

Analyse der verschiedenen Konstellationen in CISPR 25 Aufbau für die abgestrahlte Störaussendungsmessung von 150 kHz bis 30 MHz

Oussama Sassi, Volkswagen AG, EMV-Zentrum Wolfsburg, Deutschland
Anna Gheonjian, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Badri Khvitia, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Diana Eremyan, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Zviad Kutchadze, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Giorgi Kapanadze, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Roman Jobava, EMCoS Ltd, Tbilisi, Georgien
Schleicher Detlef, Volkswagen AG, EMV-Zentrum Wolfsburg, Deutschland

1 Einleitung

In modernen Fahrzeugen ist die Zahl der Steuergeräte, Sensoren und Aktuatoren erheblich gestiegen. Jede Komponente soll aus EMV-Sicht geprüft und freigegeben werden. Die Messung der gestrahlten Störaussendung auf Komponentenebene soll nach CISPR 25 durchgeführt werden. In der Entwicklungsphase kann die Störemission mit Hilfe der 3D-Feldsimulation geprüft werden. Somit können EMV-Probleme schon frühzeitig festgestellt und Maßnahmen dafür entwickelt werden.

Um die Entwicklungsphase zu beschleunigen, kann mit Hilfe eines virtuellen CISPR 25 Messaufbau-Modells die abgestrahlte Störaussendung einer neu entwickelten Komponente basierend auf einem Ersatzschaltbild bewertet werden. Im ersten Abschnitt dieses Beitrages wird ein Schaltungsmodell für einen CISPR 25 Messaufbau vorgestellt und durch ein entsprechendes 3D-Modell sowie Messung validiert. Anschließend werden die Einflussparameter des Messaufbaus untersucht und die optimale Konstellation für die CISPR 25 Messung der abgestrahlten Störaussendung ermittelt.

2 Beschreibung des CISPR 25 Messaufbaus

In der Entwicklungsphase muss die gestrahlte Störaussendung einer Komponente nach CISPR 25 gemessen werden. Die Messanordnung der Störemission ist in [1] definiert. Im Bereich 150 kHz bis 30 MHz wird eine Monopolantenne verwendet, um die Störungen in vertikaler Polarisation zu messen. Auf einem metallischen Messtisch sollen Prüfling, Spannungsversorgung und Lastnetznachbildung platziert werden. Zudem fordert CISPR 25, dass der Kabelbaum wie folgt verlegt werden soll. Die Höhe über dem Messtisch beträgt 50 mm. Der Prüfkabelbaum ist 1500 mm lang und 1000 mm von der Messantenne entfernt. In Bild 1 wird die Messkonfiguration des gesamten Aufbaus in einer Absorberhalle dargestellt. Die Anbindung des Messtisches an die Hallenmasse bleibt allerdings undefiniert. Zudem ist die Länge der Antennenleitung von der Position des Durchführungsanschlusses und der Größe der Messhalle abhängig. Darüber hinaus ist der Abstand der Antennenleitung zum Hallenboden undefiniert. Dies führt zu einer

gewissen Messunsicherheit. In [1] (Annex J) werden die Hallenvalidierungsverfahren vorgestellt.

