

Untersuchung von Validierungsverfahren für Messplätze zur Emissionsmessung von Fahrzeugen

Christoph Schwing, M.Sc., Universität Duisburg-Essen, IW/ETS
Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, Universität Duisburg-Essen, IW/ETS

1 Einleitung

Die Arbeit an einer geeigneten Methode zur Beurteilung von Messplätzen zur gestrahlten Störaussendungsmessung von Fahrzeugen ist seit einiger Zeit Thema in CISPR/D. In [1] ist eine Methode durch die Deutsche CISPR/D-Arbeitsgruppe im Rahmen eines Round-Robin-Tests vorgestellt worden, welche das Prüfvolumen durch eine Sendeantenne an sechs Positionen in je zwei Höhen untersucht. Durch die japanische CISPR/D-Arbeitsgruppe ist eine andere Methode vorgestellt worden, die nur eine Antennenposition zur Beurteilung des Messplatzes heranzieht. Beim Vergleich zeigt sich, dass die Herausforderung an das Validierungsverfahren in der Definition des Messplatzes zur Störaussendungsmessung von Kraftfahrzeugen nach CISPR 12 [2] besteht.

In CISPR 12 wird der Messplatz für die Störaussendungsmessung von Kraftfahrzeugen als ein im Freien gelegener Platz (OTS: outdoor test site), ohne metallische Gegenstände in einem Radius von 30 m definiert. Eine genauere Definition der Beschaffenheit des Bodens ist nicht gegeben. Alternativ dazu kann in einer Absorberhalle gemessen werden, wenn gezeigt werden kann, dass die Messungen dort den Messungen auf einer OTS entsprechen. Aus diesen Anforderungen sollte ein Validierungsverfahren im Idealfall eine Methode zur Beurteilung beider Messplatztypen zur Verfügung stellen und damit gleichzeitig einen Vergleich von Absorberhalle und im Freien gelegenen Messplatz erlauben.

Im Folgenden wird eine Methode vorgestellt und es werden Ergebnisse mit dieser Methode, sowie eine Abwandlung dieser Methode vorgestellt und diskutiert.

2 Validierungsmethode

2.1 Methode nach japanischem Vorschlag

Die für den Ringvergleich angewandte Validierungsmethode ist durch das japanische Spiegelkomitee im Papier [3] beschrieben. Dabei werden zwei gleiche Halbwellendipole eingesetzt, welche unterhalb von 80 MHz als verkürzte Dipole, darüber als resonant abgestimmte Dipole verwendet werden. Der Sendedipol ist dabei an der gedachten Fahrzeugaußenseite zur Messantenne hin in $h = 1,0$ m Höhe aufgestellt und der Empfangsdipol steht an der Stelle der Messantenne in $d = 3/10$ m Entfernung zur Sendeantenne in $h = 1,8/3,0$ m Höhe (siehe Abbildung 1). Wie bei Störaussendungsmessungen nach CISPR 12 ist auch für diese Validierungsmethode ein Höhenscan der Empfangsantenne nicht vorgesehen. So wird je nach Polarisation die Messantenne für bestimmte Frequenzen in Interferenzminima stehen, was sich als resonante Erhöhung der Messplatzdämpfung in den Messgraphen niederschlägt.

