

# Messung der Störaussendung von Kraftfahrzeugen unterhalb von 30 MHz

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

## 1 Einleitung

Die Messung der gestrahlten Störaussendung von Kraftfahrzeugen mit dem Ziel der Fernstörung von Funkdiensten in Wohngebieten ist in CISPR 12 [1] beschrieben. Darin wird eine Messung des Frequenzbereichs zwischen 30 MHz und 1000 MHz dargestellt. Mit zunehmender Verbreitung von Fahrzeugen mit Elektro- und Hybridantrieben, sowie deren Ladevorgang kommt die Forderung auf, Methoden für den Frequenzbereich unterhalb von 30 MHz zu definieren. Denn speziell im Frequenzbereich von einigen Kilohertz bis zu wenigen 10 MHz sind die Aussendungen von schnell schaltenden Halbleiterventilen der Leistungsumrichter hoch und haben das Potential auch von einem Fahrzeug in nennenswertem Ausmaß abgestrahlt werden zu können. Die Notwendigkeit zur Ergänzung der Bewertung von abgestrahlter Störaussendung bei Elektro- und Hybridfahrzeugen ist auf CISPR-Ebene erkannt worden und ein Auftrag zur Erstellung eines Entwurfs für die neue Norm CISPR 36 [2] ist an CISPR/D erteilt worden. In CISPR/A wurde im Vorfeld und wird parallel zu der Arbeit in CISPR/D ebenfalls an Verfahren und Messmethoden zur Bewertung der gestrahlten Störaussendung für die CISPR 16-2-3 [3] und CISPR 16-1-4 [4] gearbeitet. Der Entwurf der CISPR 36 beinhaltet den im Freien gelegenen Messplatz als Referenzmessplatz und eine Messung in einer Absorberhalle ist alternativ, so wie es auch in CISPR 12 definiert ist. Auch für den Frequenzbereich unterhalb von 30 MHz muss die Vergleichbarkeit von Messungen auf einem im Freien gelegenen Messplatz und einer Messung in einer Absorberhalle gezeigt werden. Dazu muss auch ein Validierungsverfahren für den Frequenzbereich unter 30 MHz bereitgestellt werden. Im Folgenden wird das Messverfahren nach CISPR 36 vorgestellt und es wird ein mögliches Validierungsverfahren anhand von Simulation und Messergebnissen vorgestellt.

## 2 Messverfahren nach dem CISPR 36-Entwurf

Der in der CISPR/D-Arbeitsgruppe diskutierte Entwurf der CISPR 36 [2] definiert Messungen der magnetischen Feldstärke für den Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz. Die Messbandbreite beträgt 9 kHz für die Messung mit einem Messempfänger und 9 kHz oder 10 kHz für Messungen mit einem Spektrumanalysator. Die Messungen werden mit dem Spitzenwertdetektor durchgeführt und es sollen später noch Grenzwerte für die Messung mit dem Spitzenwertdetektor erarbeitet werden. Die Messantenne muss eine magnetfeldsensitive Rahmenantenne nach CISPR 16-1-4 sein. Als Messplatz kann ein im Freien gelegener Messplatz mit einem ungestörten Bereich ohne metallische Objekte mit einem Radius von  $r = 20$  m verwendet werden, oder alternativ dazu eine Absorberhalle. Für die Messung in einer Absorberhalle muss die Vergleichbarkeit zu Messungen auf einem im Freien gelegenen Messplatz gezeigt werden können.

Der Messaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt und zeigt die Messung der Störaussendung mit einem Messabstand von  $d = 3\text{ m}$  zwischen Messantenne (Referenzpunkt: Mittelpunkt der Rahmenantenne) und Fahrzeug. Es werden zwei Messungen je Fahrzeugseite durchgeführt, wobei die Messantenne senkrecht in  $d = 3\text{ m}$  Abstand zur Mitte der Fahrzeuglängsachse angeordnet ist. Eine Messung wird mit der Flächennormalen der Rahmenantenne auf das Fahrzeug hin gerichtet durchgeführt, die andere mit der Flächennormalen der Rahmenantenne parallel zur Fahrzeuglängsachse.