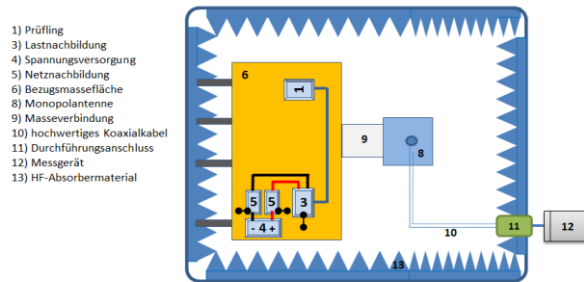


Bild 1: CISPR 25 Messanordnung mit Monopolantenne in der Absorberhalle

In [2] wurden diese Verfahren untersucht. Beim Referenz-Messverfahren (RMM) liegen die Sende- und Empfangsantenne auf dem Hallenboden. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen keine Resonanzen zwischen 150 kHz und 30 MHz, da die Induktivitäten der Verbindungen sehr klein sind. Somit können die möglichen Resonanzstellen nur außerhalb des Messbereichs auftreten. Weiterhin wird eine Langdrahtantenne (LWM) zur Hallenvalidierung vorgestellt. Im Gegenteil zur RMM wird hier ein Messtisch verwendet. Diese Methode zeigt eine Resonanzstelle bei 15 MHz mit 19 dB Güte. Somit wird die Anforderung ± 6 dB verletzt [3].

Um die Resonanzstellen in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussfaktoren wie Verbindungsbänder und Messkabel zu untersuchen, wird in diesem Beitrag der CISPR 25 Aufbau mit Hilfe der 3D-Feld- sowie Schaltungssimulation analysiert.

3 Messung und Simulation des CISPR 25 Aufbaus

3.1 Beschreibung des Messaufbaus

Bild 2 zeigt den Messaufbau in der Absorberhalle. Basierend auf der Langdrahtantennenmethode [4] ist ein 500 mm langes Kabel in einer Höhe von 50 mm parallel zur Massefläche angeordnet (Bild 3).

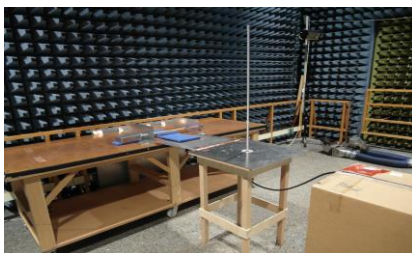


Bild 2: CISPR 25 Monopol-Messaufbau in einer Absorberhalle

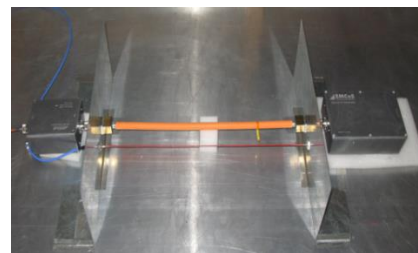


Bild 3: Signalgenerator mit Testleitung nach LW Methode [5]

Das Kabel ist mit zwei metallischen Winkelblechen fixiert, die direkt mit der Massefläche elektrisch verbunden sind. An einem Ende des Kabels wird ein Signalgenerator angeschlossen, der ein PWM-Signal mit einer Periodendauer $T = 500 \mu\text{s}$ und einer maximalen Pulsspannung von 150 V generiert. Am anderen Ende des Kabels wird ein 10- Ω -Widerstand angeschlossen [5]. Der Messtisch ist mit dem Hallenboden über einer

Metallfläche (1,2 m x 1,2 m) geerdet. Die Messleitung liegt 90 cm über dem Hallenboden und die Leitungslänge beträgt 4,5 m. Das Messkabel wird über einen Durchführungsanschluss zum Messempfänger angeschlossen.

3.2 Simulationsverfahren

Die Bestimmung der Einflüsse der Aufbauparameter erfolgt mit Hilfe der Simulation. Im Folgenden werden die eingesetzten Simulationsmethoden sowie die Simulationsmodelle beschrieben.

3.2.1 3D-Simulationsmodell

Mit Hilfe der 3D-Feldsimulation kann der Messaufbau nachgebildet werden. Dadurch werden die elektromagnetischen Felder sowie die Störspannung am Antennenfußpunkt basierend auf der Momentenmethode (MoM) mit EMCoS Studio [6] berechnet.

