

Korrelation verschiedener Messmethoden mit Hilfe der Statistik

Dipl.-Ing. Michael Zerrer, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik,
Universität Stuttgart, Deutschland
Dr. Ing. Martin Aidam, DaimlerChrysler AG, Stuttgart
Prof. i.R. Dr.-Ing. Dr. h.c. K. Feser, Prof. Dr. Ing. S. Tenbohlen, Dr. Ing. W. Köhler
Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik Universität Stuttgart, Deutschland

Kurzfassung

In modernen Fahrzeugen verrichten immer mehr elektronische und elektrische Komponenten und Steuergeräte ihren Dienst. Immer kürzer werdende Entwicklungszeiten und eine kurze Prototypenzeit erfordern neue Messverfahren zur Sicherstellung der EMV im Serienfahrzeug. Insbesondere dem störungsfreien Radioempfang kommt dabei eine besondere Rolle zu. Der Vergleich verschiedener Messverfahren mit Hilfe der Statistik kann dabei helfen, KFZ-Komponenten zu kategorisieren und daraus das zu erwartende Emissionsverhalten und die wirksamen Kopplungswege im eingebauten Zustand abzuschätzen. Mit im KFZ gemessenen Transferfunktionen und Messungen im EMV-Labor kann die zu erwartende Störaussendung von einzelnen Komponenten ermittelt werden.

1 Einleitung

Die Komplexität der heutigen elektrischen und elektronischen Komponenten in Kraftfahrzeugen erfordern neue Wege zur Sicherstellung der EMV des Gesamtfahrzeugs. Weit über 100 Sensoren und Aktoren, Kabelbäume mit insgesamt mehreren Kilometern verbauter Leitungen und viele Steuergeräte ergeben vielschichtige Kopplungswege.

Geeignete Komponentenmessverfahren und Grenzwerte müssen daher so definiert werden, dass das Verhalten der einzelnen Komponenten bereits im Vorfeld hinreichend genau abgeschätzt werden kann. Während noch vor wenigen Jahren zwischen den ersten Prototypen und dem eigentlichen Serienlauf genügen Zeit vorhanden war, um Änderungen und Verbesserungen an elektrischen Komponenten vorzunehmen, erlauben die heutigen Entwicklungszeiten solche Maßnahmen nicht mehr. Zwischen ersten Messungen am Prototypen und dem Serienlauf ist nur noch so wenig Zeit, dass Steuergeräte hinsichtlich ihrer EMV nicht mehr oder nur mit sehr großem Aufwand verändert werden können.

Neben den Anforderungen seitens des Gesetzgebers [1] spielt auch die Eigenstörfestigkeit eine besondere Rolle, insbesondere was einen störungsfreien Rundfunk- und TV-Empfang angeht. In der Regel stellt dabei die Eigenentstörung in den entsprechenden Frequenzbändern die deutlich größere Herausforderung dar.

Um den Automobilzulieferern rechtzeitig Grenzwerte für KFZ-Komponenten liefern zu können, sind Ersatzmessverfahren notwendig, die ohne ein Vorhandensein einer Karosserie im EMV-Labor durchführbar sind [2] [3].

Das Hauptproblem dabei ist, dass bei den Messungen im Fahrzeug für jede Komponente unterschiedliche

Koppelmechanismen wirksam sind. Die Anwendung von statistischen Methoden auf einzelne Messverfahren erlaubt dabei eine Kategorisierung der Komponenten. Mit Hilfe von Transferfunktionen, die am Fahrzeug gemessen werden, oder auch simuliert werden können, sind Rückschlüsse möglich, wie sich die Komponenten im eingebauten Zustand verhalten.

2 Datenaufbereitung

Um verschiedene Messverfahren vergleichen zu können, werden die Messdaten zunächst so aufbereitet, dass sie sich leichter vergleichen lassen. Dazu wird eine Datenreduktion vorgenommen und die Messung dahingehend untersucht, dass Messwerte, die am Rauschniveau liegen, das Ergebnis nicht verfälschen.