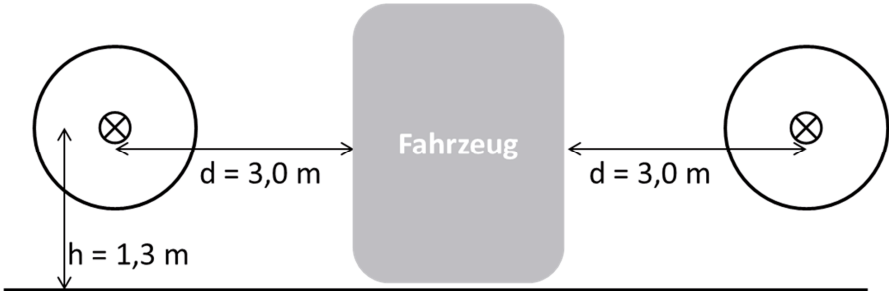


Abbildung 1: Messanordnung CISPR 36

## 2.1 Vergleich von CISPR 36 mit CISPR 16-2-3

Der Entwurf für Messungen der Störaussendung unterhalb von 30 MHz zur Ergänzung der CISPR 16-2-3 [2] weist sowohl Gemeinsamkeiten, als auch einige Unterschiede zu den Vorschlägen der CISPR/D auf.

Die CISPR/A-Arbeitsgruppe hat in ihren Entwürfen Messmethoden und Validierungsmethoden für Frequenzen ab 9 kHz definiert. Die Aufstellhöhe der Messantenne ist mit  $h = 1,3\text{ m}$  in beiden Arbeitsgruppen gleich gewählt worden, und bezieht sich auf die Höhe des Antennenmittelpunkts über dem Boden. Ein Höhenscan wird nicht gefordert. Die in CISPR/D verwendete Messdistanz von  $d = 3\text{ m}$  findet sich auch im Entwurf für die CISPR 16-2-3, hier wird das Prüfvolumen jedoch auf einen Durchmesser von  $1,5\text{ m}$  und eine Höhe von  $1,5\text{ m}$  eingeschränkt. Für größere Prüfvolumina werden Messdistanzen von  $d = 5\text{ m}$  und  $d = 10\text{ m}$  definiert. Während in CISPR/D der aktuelle Entwurfsstand nur zwei Ausrichtungen der Rahmenantenne bei der Messung vorsieht, definiert der Entwurf der CISPR 16-2-3 drei Raumrichtungen der Flächennormale der Rahmenantenne bei der Messung.

Einer der Hauptunterschiede liegt in der Wahl der Referenzmessplätze, wobei die CISPR 16-2-3 einen Messplatz mit metallischem Boden (OATS: open area test site) verwendet, während bei Fahrzeugmessungen noch keine Entscheidung für den im Freien gelegenen Messplatz mit nicht näher spezifizierten Bodenparametern (OTS: outdoor test site), aber ohne metallische Objekte oder eine OATS gefällt ist.

## 3 Blick auf CISPR 16-1-4

Die CISPR/A-Arbeitsgruppe hat für die Erweiterung der CISPR 16-1-4 auch bereits eine Methode zur Validierung von Messplätzen zur Störaussendungsmessung erarbeitet. Die Methode basiert auf zwei Rahmenantennen (eine Sende- und eine Empfangsantenne),

welche im Messabstand  $d = 3/5/10$  m gegenüber aufgestellt werden. Dabei werden beide Antennen in einer Höhe von  $h = 1,3$  m und in derselben Ausrichtung aufgestellt. Abbildung 2 zeigt die 3 möglichen Ausrichtungen Koaxial, Koplanar (horizontal) und Koplanar (vertikal).

