den Einfluss des metallischen Drehtisches einer Semi-Anechoic-Chamber zu zeigen, wurde in Bild 9 eine 1 m x 1 m große Aluminiumplatte auf den Drehtisch gelegt. Jetzt ist ein erheblicher Einfluss gegenüber Bild 7 (keine Metallplatte) festzustellen.



Metallplatte auf dem Drehtisch mit Holzplatte und Ferritbelag

Bild 9: Darstellung der gemessenen Feldstärke beim Höhenscan (mit Metallplatte auf dem Drehtisch)

Bild 10 zeigt die Differenzen der gemessenen Feldstärke bei den veränderten Prüfumgebungen. In Bild 10 (links) ist der Einfluss der großen Metallplatte auf den Höhenscan dargestellt mit positiven Abweichungen von über 7 dB bei 1,5 GHz. Aber auch die Metallplatte auf dem Drehtisch im Bild 10 (rechts) erzeugt Abweichungen von über 4 dB. Der Einfluss wird bei größeren Drehtischen in der Halbabsorberkammer deutlich größer – falls diese nicht ausreichend mit Absorbern belegt werden.

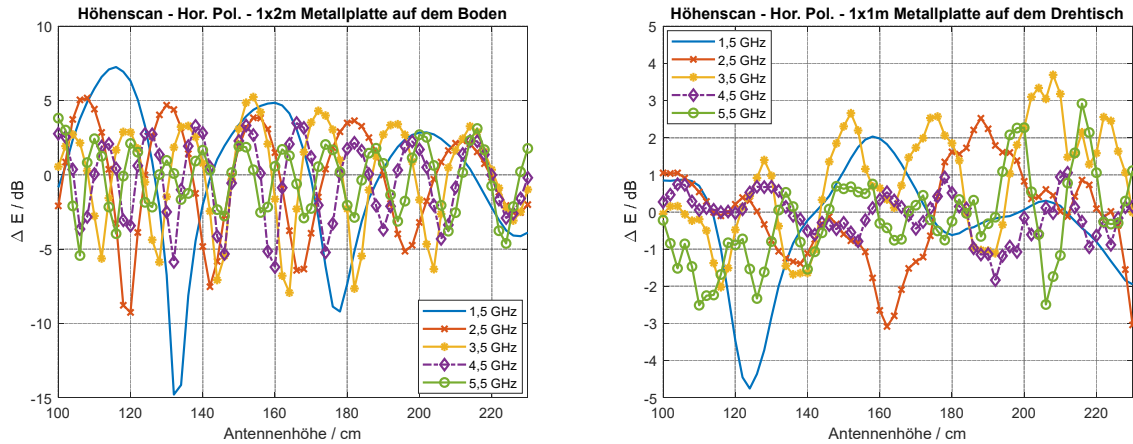


Bild 10: Abweichungen der gemessenen Feldstärke (links: mit großer 2 x 1 m Metallplatte / rechts: 1 m Metallplatte auf dem Drehtisch)

Die Rippel können weiter reduziert werden, falls die bikonische Antenne bzw. der Prüfling in einer größeren Höhe aufgebaut wird. In diesem Fall ist der Einfallswinkel auf die Bodenabsorber größer und die Reflexionsdämpfung steigt. Weiterhin sollten Absorber auf dem Drehtisch aufgestellt werden, um die Reflexion des Bodens zu verringern.

4 Untersuchung einzelner Einflussparameter

4.1 Einfluss der Bodenreflexion

Um die verschiedenen Einflussfaktoren trennen zu können, wird zunächst der Einfluss der Bodenreflexion betrachtet. Bei der idealen Reflexion ergeben sich für einen horizontal polarisierten 5 cm langen Dipol in 3 m Entfernung bei einer Höhe von 1 m die in Bild 11 dargestellten Verläufe der elektrischen Feldstärke. In Bild 11 (links) ist die elektrische Feldstärke normiert auf das Maximum für die Messung in einem Punkt im Freiraum bzw. über reflektierendem Boden dargestellt. Daneben kann die entstehende Interferenz auch im Raum gemessen werden. In Bild 11 (rechts) ist die elektrische Feldstärke normiert auf das Maximum bei einem Höhenscan von 1 bis 4 m für die Messung im Freiraum bzw. über reflektierenden Boden bei 1,5 GHz dargestellt. Diese Interferenz ist die Ursache der sichtbaren Rippel beim Höhenscan der Empfangsantenne. Damit wurde die Interferenz durch Bodenreflexion als Begründung für die Änderung des Messverfahrens präsentiert.