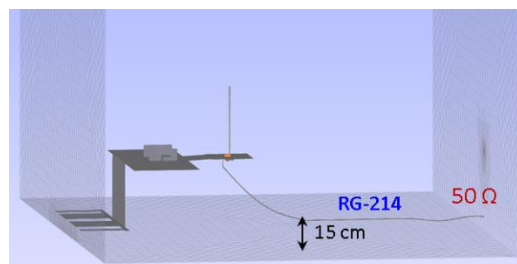


Bild 4: CISPR 25 Simulationsmodell in EMCoS-Studio

Bild 4 zeigt das 3D Simulationsmodell. Dieses besteht aus Messtisch, Monopolantenne, Messkabel und Hallenboden. Für die Berechnung der Störspannung wird die Antenne in der Simulation mit dem Verstärkungsfaktor betrachtet, um den direkten Vergleich mit der Messung zu ermöglichen. Die Masseplatte der Messantenne wird durch den Schirm des Messkabels mit dem Hallenboden kurzgeschlossen. Im 3D-Modell wird diese Schirmverbindung durch einen Rohrzylinder ersetzt. Die Bestimmung der Common-Mode-Ströme kann mit dem MTL-Solver im Zeitbereich berechnet und mit Hilfe der Fourier-Transformation im Frequenzbereich dargestellt werden. Um das Modell zu vereinfachen, wird die Störleitung mit den Common-Mode-Strömen aus dem MTL-Berechnungsschritt ersetzt und die Störspannung am Antennenfußpunkt berechnet [7]. Der Vergleich der Messung mit der Simulation der Störspannung am Lastwiderstand zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (Bild 5).

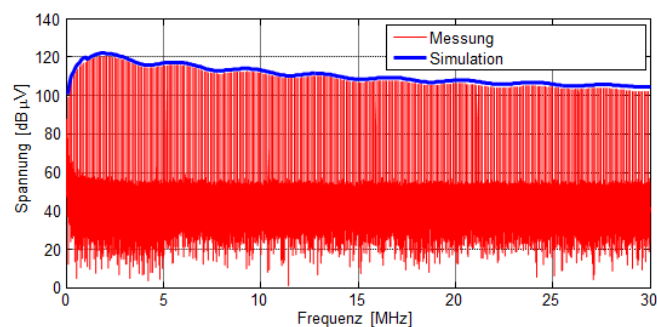


Bild 5: Vergleich Messung und Simulation des Störsignals

3.2.2 Schaltungsmodell

Bei tiefen Frequenzen bietet die Schaltungssimulation eine alternative Lösung, um die Komplexität der 3D-Feldberechnung durch ein Schaltungsmodell zu reduzieren [8]. In diesem Abschnitt wird ein Schaltungsmodell des CISPR 25 Aufbaus entwickelt und für die Parameteranalyse verwendet. Zuerst werden die Koppelimpedanzen zwischen den Komponenten des Messaufbaus mit dem Static-Solver von EMCoS Studio basierend auf der PEEC-Methode ermittelt [6].

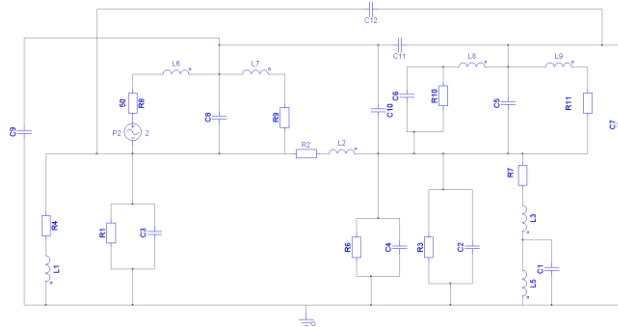


Bild 6: Schaltungsmodell des CISPR 25 Aufbaus

Die Modellkomponenten (Messtisch, Messantenne, Messkabel und Verbindungsbänder) werden als Knoten definiert. Im Schaltungsmodell wird die Störquelle mit einer Spannungsquelle mit 2 V und 50 Ω Innenimpedanz, einem Ersatzschaltbild des Kabels und einer 50 Ω Abschlussimpedanz ersetzt (Bild 6). Anhand des Modells wird die Transferfunktion berechnet. Anschließend wird die simulierte Störspannung als Multiplikation des Störsignals mit der Transferfunktion ermittelt. Die Übertragungstrecke zwischen Antennenfußpunkt und Messempfänger wird als Korrekturfaktor für die Berechnung der Störung am Messempfänger berücksichtigt.