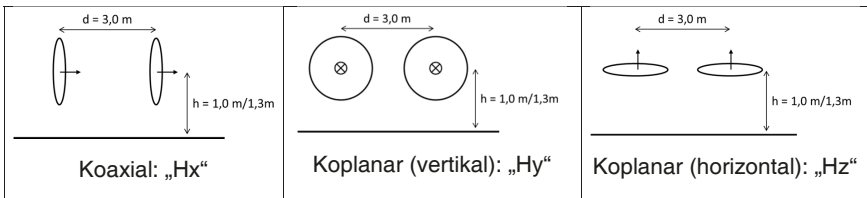


Abbildung 2: Ausrichtungen der Rahmenantennen

Durch die Messung der Dämpfung zwischen beiden Antennen, zum Beispiel mit einem Netzwerkanalysator, und der anschließenden Korrektur der Messwerte mit den magnetischen Antennenfaktoren ( $F_{TX}$ ,  $F_{RX}$ ), lässt sich die Dämpfung des Messplatzes ermitteln.

Für die theoretische normierte Messplatzdämpfung  $A_N$  sind in [3] mit NEC2 simulierte Werte für Messplätze mit metallischem Boden angegeben. Da im Entwurf der CISPR 36 die elektrischen Eigenschaften des Messplatzbodens noch nicht definiert sind, wurden für asphaltähnliche Bodenparameter (OTS) und auch informativ für den Freiraum (FAR), ebenfalls NEC2-Simulationen erzeugt. Abbildungen 3 bis 5 zeigen die normierten Messplatzdämpfungen in der Einheit  $\text{dB}(\text{m}^2/\text{S}^2)$ :

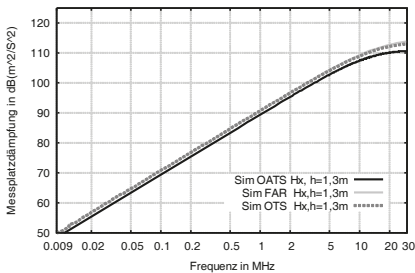


Abbildung 3: Hx-Ausrichtung

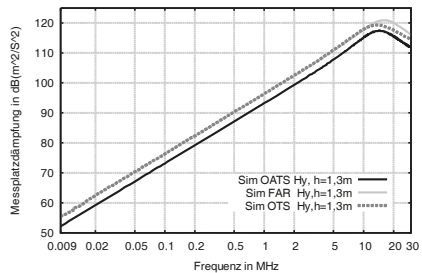


Abbildung 4: Hy-Ausrichtung

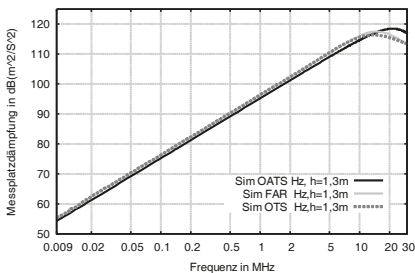


Abbildung 5: Hz-Ausrichtung

Es ist zu erkennen, dass der Messplatz mit realen Bodenparametern (mit OTS:  $\epsilon_r = 3$ ,  $\sigma = 0.0001$  S/m) sich bis 10 MHz hinauf, genau wie ein Freiraummessplatz verhält. Erst oberhalb von 10 MHz bei Hy- und Hz-Ausrichtung sind größere Abweichungen zwischen OTS und Freiraum auszumachen. Alle drei hier vorgestellten Simulationsergebnisse der Messplatzdämpfung weisen einen großen Wertebereich von etwa 70 dB über das Frequenzband von 9 kHz bis 30 MHz auf. Somit sind Unterschiede zwischen Messplätzen in dieser Darstellungsart schlecht zu erkennen. Daher wird für die folgenden realen Messungen die Abweichung zum simulierten theoretischen Wert über die Frequenz nach Formel (2) dargestellt.

$$\Delta A_N = A_{N,Messung} - A_{N,theoretisch} = -S_{21} - F_{TX} - F_{RX} - A_{N,theoretisch} \quad (2)$$

### 3 Orientierende Validierungsergebnisse

Durch das deutsche Spiegelkomitee der CISPR/D werden erste orientierende Untersuchungen von Messplätzen durchgeführt mit der von CISPR/A erarbeiteten, und in Kapitel 3 vorgestellten Nachweismethode.

