

Validierung von Feldstärke - Messplätzen im Frequenzbereich von 9 kHz – 30 MHz mit Rahmen-Antennen

Friedrich-Wilhelm Trautnitz Dipl. Ing. (Univ.), Albatross Projects GmbH, Team Technik, Nattheim, Deutschland

Jochen Riedelsheimer Dipl. Ing. (Univ.), Albatross Projects GmbH, Team Technik, Nattheim, Deutschland

1 Einleitung

In den letzten zwei Jahren wurde in der Ad Hoc < 30 MHz im CISPR A an der Ausarbeitung einer Beschreibung der Validierungsmethode und der Messmethode gearbeitet. Sowohl für die Validierungsmethode, als auch für die Messung von Prüflingen liegen mittlerweile Beschreibungen in Form von Entwürfen vor. Diese Entwürfe wurden im CISPR zur Diskussion gestellt und kommentiert. Nach wie vor ist die Einführung einer Validierungsmethode von Messplätzen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz eine fordernde Aufgabe. Der Round Robin Test (RRT) in 2011, durchgeführt vom AK 767.4.1 (AHF) hat zwar zur Information über das Verhalten von Prüfplätzen bei Anwendung einer gewissen Messmethode geführt, aber auch viele Fragen aufgeworfen. Der Artikel stellt den erarbeiteten Stand des Entwurfes zur Validierung dar und zeigt den weiteren Untersuchungsbedarf.

2 Validierung von Störfeldstärke - Messplätzen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz mit Rahmen - Antennen

Vorwort

Zur Vorbereitung eines Projektes für die Einführung einer Ergänzung der 16-1-4 für die Validierung von Störfeldstärkemessplätzen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz wurde in den letzten zwei Jahren ein Entwurf im Rahmen der Ad Hoc Gruppe < 30 MHz im CISPR A zur Diskussion gestellt [1]. In diesem Entwurf sind die Ergebnisse des RRT eingeflossen, Auswertungen, weitere Erkenntnisse und Simulationen. Die Struktur der CISPR 16-1-4 muss überarbeitet und ergänzt werden. Insbesondere die Kapitel 5 – 8 müssen umstrukturiert werden. Die Clause 5 wird zukünftig die Messplätze im Frequenzbereich 9 KHz bis 30 MHz enthalten, die Clause 6 30 MHz bis 1000 MHz, die Clause 7 1 bis 18 GHz und die Clause 8 die Common Mode Absorption Devices. Die bisherigen Clause 6 TEM cells und 7 reverberation chambers sollen gelöscht werden. Entsprechungen bzw. Normen finden sich in IEC 61000-4-20 für TEM cells und IEC 61000-4-21 für reverberation chambers. In den Terms, definitions and abbreviations werden einige Teile ergänzt. In 4 wird ein Referenz Punkt der Rahmenantenne eingeführt. Die wesentlichen Teile des CISPR A 1101 werden nachfolgend besprochen. Auswertungen zu den Messungen aus dem RRT werden gezeigt.

Messplätze zur Messung von gestrahlten Aussendungen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz

Nach der Definition verschiedener Terme im Entwurf des neuen Teiles der CISPR 16-1-4, wird auf die Umgebung des Messplatzes eingegangen. Insbesondere der leitende Boden wird ausführlicher beschrieben. Das wird als notwendig erachtet, da die Eindringtiefe bei der untersten Frequenz von 9 kHz deutlich größer ist. Bei 9 kHz ergeben sich Eindringtiefen für verzinkten Stahl von ca. 1 mm, Edelstahl von ca. 4,5 mm. Es wird eine minimale Größe des leitenden Bodens definiert. Diese Größe kann aus der Bild 2.1 entnommen werden.