3.2.3 Validierung der Modelle

Die Messkonstellation, die im Abschnitt 3.1 vorgestellt wurde, wird für die Validierung des 3D- sowie auch des Schaltungsmodells verwendet. Bild 7 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Mess- und Simulationsergebnissen.

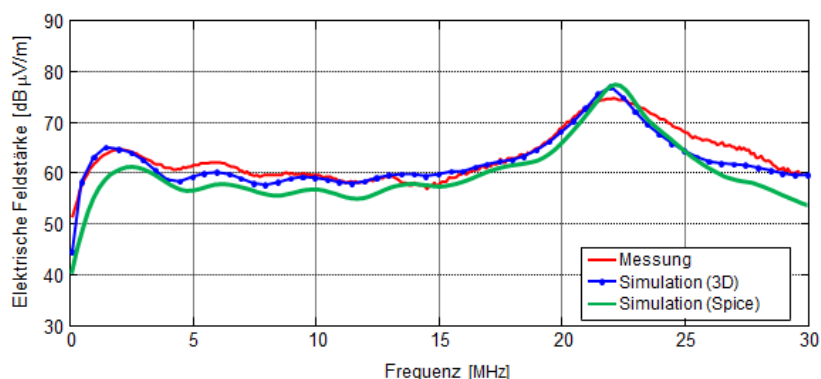


Bild 7: Vergleich Messung, 3D- und Schaltungsmodell

Bei einer Frequenz von 22 MHz ist eine Resonanzstelle mit einer Güte von ca. 20 dB deutlich zu erkennen. Hierdurch wird die CISPR 25 Anforderung ± 6 dB verletzt, obwohl

die Anforderungen des CISPR 25 Aufbaus berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund werden die Einflüsse des Messaufbaus im nächsten Abschnitt basierend auf dem validierten Simulationsmodell analysiert und diskutiert.

4 Simulatorische Analyse des CISPR 25 Aufbaus

4.1 Untersuchung der Antennenleitung

In diesem Abschnitt werden die Einflüsse der Leitungslänge sowie deren Abstand zum Hallenboden untersucht. Die Leitungslänge wird zwischen 2,5 m und 4,5 m variiert. In Bild 8.a und 8.b werden die Simulationsmodelle für zwei Konstellationen dargestellt. Die Variation der Kabelhöhe bewirkt auch eine Änderung der Kabellänge. Das heißt, dass sich die Kapazität C und die Induktivität L des Messkabels gleichzeitig ändern.

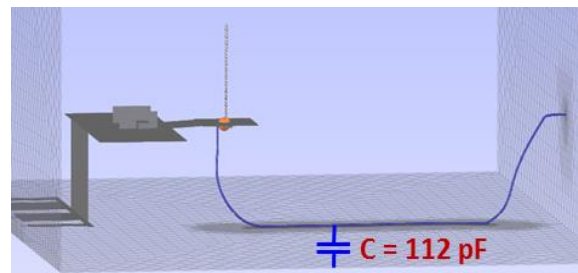
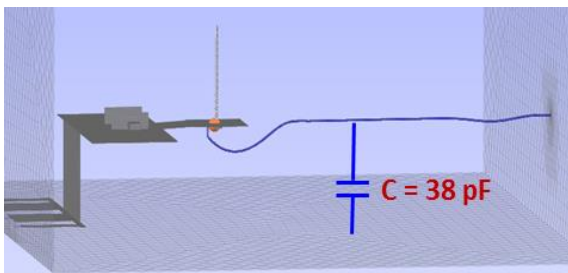