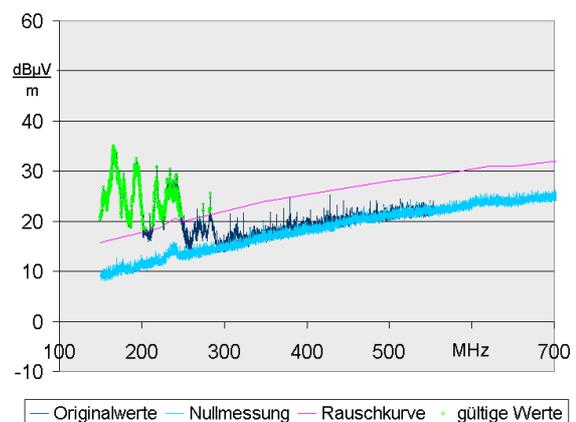


Bild 1 Beispiel einer Messung, die ab 300 MHz sehr nahe am Rauschniveau liegt

2.1 Entrauschen

Viele Serienkomponenten besitzen ein Störemissionspektrum, das nur in wenigen Frequenzabschnitten eine Ausstrahlung aufweist, die deutlich über dem Rauschniveau der Messempfänger liegt. Solche Komponenten sind für Vergleichsmessungen nicht geeignet, da das gemessene Signal in weiten Bereichen nicht von der Komponente an sich kommt, sondern aus dem Rauschniveau der verwendeten Messeinrichtung stammt. Daher muss sichergestellt sein, dass beim Auswerten von Messungen nur solche Messwerte verwendet werden, die weit genug vom Rauschniveau entfernt sind. Im ersten Schritt werden daher alle Messwerte als ungültig markiert, die weniger als 6 dB von der Nullmessung (Rauschkurve) entfernt liegen. (**Bild 1**) Als Rauschgrenze wird eine Nullmessung verwendet, die jeweils mit dem kompletten Aufbau, aber mit abgeschalteten Komponenten durchgeführt wird.

2.2 Statistische Verteilung

Von den verbleibenden Messwerten wird eine statistische Verteilung gewonnen, um die Messungen besser vergleichen zu können. Dabei ist der Algorithmus so gewählt, dass sich kleine Frequenzverschiebungen, die beispielsweise von geringen geometrischen Veränderungen im Aufbau stammen können, das Ergebnis nicht beeinflussen [4] [5]. Zusätzlich wird eine Reduktion der Datenmenge vorgenommen, um die Daten besser und leichter vergleichen zu können. Dabei bleibt der charakteristische Verlauf der Messreihe im wesentlichen erhalten.

Zunächst wird dazu der Frequenzbereich in mehrere Frequenzabschnitte unterteilt. Die Größe der Frequenzabschnitte hängt dabei vom ausgewählten Algorithmus ab.

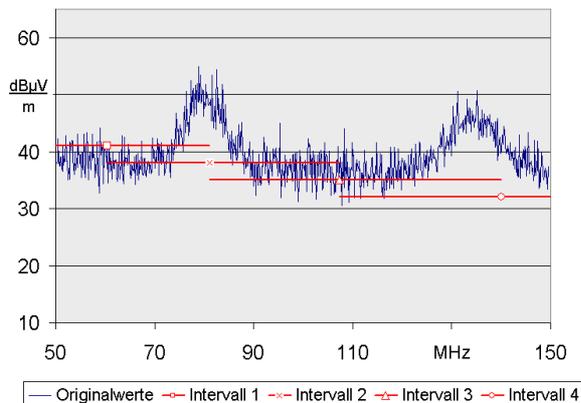


Bild 2 Beispiel der Aufteilung von Messdaten in Frequenzabschnitte

Je größer die Frequenzbereiche gewählt werden, desto größer wird die Unterteilung im Ergebnis. In der Pra-

xis haben sich Aufteilungen in 30 Frequenzabschnitte für eine grobe Abschätzung bzw. 200 Abschnitte für eine feinere Betrachtung bewährt.

Die Frequenzabschnitte sind dabei so gewählt, dass sich aufeinanderfolgende Intervalle überlappen (siehe **Bild 2**). Dies hat den Hintergrund, dass jeder Frequenzpunkt immer in zwei sich benachbarten Intervallen erscheint. Damit wird erreicht, dass sich kleine Verschiebungen von beispielsweise Resonanzen im Ergebnis nicht oder nur geringfügig auswirken.