Das verwendete Messequipment besteht aus einem Vektornetzwerkanalysator mit Kalibrierset, einer aktiven, magnetischen Rahmenantenne und einer selbst angefertigten Sende-Rahmenantenne von 60 cm Durchmesser. Vor den Messungen auf jedem neuen Messplatz ist der Netzwerkanalysator auf die Messleitungsenden in den Messhallen kalibriert worden. Die Sendeantenne ist an die Position auf den Drehtellern gestellt worden, wo üblicherweise die Mitte der Fahrzeugseite zur Messantenne hin positioniert ist. Die Empfangsantenne wurde in  $d = 3$  m Abstand senkrecht zur gedachten Fahrzeuglängsachse aufgestellt. Es sind nacheinander die Dämpfung der drei verschiedenen Ausrichtungen der magnetischen Rahmenantennen gemessen worden. Die Ausrichtungen Hx und Hy sind für mehr Messplätze gemessen worden als Hz, da die Entscheidung, die Ausrichtung Hz ebenfalls zu messen, erst im Verlauf der Messkampagne gefallen ist.

Im Folgenden werden die Abweichungen der Messungen der Messplätze, bezogen auf die numerische Simulation der normierten Messplatzdämpfung  $A_N$  angegeben.

#### 3.1 Messergebnisse Absorberhallen

In diesem Abschnitt werden die Abweichungen der Messplatzdämpfung von verschiedenen Messhallen zur simulierten theoretischen Messplatzdämpfung für die einzelnen Ausrichtungen der Antennen dargestellt.