Bild 8.a: Simulationsmodell mit 90 cm Kabelhöhe

Bild 8.b: Simulationsmodell mit 1 cm Kabelhöhe

Bild 9 zeigt die Einflüsse der Leitungslänge und Höhe aus der 3D-Feldsimulation. Die Variation der Leitungskapazität sowie der Induktivität führen zu zwei Resonanzstellen. Bei einer hohen Induktivität von $10 \mu\text{H}$ und hohen Kapazität von 112 pF liegen diese Resonanzstellen bei 15 MHz und 25 MHz . Bei dieser Konstellation beträgt die Differenz zwischen der maximalen und minimalen Störung 40 dB .

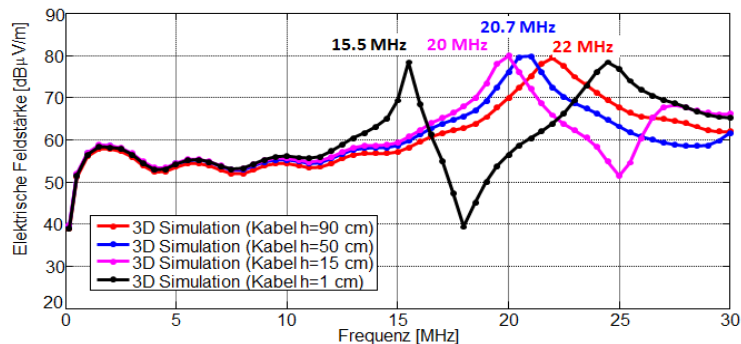


Bild 9: Vergleich der Einflüsse der Kabellänge und Kabelhöhe

4.2 Untersuchung der Masseanbindung des Messtisches

Hier wird der Einfluss der Verbindung des Messtisches mit der Hallenmasse analysiert. In der Simulation werden die fünf Massebänder mit der Hallenwand oder mit dem Hallenboden verbunden (Bild 10 a und 10 b).

Bild 11 zeigt, dass der Übergangswiderstand der Verbindungsbänder die Störspannung erheblich beeinflusst. Ein Messtisch mit vertikalen Verbindungsbändern und 0,1 mΩ Übergangswiderstand zeigt, dass die Resonanzstelle bei 28 MHz liegt.

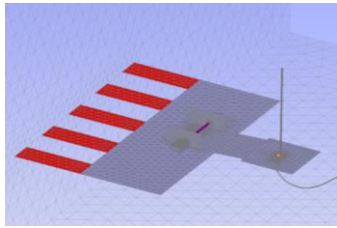


Bild 10.a: 5 horizontale Verbindungsbänder

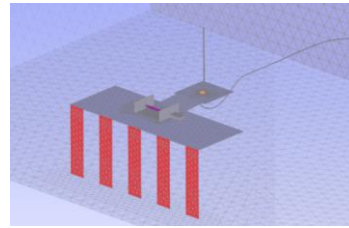


Bild 10.b: 5 vertikale Verbindungsbänder

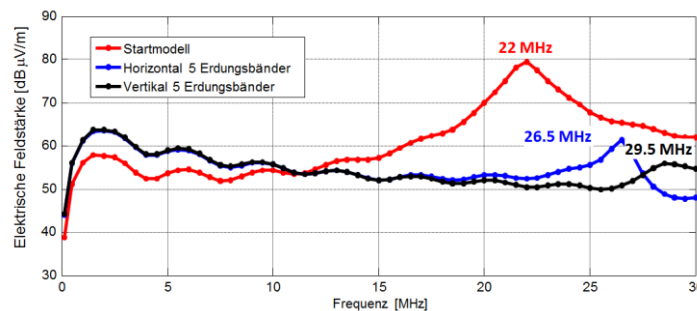


Bild 11: Vergleich der Einflüsse der Erdungsänder

In den vorangegangenen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Änderung der Leitungslänge sowie die Kontaktierung des Messtisches neue Resonanzstellen im Messbereich hervorrufen und deren Güte bis 40 dB erreichen kann. Im Folgenden wird eine neue Messkonstellation für CISPR 25 simulatorisch und messtechnisch untersucht.