Innerhalb eines Frequenzabschnitts wird die Frequenzinformation der Datenpunkte verworfen und die Messwerte der Größe nach in einem Array angeordnet. Von diesem Array werden die Werte von 0%, 10%, 20% etc. bis 100% extrahiert. Diese Werte werden den Mittenfrequenzen der einzelnen Abschnitte zugeordnet. Die daraus gewonnenen Kurvenverläufe zeigen die charakteristischen Eigenheiten der Originalkurve.

Bild 3 und **Bild 4** zeigen die Anordnung der Messwerte in einem Intervall und die Zuordnung der 10%, 20% .. 100%-Werte

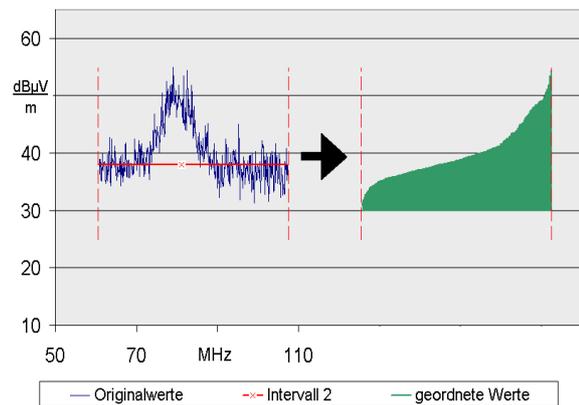


Bild 3 Anordnung der Messwerte in einem Intervall unter Verwerfung der Frequenzinformation

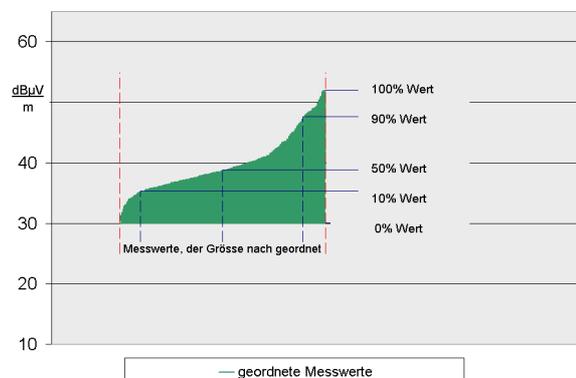


Bild 4 Zuordnung der 10%, 20%, .. 100%-Werte innerhalb eines Intervalls.

3 Versuchsaufbau

3.1 Messverfahren

In einem ersten Ansatz wurde die Emission von verschiedenen Komponenten mit unterschiedlichen Messverfahren ermittelt. Dazu wurden unter anderem modifizierte Serienkomponenten, als auch eigens dafür gebaute künstliche Störer verwendet. Die Messung mit normalen Serienbauteilen hat sich als sehr ungünstig erwiesen, da die Serienkomponenten ein Störspektrum besitzen, das meist im Rauschen untergeht, und oft nur in kleinen Bereichen ein Störspektrum aufweisen, das über dem Rauschen liegt.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, inwiefern es Korrelationen zwischen verschiedenen Messverfahren gibt. Dazu wurden Emissionsmessungen an verschiedenen Komponenten mit der Stromzange und Antenne gemacht und diese miteinander verglichen. Der Messaufbau der beiden Verfahren war nach CISPR 25.

3.2 Vergleich von Antennen- und Stromzangenmessung

Die Messwerte der beiden Messmethoden wurde mit Hilfe des oben vorgestellten Verfahrens ins Verhältnis zueinander gesetzt. Auf diese Weise erhält man Korrelationsfaktoren, die je nach verwendetem Baustein teilweise unterschiedlich ausfallen können, allerdings ist bei bestimmten Komponenten ein charakteristischer Verlauf von etwa 20 dB/Dekade zu erkennen (**Bild 5**). Dieser Verlauf ist auch bei Korrelationen von simulierten Messungen gewisser Komponenten zu beobachten.