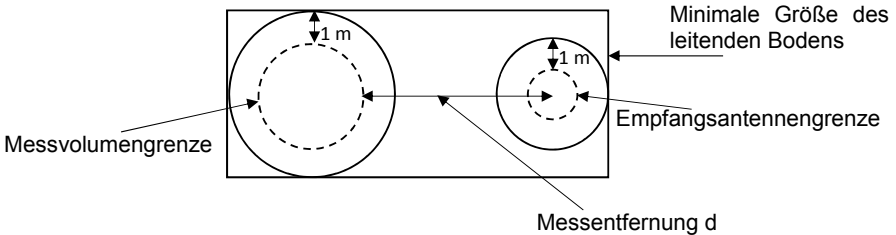


Bild 2.1: minimale Größe des leitenden Bodens

Außerdem wird ein Bereich definiert, innerhalb dessen keine Hindernisse sein dürfen. Dabei ist die minimale Distanz zwischen den Absorber Spitzen und der verbindenden Linie zwischen dem Test Volumen und der Empfangsantenne mindestens 3 m. Ob und wie diese Forderung zur hindernisfreien Zone in die Validierungsprozedur kommt, wird man sehen.

Ein resonanzfreier Bereich wird definiert und eine Formel zur Berechnung der resonanten Moden in einem rechteckigen Raum beschrieben. Wahrscheinlich wird dieser Paragraph informativ oder ganz aus dem Entwurf genommen.

Es wird gefordert, dass die Störgeräusche innerhalb des Messplatzes 6 dB unter dem jeweilig gültigen Limit liegen. Dabei ist ein etwaiger vorhandener Prüfling natürlich inaktiv.

Messentfernung und Prüflingsgröße:

In der Tabelle 2.1 sind die maximalen Prüflingsgrößen in Abhängigkeit zur Messentfernung angegeben. Hier muss man auch auf die Ad Hoc Gruppe EUT hinweisen, in der auch der Frequenzbereich < 30 MHz diskutiert wird.

Messentfernung in m	Maximale Prüflingsgröße	Maximale Prüflingshöhe
3	1,5	1,5
5	2,5	2,5
10	5	5

Tabelle 2.1: Prüflingsgröße in Abhängigkeit des Durchmessers und der Höhe

Die Form und die Konstruktion des Messtisches und das Standgestell der Empfangsantenne werden als unkritisch betrachtet, solange nichtleitendes Material

verwendet wird. Damit müssen Messtisch und Standgestell auch nicht auf Einflussnahme bei der Messung untersucht werden.

Validierungsprozedur des Messplatzes:

Ein Messplatz kann ein Freifeldmessplatz, ein Freifeldmessplatz mit Wetterschutzgehäuse oder auch eine Absorberhalle sein. Für einen Freifeldmessplatz mit Wetterschutzgehäuse und eine Absorberhalle erscheint es unzureichend nur an einer Stelle eine Validierungsmessung durchzuführen. Bei diesen Messplätzen muss ein Volumen validiert werden, ähnlich der Validierung im Frequenzbereich von 30 – 1000 MHz. Dabei werden 3 verschiedene Messanordnungen (H_x , H_y und H_z) der Sende- und Empfangsantennen an 5 verschiedenen Positionen im Volumen gemessen. Somit ergeben sich insgesamt 15 Validierungsmessungen. Der Referenzpunkt der Rahmenantennen ist mit einer Höhe von 1,3 Metern über dem leitenden Boden definiert. Der Mittelpunkt der Rahmenantenne ist hierbei der Referenzpunkt. Rahmenantennen mit einem Durchmesser von 30 bis 60 cm sind zulässig. Somit ist der Referenzpunkt bei der Validierungsmessung eindeutig festgelegt. Ein Höhenscan ist nicht erforderlich.