5 Neue Messkonstellation für CISPR 25

5.1 Messaufbau und Analyse

Im neuen Messaufbau wird der Messtisch analog zur Fahrzeugmessung vom Hallenboden isoliert und von der Antennenmasse getrennt. Die abgestrahlte Störung wird über einen direkten kapazitiven Koppelpfad eingekoppelt [8]. Um weiterhin die Induktivität der Schirmverbindung des 4,5 m Koaxialkabels mit dem Hallenboden zu reduzieren, wird die Antennenmasse mit kurzer Verbindung geerdet. Bild 12a und 12b zeigen das 3D- und das Spice-Simulationsmodell.

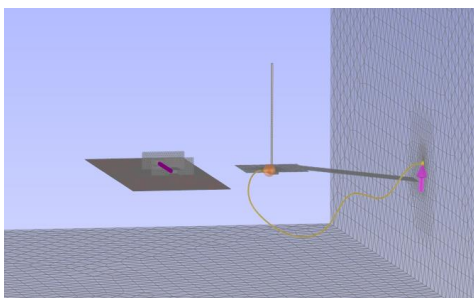


Bild 12.a: 3D-Simulationsmodell

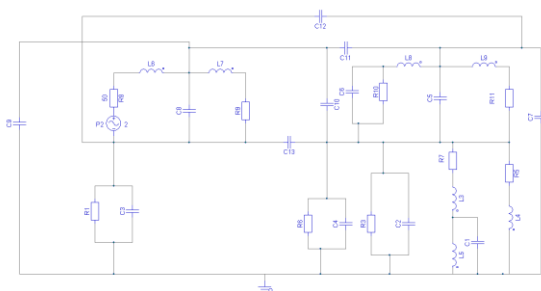


Bild 12.b: Spice-Simulationsmodell

In der Analyse werden die Länge der Antennenleitung sowie die Entfernung des Kabels vom Boden untersucht. Dies erfolgt durch die Bewertung der elektrischen Feldstärke. Im Vergleich mit den Referenzdaten aus Tabelle J1 in [1] weist das Startmodell eine Resonanzstelle durch die hohe Induktivität der elektrischen Verbindung zum Hallenboden auf. Die neue Messkonstellation zeigt hingegen eine konstante Feldstärke über dem Frequenzbereich (von 150 kHz bis 30 MHz) und stimmt sehr gut mit den Referenzdaten überein (Bild 13).

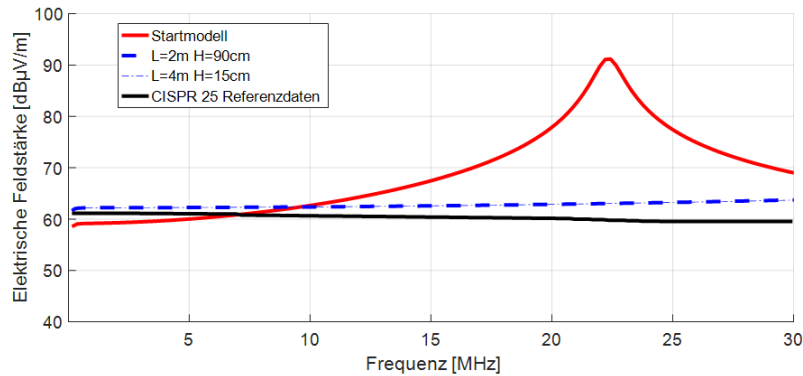


Bild 13: Vergleich der elektrischen Feldstärke der neuen Konstellation

Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Länge des Antennenkabels sowie die Höhe über dem Boden keinen Einfluss mehr auf die berechnete Störspannung haben. Im Folgenden wird diese Erkenntnis messtechnisch validiert.