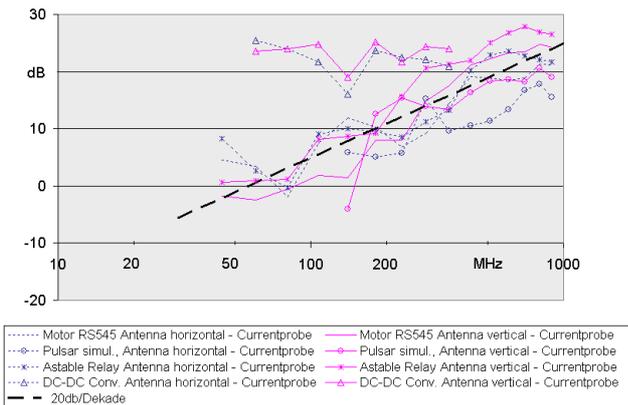


Bild 5 Korrelationsfaktoren verschiedener Komponenten in dB

Um das Verhalten der Korrelationsfaktoren besser zu verstehen, wurden weitere Messungen mit einem Standardstörer gemacht. Der Vorteil des Standardstö-

rrers liegt vor allem darin, dass er ein sehr reproduzierbares Spektrum aussendet, das bis zu Frequenzen von knapp 1 GHz deutlich über dem Rauschniveau liegt. Bei den Messungen wurde unter anderem ein spezieller Aufbau verwendet, der verschiedene Arten vom Emission erlaubt. So kann über die Verwendung von verschiedenen Dämpfungsgliedern die Störspannung einerseits an eine abstrahlende Antenne, andererseits auf den Kabelbaum ausgekoppelt werden. Damit können Komponenten simuliert werden, die ihr Störspektrum nur direkt über das Gehäuse abstrahlen oder auch Komponenten, die nur eine kabelgebundene Abstrahlcharakteristik besitzen. Durch entsprechende Wahl von Dämpfungsgliedern können auch beliebige Kombinationen davon gebildet werden, wie z.B. 20% Abstrahlung über Gehäuse und 80% Abstrahlung über den Kabelbaum.

Bei ersten Messungen konnte gezeigt werden, dass sich der Anstieg von 20 dB pro Dekade auch bei diesen Messaufbauten reproduzieren lässt.

Derzeit laufen weiter Messungen, die zeigen, wie sich die charakteristischen Verläufe von Stromzangenmessungen und Antennenabstrahlungsmessungen zueinander verhalten. In Abhängigkeit der Korrelationskoeffizienten kann so eine Kategorisierung der gemessenen Komponenten durchgeführt werden. Diese Kategorisierung ist wichtig, um entscheiden zu können, welche Kopplungsmechanismen im Fahrzeug die tragende Rolle spielen und damit wie sich das Gerät später im eingebauten Zustand im Fahrzeug verhält.

4 Messung von Transferfunktionen im KFZ

Als zweiter Punkt wurden Transferfunktionen im KFZ gemessen. Als Empfangsantenne wurde die fahrzeugeigene Radioantenne verwendet, die direkt an den Eingang eines Netzwerkanalysator angeschlossen wurde. Dann wurden die Transferfunktionen von verschiedenen Einkopplungspunkten aus gemessen.

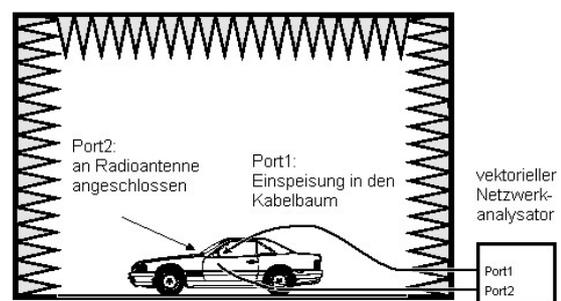


Bild 6 Messung von Transferfunktionen im KFZ

Eingekoppelt wurde in den Kabelbaum sowohl direkt galvanisch als auch über eine Stromzange.

In **Bild 6** ist der prinzipielle Aufbau der Messanordnung zu sehen.

Der Vorteil solcher Messungen ist, dass diese auch ohne Schirmkabine durchgeführt werden können. Die Einspeiseleistung des Netzwerkanalysators ist groß genug, so dass externe Störeinkopplungen praktisch keinen Einfluss haben. Dies zeigt auch die gute Reproduzierbarkeit solcher Messungen ohne Schirmkabine.

Um die Transferfunktionen anwenden zu können sind noch zwei weitere Messungen nötig. Der Messaufbau ist in **Bild 7** und **Bild 8** zu sehen.