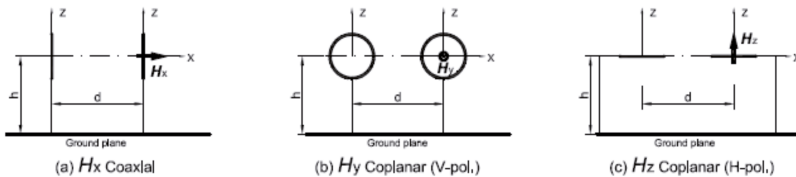


Bild 2.2: Generelle Anordnung der drei Anordnungen (H_x , H_y und H_z) der Sende- und Empfangsantennen über leitendem Boden (ground plane), d ist die Messentfernung und h ist der Referenzpunkt der Rahmenantenne bei der Messung

Die Schrittweiten bei der Validierung können aus Tabelle 2.2 entnommen werden.

Frequenzbereich	Schrittweite
9 kHz – 19 kHz	1 kHz
20 kHz – 145 kHz	5 kHz
150 kHz – 950 kHz	50 kHz
1 MHz – 30 MHz	100 kHz

Tabelle 2.2: Frequenzbereich und Schrittweite bei der Validierung

Jede Messung mit Spektrum- oder Netzwerkanalysator erfordert zwei Messungen. Zunächst wird die Kabeldämpfung gemessen und danach mit den Rahmenantennen die Messplatzdämpfung durchgeführt. Es sollte darauf geachtet werden, dass zwischen den Kabeln keine Kopplung stattfindet, speziell, wenn Verstärker im Leitungspfad verwendet werden müssen. Die Messkabel sollten mit Ferriten ausgerüstet sein.

Fünf Positionen werden im Volumen gemessen. Die Messentfernung wird dabei konstant gehalten.

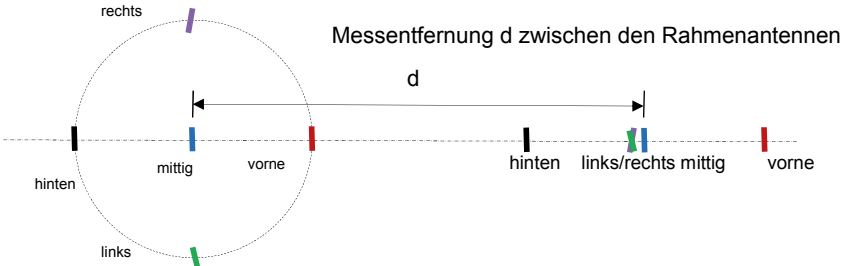


Bild 2.3a: typische Antennen Messpositionen mit der H_x Validierung und Rahmenantennen

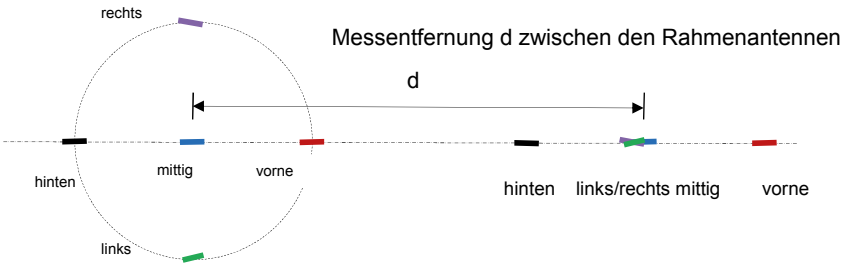


Bild 2.3b: typische Antennen Messpositionen mit der H_y Validierung und Rahmenantennen

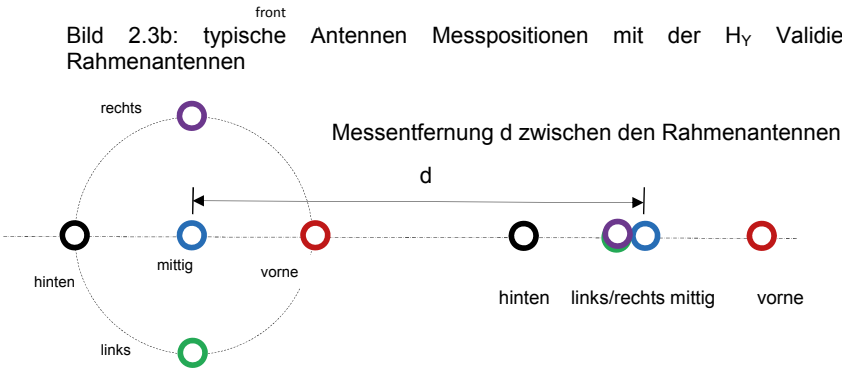


Bild 2.3c: typische Antennen Messpositionen mit der H_z Validierung und Rahmenantennen