Erwartungsgemäß ergeben sich die hinsichtlich der Frequenz äquidistanten Minima und Maxima. Die Längendifferenz zwischen dem direkten und reflektierten Signalpfad beträgt

$$\Delta s = 2 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} - \frac{d}{2} \right) = 2 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{3 \text{ m}}{2}\right)^2 + (1 \text{ m})^2} - \frac{3 \text{ m}}{2} \right) \approx 0,606 \text{ m.}$$

Daraus ergibt sich ein Abstand der Minima bzw. Maxima von $\Delta f = \frac{c_0}{\Delta s} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,606 \text{ m}} \approx 495 \text{ MHz.}$

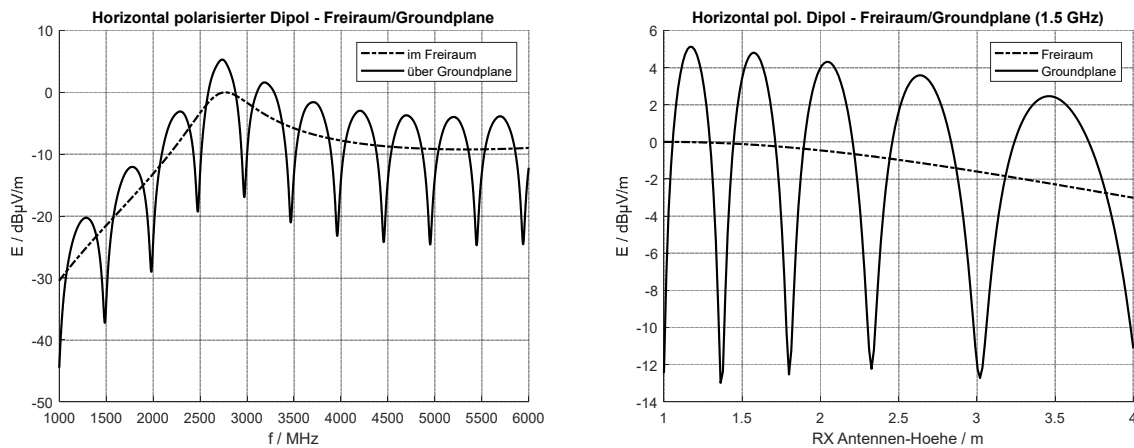


Bild 11: Links: Gemessenes E-Feld an einer Position / Rechts: Gemessenes E-Feld beim Höhenscan bei 1,5 GHz – jeweils für einen horizontalen Dipol

5 Zusammenfassung

Die in diesem Beitrag gezeigten Ergebnisse bestätigen, dass die bisher angenommenen Auswirkungen eines Höhenscans auf das Messergebnis Bestand haben. Die zur Änderung der Messmethode der CISPR 32 in CISPR/I präsentierten Ergebnisse sind auf einen unzureichenden und nicht den Forderungen der Basisnorm entsprechenden Absorberbelag des Drehtisches zurückzuführen. Die gemessenen Schwankungen der elektrischen Feldstärke beim Höhenscan gegenüber der Messung ohne Höhenscan ergeben sich durch Interferenz mit dem vom Boden reflektierten Signal. Die Schwankungen wären bei einer normkonformen Prüfung mit vernachlässigbarer Bodenreflexion gar nicht aufgetreten. Damit ist eine Änderung der Norm aus technischer Sicht nicht zu rechtfertigen. Da die Norm dennoch angenommen und veröffentlicht wurde, ist es dringend erforderlich, die durchgeführte Untersuchung zum Thema und ihre Übereinstimmung mit den bekannten physikalischen Wirkmechanismen transparent abzubilden.

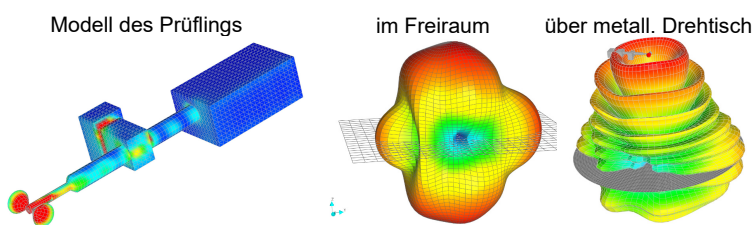


Bild 12: Strahlungsdiagramm des Prüflings im Freiraum und auf einem metallischen Drehtisch (1 m Durchmesser) in der SAC

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass mit steigender Frequenz die elektrische Größe des Prüflings wächst und damit auch das Strahlungsdiagramm komplexer werden kann [5-7]. Typischerweise wird oberhalb 1 GHz nur in einer Ebene gemessen. Damit wird das