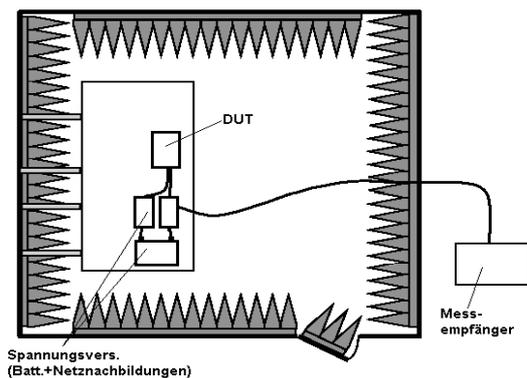


Bild 7 Messaufbau zur Ermittlung der Funkstörspannung mit Bordnetz nachbildungen

Dazu wurde eine Komponente im EMV-Labor auf deren Funkstörspannung mit den Bordnetz nachbildungen untersucht (**Bild 7**). Die verwendeten Netznachbildungen übertreffen den von KFZ Herstellern geforderten Frequenzbereich und können bis 400 MHz eingesetzt werden.

Die so vermessene Komponente wurde dann im Fahrzeug eingebaut und die Störspannung an der fahrzeugeigenen Radioantenne gemessen. Der Messaufbau ist schematisch in **Bild 8** dargestellt.

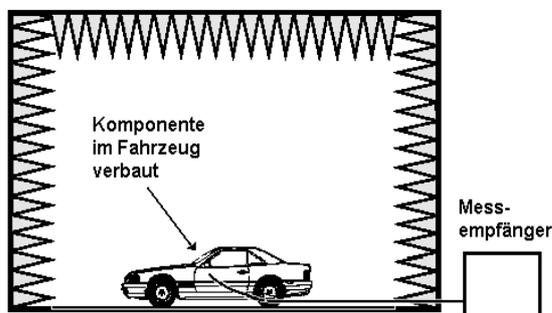


Bild 8 Schematischer Aufbau zur Messung der Störspannung an der fahrzeugeigenen Rundfunkantenne

4.1 Messungen an einem modifizierten Kombiinstrument

Um diese Transferfunktionen sowie die Messung mit der Bordnetznachbildung und die Fahrzeugmessung näher untersuchen zu können, wurde zunächst ein Serien-Kombiinstrument dahingehend modifiziert, dass es ein Störspektrum aufzeigt, das deutlich über dem Rauschniveau liegt. Die Serienkomponente ist für solche Messungen ungeeignet, da sich Emissionen nahezu im gesamten Frequenzbereich kaum von der Nullmessung unterscheidet.

Nach der Modifikation der Komponente lag der Störpegel um bis zu 30 dB über dem ursprünglichen Wert. Mit dieser Komponente erfolgten nun die beiden in Kapitel 4 erwähnten Messungen, einmal die Funkstörspannungsmessung mit der Bordnetznachbildung im Labor, und andererseits die direkte Messung an der Fahrzeugantenne mit der eingebauten, modifizierten Komponente. Der hohe Störpegel hat zusätzlich den Vorteil, dass andere Störungen der vorhandenen Fahrzeugelektronik keinen maßgeblichen Einfluss auf die Messung haben. Da alle anderen Steuergeräte Seriengeräte mit relativ kleinen Emissionspegeln waren, kann man davon ausgehen, dass Störungen von anderen Steuergeräten nicht ins Gewicht fallen.

Die Fahrzeugmessungen wurden in einer geschirmten Kabine durchgeführt, so dass keine externen Störeinflüsse zu erwarten sind. Bei der Messung im Labor wurde der Rest der Fahrzeugs (CAN-Bus etc.), der zur Ansteuerung des Kombiinstrumentes notwendig ist, simuliert. So wurde erreicht, dass sich das Instrument bei der Labormessung in einem ähnlichen Betriebszustand befindet, wie wenn es im Fahrzeug eingebaut ist.

In **Bild 9** werden die Ergebnisse dieser Messungen gezeigt.