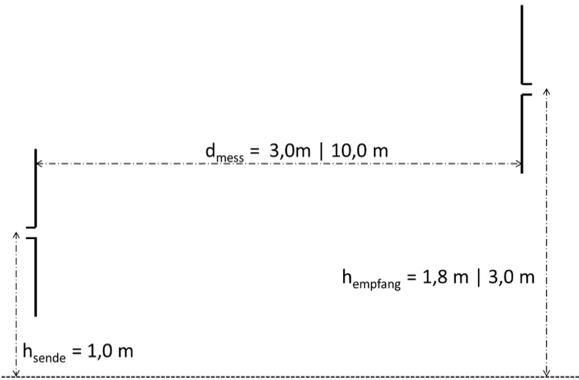


Abbildung 01: Validierungsaufbau, vertikale Antennenausrichtung

Damit der Aufwand durch das Umbauen für weitere Frequenzen nicht zu groß wird, werden die Messwerte für die Dämpfung zwischen den Antennen nur für eine diskrete Anzahl an Frequenzen ermittelt. Für Frequenzen von 30 MHz bis 50 MHz wird alle 5 MHz ein Messwert aufgenommen, von 50 MHz bis 100 MHz alle 10 MHz, von 100 MHz bis 200 MHz alle 20 MHz und darüber bis 1000 MHz alle 50 MHz. So erhält man eine Liste mit 31 Stützstellen der Dämpfung für eine Antennenpolarisation des Messplatzes. Für diese Diskretisierung sind auch Werte für die Messplatzdämpfung von Messplätzen, sowohl mit metallischem Boden, als auch mit asphaltähnlichem Boden im Papier des japanischen Spiegelkomitees angegeben.

2.2 Ringvergleich

Die Messungen für den Vergleich verschiedener Messhallen werden mit einem Vektor-Netzwerkanalysator durchgeführt, welcher mit 1601 Messpunkten zwischen 30 MHz und 1000 MHz viele Frequenzwerte aufnimmt. Um diese Ergebnisse mit den theoretischen Werten aus dem japanischen Papier vergleichen zu können, sind die exakten Frequenzen, falls nötig, aus den Daten des Netzwerkanalysators interpoliert worden. Dabei wird die Dämpfung in dB linear über die Frequenz interpoliert, unter der Annahme der Stetigkeit der Messplatzdämpfung. Für jede Messhalle wird der Netzwerkanalysator auf die Messleitungsenden kalibriert. Als Messleitungen werden RG 214-Leitungen bestückt mit Ferritkernen (Abstand alle 15 cm) eingesetzt, um Einflüsse durch Mantelwellen zu reduzieren.

Zur Berechnung der Messplatzdämpfung sind die Antennenfaktoren von Sendeantenne, AF_{TX} und Empfangsantenne, AF_{RX} notwendig. Die Messplatzdämpfung, A_N berechnet sich nach:

$$A_N = -S21 - AF_{TX} - AF_{RX} \quad (1)$$

Der so berechnete Wert der Messplatzdämpfung wird mit den im nächsten Kapitel vorgestellten theoretischen Werten verglichen. Wenn 90 % der Messwerte innerhalb von +/- 4 dB um die theoretischen Werte liegen, gilt der Messplatz als brauchbar.

Um den recht hohen Aufwand der Messungen mit den abgestimmten Halbwellendipolen einordnen zu können, wurde für jede Messhalle auch mit der vor Ort für Störaussendungsmessungen verwendeten Breitbandantenne (Kombinationen aus

Logarithmisch-periodischer Antenne und Bikonus-Element) und einer Kombination aus Bikonischer Antenne (30 – 300 MHz) und logarithmisch-periodischer Antenne (200 – 1000 MHz) gemessen.

2.3 Theoretische Werte

Die Messergebnisse des Ringvergleichs sind für den Halbwellendipol und die Breitbandantennen gegen die theoretischen Werte aus dem japanischen Papier dargestellt. Weiterhin sind mit einem numerischen Feldsimulationsprogramm (NEC2, Momenten-Methode) Vergleichswerte mit feinerer Frequenzauflösung berechnet worden. Abbildung 2 zeigt die theoretischen Werte für die 10 m Messdistanz:

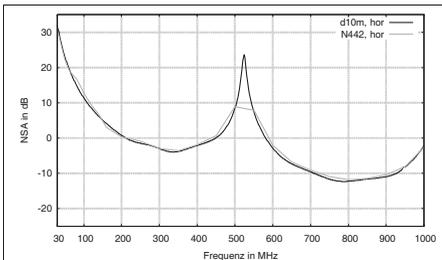


Abbildung 2: NSA, horizontale Polarisation

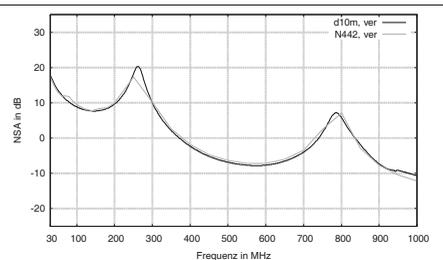


Abbildung 3: NSA, vertikale Polarisation

In Abbildung 2 und 3 lassen sich die resonanten Erhöhungen der Messplatzdämpfung aufgrund von Interferenzen bei Messung mit fester Antennenhöhe gut erkennen. Die Interferenzen ergeben sich aus dem Wegunterschied zwischen direktem und reflektiertem Strahl zwischen beiden Antennen. Für die in diesem Papier betrachtete Messdistanz von $d = 10$ m beträgt der Wegunterschied $\Delta s = 0,572$ m. Die Frequenzen der destruktiven Interferenzen berechnen sich nach (2), (3) und (4):

$$f_{res,hor} = \frac{c_0}{\Delta s} \quad (2)$$

$$f_{res1,ver} = \frac{c_0}{2 \cdot \Delta s}, \quad f_{res2,ver} = \frac{c_0}{3 \cdot \Delta s} \quad (3, 4)$$

Die Frequenz der Resonanzmaxima des Messaufbaus liegt bei horizontaler Polarisation bei $f_{res,hor} = 524,1$ MHz. Bei vertikaler Polarisation liegt die erste destruktive Interferenz bei $f_{res1,ver} = 262,1$ MHz und die zweite bei $f_{res2,ver} = 786,2$ MHz. An diesen Frequenzen lässt sich erkennen, dass eine Frequenzliste mit Vielfachen von 50 MHz nicht gut geeignet ist, um diese Resonanzstellen vollständig zu erfassen oder abzubilden.

3 Messergebnisse

Die nachfolgend dargestellten Messergebnisse sind in Messhallen mit 10 m-Messdistanzen ermittelt worden, die für die Messstrecke die NSA-Messplatzdämpfung nach CISPR 16-1-4 [4] für eine Messung mit Höhenscan einhalten.

Für die graphische Darstellung ist je nur eine Messhalle beispielhaft dargestellt worden, um die Übersichtlichkeit zu wahren.

3.1 Messergebnisse Halbwellendipole

Im Abbildung 4 bis 6 sind die Messungen mit den Halbwellendipolen zu sehen. Die Kreuze sind dabei die Messpunkte für die 31 geforderten Stellen nach japanischem Vorschlag. Die schwarze, gestrichelte Linie verbindet alle Messpunkte, um den Vergleich mit dem Toleranzband einfacher zu machen.

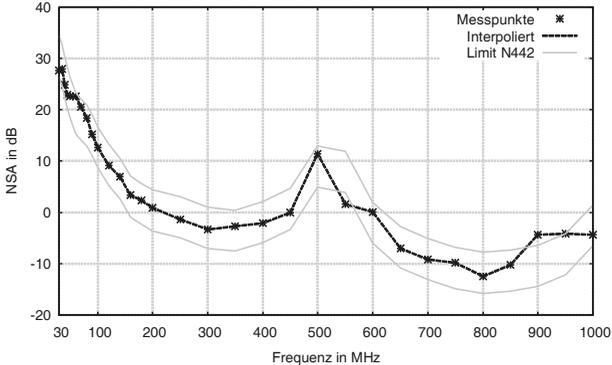


Abbildung 4: Halbwellendipol, horizontal

Abbildung 4 zeigt die Messung mit den Halbwellendipolen für die horizontale Polarisation. Hier sind zwei Messpunkte auszumachen, die nicht innerhalb des Toleranzbands liegen. Zum einen bei 550 MHz, also nach der Stelle der destruktiven Interferenz und bei 900 MHz.