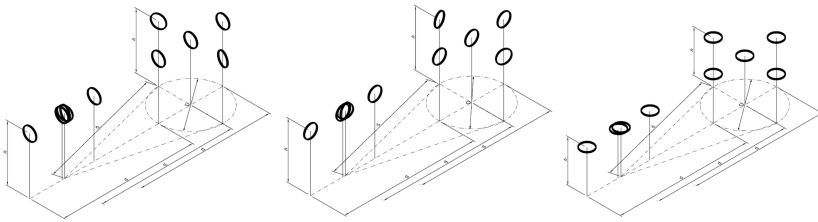


Bild 2.4a, b, c: perspektivische Anordnung der typischen Antennen Messpositionen der $H_x / H_y / H_z$ Validierung mit Rahmenantennen

Zur Bestimmung der Funkfelddämpfung sind zwei Methoden anwendbar.

Bei der ersten Methode wird die Übertragungsdämpfung bestimmt und mit den Antennenfaktoren, der normierten Funkfelddämpfung und der Messung der Kabeldämpfung in nachfolgender Gleichung die Abweichung der Funkfelddämpfung von der Theorie berechnet.

$$\Delta A_S = V_{Direct} - V_{SITE} - F_{A,TX} - F_{A,RX} - A_N; \quad (\text{Gleichung 1})$$

Wobei:

V_{Direct}	der Pegel der Kabeldämpfungsmessung ist
V_{SITE}	der Pegel mit angeschlossenen Rahmenantennen ist
$F_{A,TX}$	der Antennenfaktor der Sendeantenne ist
$F_{A,RX}$	der Antennenfaktor der Empfangsantenne ist
A_N	die theoretische Funkfelddämpfung ist
ΔA_S	die Abweichung von der theoretischen Funkfelddämpfung ist.

Sende – und Empfangsantenne sollen nach der CISPR 16-1-6 kalibriert werden.

Bei Messentfernungen z.B. bei 10 m kann es aus Gründen der Empfindlichkeit bzw. S/N Abstand notwendig sein, mit einem zusätzlichen Verstärker zu arbeiten.

Bei der zweiten Methode, der sogenannten Bezugsmessplatzdämpfung wird mit einem Antennenpaar auf einem Referenzmessplatz die Übertragungsdämpfung gemessen. Mit diesem Antennenpaar wird im Anschluss die Funkfelddämpfung eines Messplatzes überprüft. Die Differenz zwischen der Übertragungsdämpfungsmessung auf dem Referenzmessplatz und der Funkfelddämpfung des Messplatzes ergibt die Abweichung der normierten Funkfelddämpfung.

$$\Delta A_S = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR} \quad (\text{Gleichung 2})$$

A_{APR} ist die Referenzmessplatzdämpfung;

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Akzeptanzkriterium gewidmet werden. Im Jahr 2011 wurde von GAK 767.4.1 ein Round Robin Test (RRT) mit insgesamt fast 30 Laboren durchgeführt. Damals war das Ziel, erste Erfahrungen mit der Funkfelddämpfung im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz zu gewinnen. Die Validierung der Messplätze erfolgte damals mit dem Bezugsmessplatzdämpfungsverfahren in Ermangelung der NSA Werte für diesen Frequenzbereich. Außerdem wurde beim RRT festgestellt, dass die Lage des Einspeisepunktes der Rahmenantennen oberhalb ca. 5 MHz sehr stark in die NSA

Werte einget. Nichtsdestotrotz wurde im Papier CISPR A 1101 als Diskussionsgrundlage eine Tabelle für das Akzeptanzkriterium eingefügt (siehe auch Tabelle 2.3).