Strahlungsdiagramm des Prüflings nur sehr grob abgetastet. Die Wahrscheinlichkeit ist gering, dass mit dem aktuellen Messverfahren in einer Ebene alle Maxima des Strahlungsdiagramms erfasst werden. Der nun eingeführte zeitaufwendige Höhenscan ist aber keine Lösung bzw. technisch und wirtschaftlich nicht sinnvoll. Mit dem Höhenscan kann nur ein Teil der Kugeloberfläche des Prüflings abgetastet werden. In Bild 12 sind beispielhaft die mit Concept berechneten Strahlungsdiagramme bei 1,5 GHz im Freiraum und oberhalb einer metallischen Drehschreibe mit 1 m Durchmesser dargestellt. Durch die Reflexion der Metallscheibe zeigt das Maximum des Strahlungsdiagramms plötzlich 70° nach oben und würde somit nicht vom Höhenscan erfasst. Deutlich effizienter wäre das Drehen des Prüflings um zweimal 90° und Messungen in den jeweiligen Ebenen, um die Maxima zu bestimmen. Damit würden die Messwerte auf der Prüflingsoberfläche verteilt aufgenommen werden. Weiterhin könnte in Abhängigkeit von der Frequenz und

der Prüflingsgröße bei einer verringerten Samplezahl das Messunsicherheitsbudget erhöht werden, um die Messung zeiteffizienter zu gestalten und stattdessen z. B. das zeitliche Verhalten der Signale untersuchen zu können.

Auf keinen Fall ergibt sich aus der in CISPR/I vorgelegten Begründung eine Grenzwert erleichterung. Die CISPR-Grenzwerte sind unabhängig vom Messverfahren zum Schutz der Funkdienste ausgelegt. Selbst wenn mit dem Höhenscan ein bisher unerfasstes Maximum ermittelt wird, weist dies lediglich auf eine unzureichende Auslegung des Messverfahrens hin. Dennoch sollte die technische Diskussion des Messverfahrens zukünftig auch in Verbindung mit dem Stör- und Kopplungsmodell gemäß CISPR 16-4-4 [8] erfolgen. Bisher wurde die mit steigender Frequenz komplexere Strahlungscharakteristik nicht gesondert betrachtet. Schmalere Keulen der Emission müssen bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsfaktoren ggf. berücksichtigt werden, da es unwahrscheinlicher wird, dass ein Störpfer damit beaufschlagt wird.

Der Beitrag zeigt einige Ansätze auf, die technisch weiter diskutiert werden sollten. Generell sind Änderungen in der Normung zu vermeiden, die ohne fundierte Begründung eingebracht werden und die, wie im vorliegenden Fall, zu einem erheblich erhöhten Messaufwand führen, ohne dabei eine technische Verbesserung darzustellen und dem Schutz oder der erhöhten Zuverlässigkeit der Funkdienste zu dienen.

6 Literatur

- [1] International Special Committee on Radio Interference (CISPR), sub-committee I: Electromagnetic Compatibility of Information Technology Equipment, multimedia equipment and receivers
- [2] CIS/1/586/CDV:2018-07 CISPR 32 Amd.1 f3 Ed.2.0 - Amendment 1 - CISPR 32: Electromagnetic compatibility of multimedia equipment - Emission
- [3] Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit - Teil 1-4: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit - Antennen und Messplätze für Messungen der gestrahlten Störaussendung (CISPR 16-1-4:2010 + Cor.1:2010 + A1:2012 + A2:2017); Deutsche Fassung EN 55016-1-4:2010 + A1:2012 + A2:2017
- [4] Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit - Teil 2-3: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit - Messung der gestrahlten Störaussendung (CISPR 16-2-3:2016); Deutsche Fassung EN 55016-2-3:2017
- [5] Battermann, S. and Garbe, H.: Subjects of discussion in radiated emission measurements above 1 GHz, *Adv. Radio Sci.*, 6, 299–301, <https://doi.org/10.5194/ars-6-299-2008>, 2008
- [6] Wilson, P., Holloway, C., Candidi, M., Comparisons of Planar vs Spherical Emissions Measurements for Unintentional Emitters, *IEEE International Symposium on EMC*, Minneapolis, August 2002, pp. 189.
- [7] Koepke, G., Hill, D., Ladbury, J., Directivity of the test device in EMC measurements, *IEEE International Symposium on EMC*, vol. 2, 2000, pp. 535 – 539.
- [8] CISPR TR 16-4-4:2007+AMD1:2017 CSV, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling - Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services calculation of limits for the protection of radio services