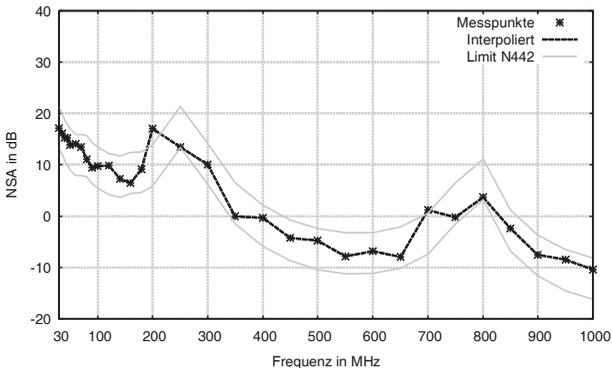


Abbildung 5: Halbwellendipol, vertikal

Für die vertikale Polarisation erkennt man Messpunkte außerhalb des Toleranzbands bei 200 MHz und bei 700 MHz. Diese Stellen liegen nahe, aber nicht direkt bei den Frequenzen der destruktiven Interferenz.

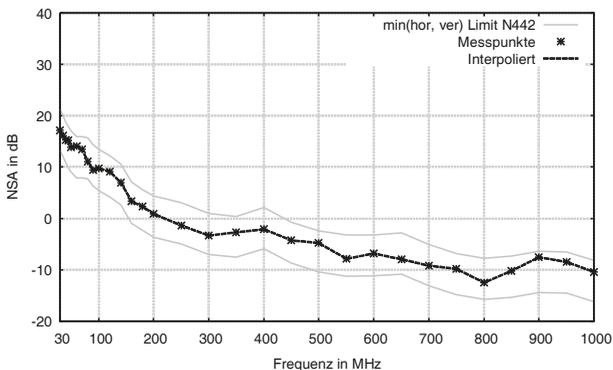


Abbildung 6: Halbwellendipol, Minimum(hor/ver)

Die Messergebnisse für die einzelnen Polarisationen zeigen, dass es Messpunkte außerhalb eines Toleranzbands von +/- 4 dB um die theoretischen Werte herum gibt. Im japanischen Papier wird gefordert, dass 90 % der Messpunkte innerhalb dieser Toleranz liegen sollen, das heißt bei 31 Messpunkten dürfen drei außerhalb liegen.

Die Bildung der minimalen Messplatzdämpfung beider Polarisationen soll hier einen weiteren Weg zur Interpretation der Messergebnisse zeigen. Für diese Methode liegen alle Messpunkte innerhalb der Toleranz. Diese Auswertung setzt jedoch voraus, dass eine Störaussendung nicht ausschließlich in einer Polarisationsebene existieren darf.

3.2 Messergebnisse Breitbandantennen

In Abbildung 7 bis 9 sind die Messungen mit einer UltraLog-Antenne und einer Paarung aus bikonischer und logarithmisch-periodischer Antenne dargestellt. Diese Kurven bestehen aus je 1601 Messpunkte, welcher der Netzwerkanalysator zwischen 30 MHz und 1000 MHz bereitstellt.