Messentfernung in m	Differenz zur Theorie
3	± 4 dB
5	\pm tbd dB
10	\pm tbd dB

Tabelle 2.3 Diskussionsgrundlage für das Akzeptanzkriterium des Messplatzes

Die nachfolgenden Diagramme zeigen eine Auswertung von Validierungsmessungen des RRT in 3 m Messabstand in unterschiedlichen Absorberhallentypen sowie für einen Freifeldmessplatz des letzten RRT.

Freifeldmessplatz 1 zu Freifeldmessplatz 2 Bilder 2.5 a, b, c, Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hybridabsorbern für 3 m Messentfernung Bilder 2.6 a, b, c, Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hybridabsorbern für 10 m Messabstand, Bilder 2.7 a, b, c, und Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hohlabsorbern für 10 m Messabstand, Bilder 2.8 a, b, c.

Bilder 2.5 a, b, c Freifeldmessplatz 1 zu Freifeldmessplatz 2 (OATS 10 m), Messentfernung 3 m

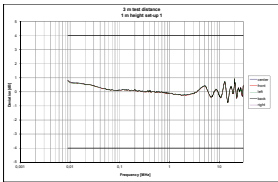


Bild 2.5 a: Anordnung H_x

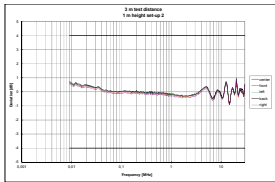


Bild 2.5 b: Anordnung H_y

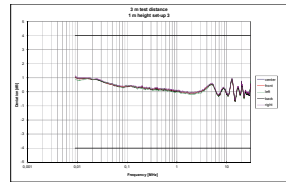


Bild 2.5.c: Anordnung H_z

Bilder 2.6 a, b, c Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hybridabsorbern (SAC 3 m), Messentfernung 3 m

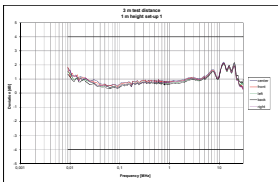


Bild 2.6 a: Anordnung H_x

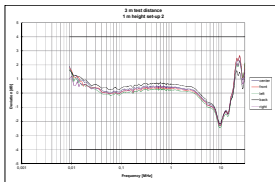


Bild 2.6 b: Anordnung H_y

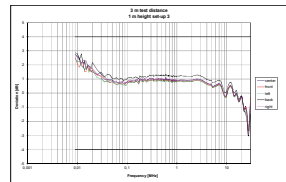


Bild 2.6 c: Anordnung H_z

Bilder 2.7 a, b, c Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hybridabsorbern (SAC 10 m), Messentfernung 3 m

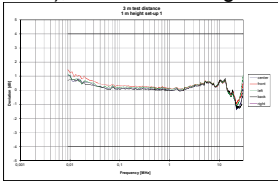


Bild 2.7 a: Anordnung H_x

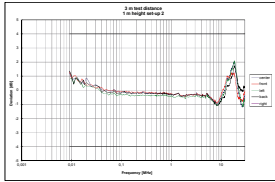


Bild 2.7 b: Anordnung H_y

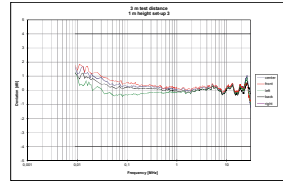


Bild 2.7.c: Anordnung H_z

Bilder 2.8 a, b, c Freifeldmessplatz 1 zu einer Absorberhalle mit Hohlabsorbern (SAC 10 m), Messentfernung 3 m