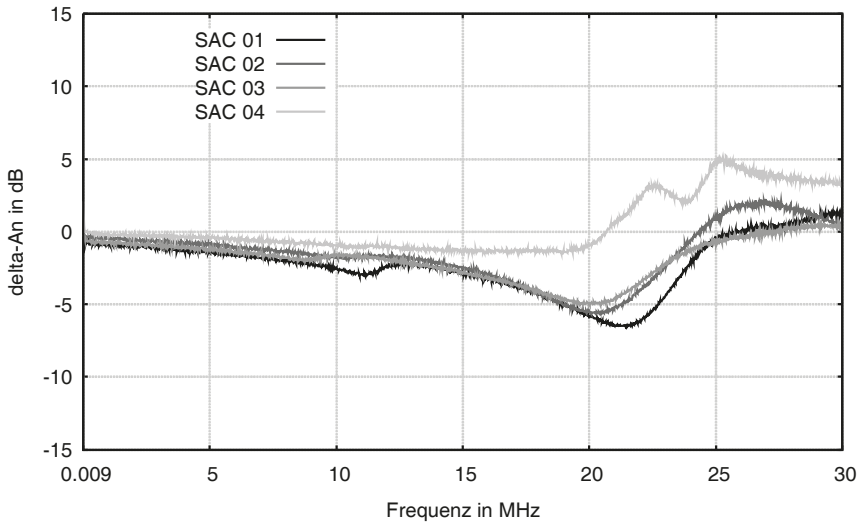


Abbildung 6: Hx-Ausrichtung,  $d = 3$  m,  $h = 1,3$  m

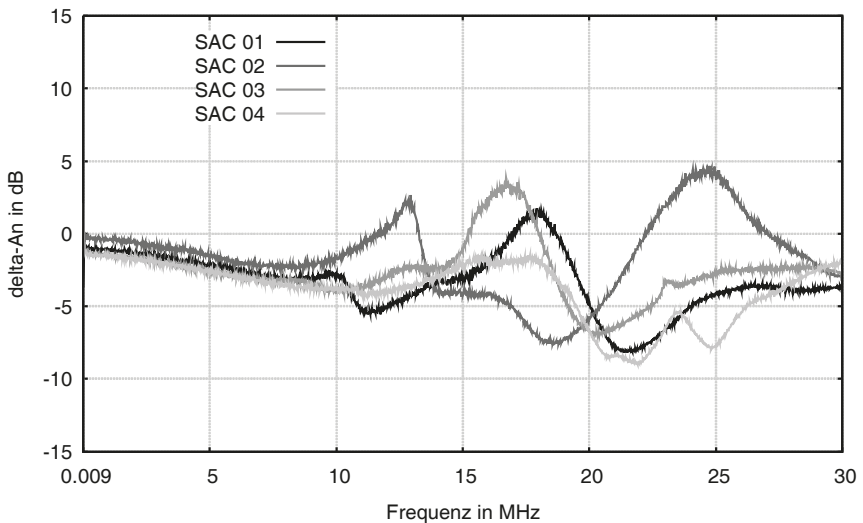


Abbildung 7: Hy-Ausrichtung,  $d = 3$  m,  $h = 1,3$  m

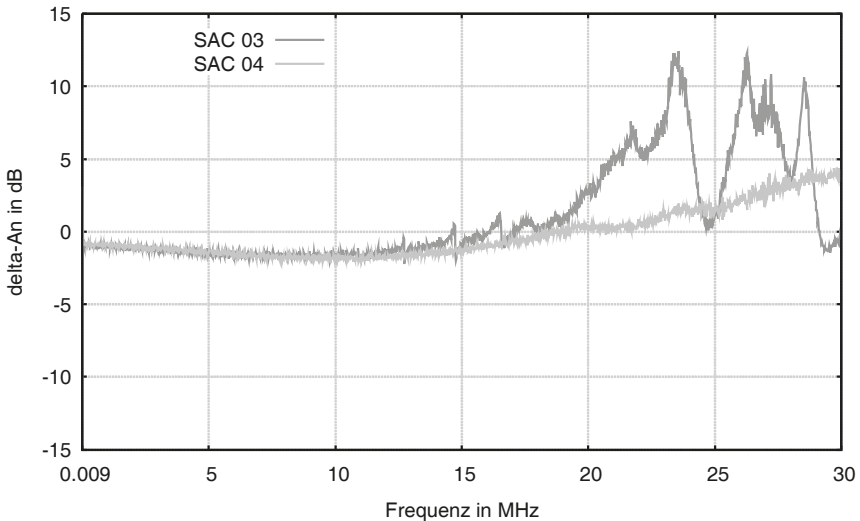


Abbildung 8: Hz-Ausrichtung,  $d = 3 \text{ m}$ ,  $h = 1,3 \text{ m}$

Die Ergebnisse für die koaxiale Ausrichtung  $H_x$  der Messantennen zeigt für die vier Absorberhallen geringe Abweichungen zur normierten Messplatzdämpfung bis hinauf zu 15 MHz. Darüber weichen SAC 1 bis 3 deutlicher vom theoretischen Wert ab. SAC 4 als einzige Halle mit Hybridabsorbern zeigt geringe Abweichungen von  $A_N$  bis über 20 MHz. In koplanarer, vertikaler Ausrichtung  $H_y$  zeigen SAC 1 bis 3 geringe Abweichungen von  $A_N$  bis 10 MHz, SAC 4 bis etwa 20 MHz. Für die koplanare, horizontale Ausrichtung  $H_z$  zeigt SAC 3 geringe Abweichung von  $A_N$  bis 20 MHz, SAC 4 zeigt geringe Abweichungen bis fast 30 MHz hinauf.

Die Messergebnisse zeigen, dass bei den hier untersuchten 10 m-Messhallen die Absorbertypen von 9 kHz bis über 10 MHz keinen Einfluss auf die Messplatzdämpfung nehmen. Für Frequenzen zwischen 10 MHz und 20 MHz weisen die Hallen mit Pyramidenabsorbern stärkere Abweichungen von  $A_N$  auf, während die Halle mit Hybridabsorberbestückung bis hinauf zu 20 MHz geringe Abweichungen aufweist und erst darüber deutlicher von der theoretischen Messplatzdämpfung  $A_N$  abweicht.

## 3.2 Messergebnisse geschirmte Hallen

Um ein Ausschlusskriterium für die Güte eines Messplatzes zu entwickeln, ist ein Blick auf eher ungeeignete Messplätze für gestrahlte Störaussendungsmessungen sinnvoll. Dafür wurden die geschirmten Räume mit dem Validierungsverfahren gemessen. Schirmraum 1 ist 20 m mal 20 m und 16 m hoch, Schirmraum 2 ist 10 m mal 5 m und 5 m hoch.