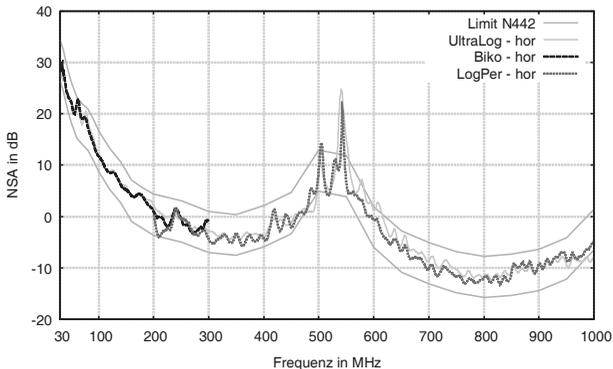


Abbildung 7: Breitbandantennen, horizontal

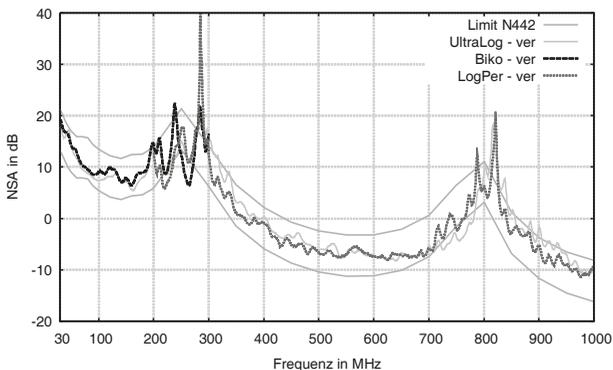


Abbildung 8: Breitbandantennen, vertikal

Die Kurven der Breitbandantennen aus Abbildung 7 und 8 zeigen, dass die feinere Frequenzauflösung mit diesen Antennen geeignet ist die destruktiven Interferenzen in der Messplatzdämpfung klar herauszuarbeiten. Die Unterschiede zwischen logarithmisch-periodischer Antenne und UltraLog-Antenne sind für die Frequenzen der Resonanzstellen minimal, beim Pegel sind es wenige Dezibel Unterschied. Der Vergleich der bikonischen Antenne mit der UltraLog-Antenne weist für die vertikale Messung bei ca. 250 MHz einige MHz Versatz der Resonanzfrequenz auf. Die ist durch das für diese Frequenzen weit hinten liegende Phasenzentrum der UltraLog-Antenne bedingt.

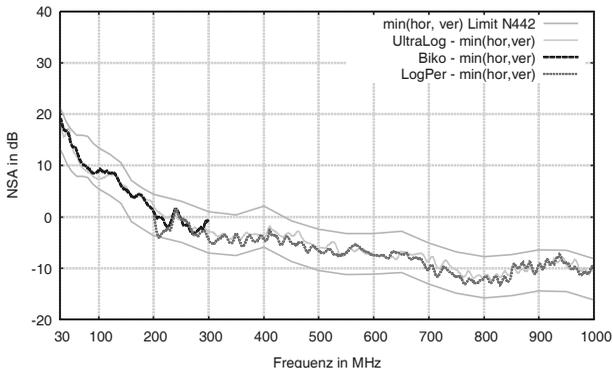


Abbildung 9: Breitbandantennen, Minimum(hor/ver)

Wendet man auch hier auf die Messungen der horizontalen und vertikalen Polarisation die Minimumbildung an, so liegen die Kurven gut innerhalb des Toleranzbands. Für die logarithmisch-periodische Antenne wird das Toleranzband bei ca. 205 MHz knapp unterschritten.

4 Übersicht der Messergebnisse

Die Ergebnisse des Ringvergleichs sind zur besseren Übersicht prozentual ausgewertet und in Tabellenform dargestellt. Die Messzeit für eine Validierung mit den Halbwellendipolen, ohne die Kalibrierung des Netzwerkanalysators, benötigt im Durchschnitt 3,5 Stunden Zeit. Eine Validierung mit den Breitbandantennen dauert pro Durchschnitt nur circa 15 Minuten.

Messplatz	UltraLog Antenne			Biko. + Log.-Per. Antennen			Dipole 31 Schritte		
	hor.	ver.	min(h,v)	hor.	ver.	min(h,v)	hor.	ver.	min(h,v)
SAR 1	88.4	69.2	86.6	90.3	75.4	94.8	67.7	77.4	93.6
SAR 2	93.6	90.4	99.9	92.3	90.4	99.9	90.3	77.4	90.3
SAR 3	95.4	92.3	99.6	96.9	90.9	99.6	87.1	90.3	96.8
SAR 4	84.5	80.1	94.6	87.2	81.5	97.3	83.9	77.4	87.1
SAR 5	88.2	80.5	100.0	96.4	92.1	100.0	93.6	93.6	100.0
SAR 6	90.8	80.4	92.6	91.6	83.8	96.4	80.7	77.4	80.7