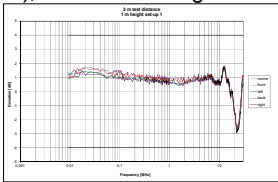


Bild 2.8 a: Anordnung H_x

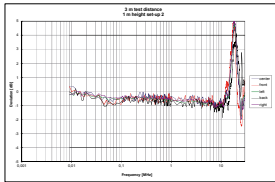


Bild 2.8 b: Anordnung H_y

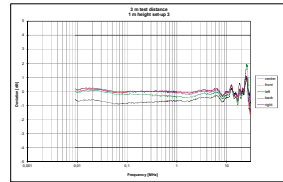


Bild 2.8.c: Anordnung H_z

Die Auswertungen wurden nach der RSM Methode durchgeführt und zeigen, dass in Absorberhallen mit Hybridabsorbern (kombinierte Absorber mit Ferriten und zusätzlichen Pyramidenabsorbern – hier Schaumstoffabsorber) es möglich ist, nach der vorgeschlagenen Methode ein ± 4 dB Abnahmekriterium zu erfüllen. Die Messungen in der Absorberhalle mit Hohlabsorber zeigen in der H_y Anordnung eine Abweichung die größer als ± 4 dB ist. Im nächsten RRT zu Beginn des Jahres 2016 werden nochmals Messungen in Absorberhallen für 3 m, 5 m und 10 m durchgeführt. Weitere Ausarbeitungen und Vorschläge zum Validierungskriterium werden dann im AHF erarbeitet.

Wie schon erwähnt, hat der RRT entscheidende Erfahrungen für die weitere Auswertung ergeben. Bei der Positionierung der Rahmenantennen ist insbesondere die Position des Einspeisepunktes zu beachten. Die Ausrichtung muss entsprechend der Berechnung der NSA vorgenommen werden, um zusätzliche Fehler auszuschließen. Dieses Verhalten ist schon beim RRT aufgefallen, als die Rahmenantennen bei verschiedenen Messungen unterschiedlich aufgestellt wurden. Berechnungen von verschiedenen Mitgliedern der Arbeitsgruppe im CISPR A aus Österreich und Japan haben gezeigt, dass die Lage des Einspeisepunktes der Rahmenantenne unbedingt zu berücksichtigen ist. Der AHF plant einen weiteren RRT Anfang 2016 auf ausgewählten Messplätzen, kalibrierten Rahmenantennen und vorab berechneten NSA Werten, bei dem auch der Einfluss des Einspeisepunktes der Rahmenantennen genauer untersucht werden soll. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen dem AHF als Grundlage zur Formulierung des Validierungskriteriums dienen, die in die Ad Hoc Gruppe der WG1 CISPR A eingespeist werden. Parallel dazu wurde in einer Ad Hoc Gruppe der WG2 CISPR A die Prüflings Messmethode [2] für die CISPR 16-2-3 erarbeitet.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem für die NSA Berechnungen vorliegen bzw. im Vorschlag Berechnungsmöglichkeiten auch für verschiedene Rahmenantennendurchmesser vorhanden sind, sind die Grundlagen für weiterführende Messplatzuntersuchungen vorhanden. In der letzten CISPR Ad Hoc Sitzung in Italien wurde vereinbart, dass weitere Untersuchungen zum Validierungskriterium speziell für die 5 m und die 10 m Messentfernung notwendig sind. Der AHF hat beschlossen, im Frühjahr 2016 einen weiteren RRT durchzuführen. Dazu sollen ausgewählte Messplätze bei den definierten Messentfernungen 3 m, 5 m und 10 m nach dem Vorschlag untersucht werden.

4 Literaturhinweise

[1]: CISPR/1101A/DC, Vorschlag Validierungsmethode von Messplätzen < 30 MHz

[2]: CISPR/A/1106/DC, Vorschlag Messung von Prüflingen < 30 MHz

[3]: CISPR/A/1107/INF, Kommentare zu CISPR A 1101

[4]: Trautnitz, F.-W., Riedelsheimer, J.: Erstellung eines Validierungsverfahrens für EMV Messplätze im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz mit Magnetfeldantennen, EMV Düsseldorf 2014