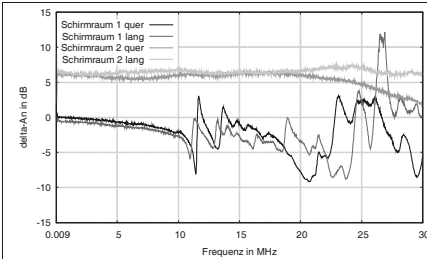


Abbildung 9: Hx-Ausrichtung

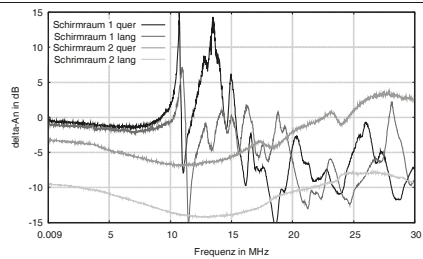


Abbildung 10: Hy-Ausrichtung

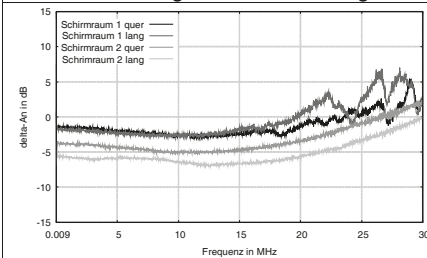


Abbildung 11: Hz-Ausrichtung

An den Ergebnissen für den großen Schirmraum 1 ist auch bei diesen Messungen zu erkennen, dass die Messplatzdämpfung bis hinauf zu 10 MHz nur sehr gering von der theoretischen Messplatzdämpfung  $A_N$  abweicht. Oberhalb 10 MHz zeigen besonders die Hx- und Hy-Ausrichtungen scharfe Resonanzstellen, welche zum Teil den Hohlraumresonanzen der Halle entsprechen. Die Hz-Ausrichtung weist erst ab 20 MHz größere Abweichungen von  $A_N$  auf, vermutlich da der metallische Schirm der Hochspannungshalle nicht auf dem Boden der Halle schließt, sondern bis in den Keller hinunter geht.

Dahingegen hat Schirmraum 2 den metallischen Schirm direkt auf Bodenniveau geschlossen. Es weisen alle Messkurven starke Abweichungen von  $A_N$  auf, wobei hier keine deutlichen Hohlraumresonanzen zu erkennen sind, da diese erst oberhalb von 30 MHz liegen. Ein solcher Messraum sollte bei einer Validierungsmethode als nicht brauchbar bewertet werden müssen.

## 4 Fazit und Ausblick

Mit den neuen Ansätzen gestrahlte Störaussendung auch unterhalb von 30 MHz zu bewerten, wird dem Bedarf an Messmethoden für diesen Bereich entsprochen. Es wurde die Messmethode der kommenden CISPR 36 vorgestellt und mit der Messmethode für die Ergänzung der CISPR 16-2-3 verglichen. Die Bodenbeschaffenheit des Referenzmessplatzes der CISPR 36 ist noch nicht abschließend geklärt, daher sind auch für den OTS-Boden Kurven für die Messplatzdämpfung berechnet und gegen die Kurven für Messplätze mit metallischem Boden dargestellt. Weiterhin sind Ergebnisse der Validierungsmessungen für vier Absorberhallen und zwei geschirmte Räume dargestellt worden, um die Diskussion über ein Gütekriterium der Validierungsmethode für die CISPR 36 anzuregen.

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

## 3 Literaturangaben

- [1] International Standard CISPR 12:2007 + A1:2009, IEC
- [2] CISPR/D/WG1/TF LF/N009, Draft CISPR 36: „Electric and hybrid road vehicles – radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers below 30 MHz“, CISPR/D Task Force Low Frequency, IEC
- [3] International Standard CISPR 16-2-3, IEC
- [4] International Standard CISPR 16-1-4, IEC