5.2 Messtechnische Validierung

Für die Verifikation der Simulationsergebnisse wird die neue Messkonstellation in der Messhalle vorbereitet und die Messung durchgeführt (Bild 14).



Bild 14: Vergleich neuer Konstellation Messung, 3D- und Schaltungsmodell

Bild 15 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation. Somit kann das Schaltungsmodell in der Entwicklungsphase verwendet werden, um die Störabstrahlung nach CISPR 25 virtuell zu bewerten.

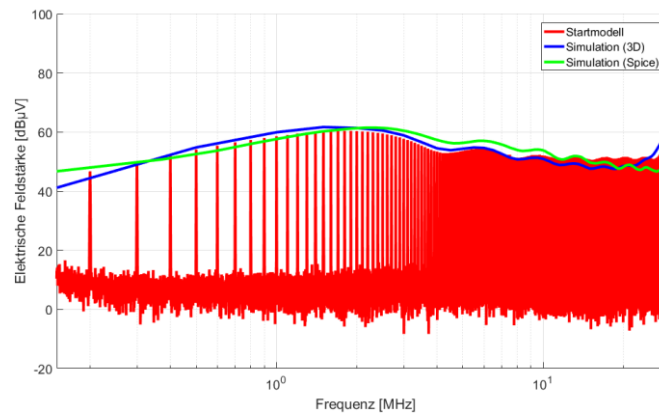


Bild 15: Vergleich neuer Konstellation Messung, 3D- und Schaltungsmodell

6 Zusammenfassung

Die Messung der abgestrahlten Störung wird nach CISPR 25 durchgeführt. Die Analyse des Messaufbaus hat gezeigt, dass die Höhe, die Verbindung der Schirmung des Messkabels und die Verbindung des Messtisches zum Hallenboden einen entscheidenden Einfluss auf die Resonanzstelle haben. In diesem Beitrag wurde ein CISPR 25 Schaltungsmodell entwickelt. Dieses unterstützt die Komponentenentwicklung schon in der frühen Phase durch die virtuelle Systembewertung. Das Modell zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem 3D-Feldmodell sowie mit der Messung. Abschließend wurde eine neue Messkonstellation für CISPR 25 entwickelt und validiert. Hierbei bietet der neue Messaufbau eine hohe Flexibilität bei der Systemauslegung unabhängig von der Größe der Messhallen. Dieser Messaufbau kann auch in verschiedenen Messhallentypen untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] IEC/CISPR 25/Ed.4/CD 06.2014
- [2] F. Wilhelm Trautnitz, J. Riedelsheimer: Validierung von Messplätzen nach dem neuesten CISPR 25 CD, EMV Düsseldorf 2014
- [3] F. -J. Bongartz, J. Deckers, M. Heina, H. Hirsch, J. Mooser, J-C. Nickel, M. Seiger: Proposal for the Validation of Absorber Lined Shielded Enclosures for CISPR 25 Emission Tests, EMC 2009, IEEE International Symposium on.
- [4] H. Hirsch, C. Schwing: Validierung von Messplätzen, GMM-Fachtagung 77, Stuttgart 2013.
- [5] A. Gheonjian, O. Sassi, B. Khvitia, Z. Kut Chadze, D. Eremyan, G. Kapanadze, R. Jobava: Analysis of the Radiated Emission from Shielded HV-Cables, EMC Europe Angers 2017
- [6] EMCoS: EMCoS Studio 2017 <http://www.emcos.com> Stand 2017
- [7] J. Jia, A. Zeichner, D. Rinas, S. Frei: Anwendung von alternativen Verfahren zur Vorhersage von EMV Antennenmessergebnisse nach CISPR-25, EMV Düsseldorf 2014.
- [8] O. Sassi: Untersuchung des Einflusses der Kopplungswege auf die Fahrzeugmessung im MW-Bereich. GMM-Fachtagung, Wolfsburg 2017