Tabelle 1: Prozentuale Auswertung des Ringvergleichs

Mit Blick auf Tabelle 1 erkennt man, dass Messplätze mit guten Eigenschaften (SAR 2 und SAR 3) mit allen Antennen höhere Prozentwerte erreichen als Messplätze mit nicht ganz so guten Eigenschaften. Sieht man sich die Ergebnisse nach Polarisierungen getrennt an, so fällt auf, dass die horizontale Polarisation durchweg bessere Bewertungen aufweist, als die vertikale. Wird das Minimum der Messplatzdämpfung beider Polarisierungen bewertet, so erhält man Werte, die sehr gut im Toleranzband liegen, da hier die Eigenschaften der destruktiven Interferenzen bei dieser Auswertungsart ausgeblendet werden. Auffällig ist, dass die Halbwellendipole die niedrigsten Prozentwerte innerhalb des Toleranzbands aufweisen. Dies kann eine schlechte Eigenschaft der jeweiligen Messplätze sein, aber aufgrund der geringen Anzahl an Messpunkten werden hier bei nur 31 bewerteten Frequenzen einzelnen Ausreißer stärker bewertet als einzelne Ausreißer bei vielen Messpunkten.

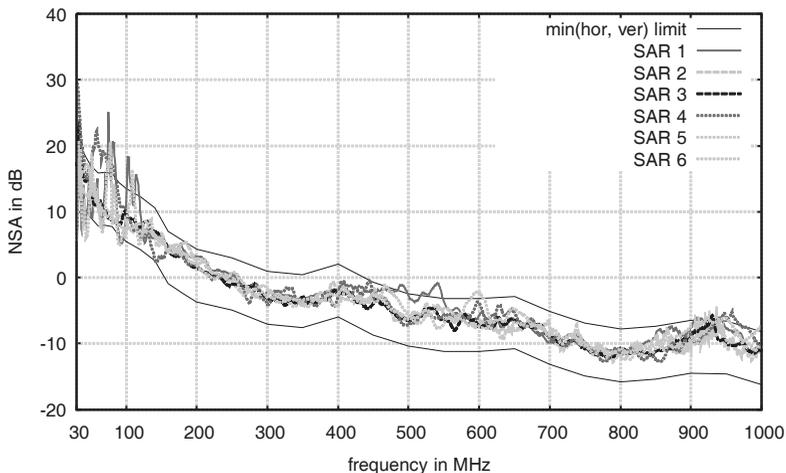


Abbildung 10: min(hor,ver) aller Messplätze, UltraLog-Antenne

5 Fazit

Die Erfahrungen aus dem Ringvergleich zeigen, dass die Dipolantennen mit festem Phasenzentrum wünschenswert sind, damit die Resonanzstellen des Messplatzes exakt für die theoretischen Werte vorhersagbar bleiben. Die lange Messdauer und der Aufwand beim Umbauen auf die jeweilige Messfrequenz sind jedoch nachteilig. Dem hingegen sind die Messungen mit einer oder zwei Breitbandantennen schneller, jedoch ist beim logarithmisch-periodischen Antennentyp kein fixes Phasenzentrum sichergestellt. Somit kann die Resonanzstelle von den theoretischen Werten abweichen, was eine Beurteilung des Messplatzes schwieriger macht. Betrachtet man aber auch die Dipolmessungen, fällt auf, dass dort die Resonanzstellen auch nicht exakt an den theoretisch berechneten Frequenzen liegen. Somit besteht das Vergleichbarkeitsproblem für beide Antennentypen in gewissem Maße und muss für eine Beurteilung von Messplätzen gelöst werden. Ein Lösungsansatz, der die Bewertung der Resonanzstellen umgeht kann die Bildung der minimalen Messplatzdämpfung aus horizontaler und vertikaler Polarisation sein.

Ich bedanke mich bei den Mitgliedern des Deutschen CISPR/D-Spiegelkomitees für die Bereitstellung der Messplätze und die freundliche Unterstützung bei den Messungen.

6 Literaturangaben

- [1] C. Schwing, H. Hirsch et al., "Validierung von Messplätzen für Störaussendungsmessungen von Fahrzeugen nach CISPR 12", Elektromagnetische Verträglichkeit emv 2012, VDE VERLAG GMBH Berlin, 2012, pp. 273-280
- [2] International standard CISPR 12:2007 + A1:2009, IEC
- [3] „Vehicle ALSE correlation to OTS test method“, CISPR/D Working Group Paper: CISPR/D/WG1 N442, 05.09.2014
- [4] International Standard CISPR 16-1-4:2010 + A1:2012