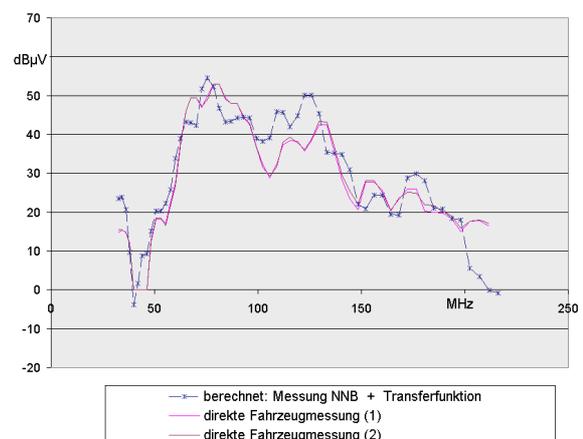


Bild 9 Direkte Messung in Fahrzeug und errechnete Emissionskurve mit Hilfe von Transferfunktionen

Dazu werden die gemessenen Daten jeweils zuerst mit dem oben beschriebenen Algorithmus bearbeitet. Danach wird die Messkurve der Labormessung und die Transferfunktion addiert und mit der Fahrzeugmessung gemeinsam in einem Diagramm dargestellt

.In dem Diagramm ist zu erkennen, dass mit Hilfe der Transferfunktion die direkte Fahrzeugmessung recht gut angenähert werden kann.

Diese Übereinstimmung kann auch bei anderen Komponenten gefunden werden. So wurden ähnliche Ergebnisse mit einem am Institut gefertigten Puls-Störer beobachtet. Allerdings zeigten manche Geräte diese Übereinstimmung nicht. Hier muss eine Kategorisierung von Fahrzeugkomponenten aufzeigen, welche Geräte dafür geeignet sind, mit Hilfe von Transferfunktionen die späteren zu erwartenden Emissionen vorherzusagen.

Eine Kategorisierung kann mit Hilfe von den oben genannten, statistischen Algorithmen gefunden werden, wenn diese auf unterschiedliche Labormessungen angewendet werden. Ein Kriterium ist hierbei die Relation von Antennenmessung und Stromzangenmessung. Viele Messungen deuten darauf hin, dass sich Geräte, die dabei einen Verlauf von 20 dB/Dekade aufzeigen, besser dafür geeignet sind, um mit Hilfe von Transferfunktionen die spätere Emissionen vorherzusagen.

Die Transferfunktion selber kann durch Messung am Fahrzeug gewonnen werden, ebenso ist es möglich, Transferfunktionen aus den CAD-Daten der Rohkarosserie von Kraftfahrzeugen zu errechnen [6]. Damit können bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt Aussagen getroffen werden, wie sich das Störspektrum einzelner Komponenten auf verschiedene Störsenken wie z.B. der Rundfunkantenne auswirkt.

Ein weiterer derzeitiger Untersuchungspunkt ist das Verhalten der Transferfunktionen an verschiedenen Fahrzeugen. Damit soll geklärt werden, ob und inwiefern sich Transferfunktionen in verschiedenen Fahrzeugen unterscheiden und ob prinzipielle Ähnlichkeiten zu entdecken sind.

5 Zusammenfassung

Um zu einem möglichst frühen Zeitpunkt den Zulieferern der Automobilindustrie Grenzwerte für elektrische und elektronische Komponenten liefern zu können sind neue Messverfahren und -methoden notwendig.

Dazu wurde ein Algorithmus entwickelt, der es ermöglicht, verschiedene Labormessmethoden miteinander zu vergleichen. Mit Hilfe dieser Messungen ist es möglich, KFZ-Komponenten bezüglich ihres Emissionsverhaltens zu kategorisieren. Auffällig ist, dass es eine Reihe von Komponenten gibt, die einen ausgeprägten Anstieg von 20 dB/Dekade aufweisen, wenn man die Antennenabstrahlungsmessung und Stromzangenmessungen ins Verhältnis setzt. Gerade diese Komponenten zeigen eine bessere Übereinstimmung, wenn deren Emissionen mit Hilfe von Transferfunktionen vorhergesagt werden sollen.

In einem weiteren Punkt wurden solche Transferfunktionen im Kraftfahrzeug untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass es möglich ist, die Transferfunktionen anhand von CAD-Daten zu simulieren. In weiteren laufenden Untersuchungen wird geklärt, inwiefern sich Transferfunktionen von geometrisch ähnlichen Orten an verschiedenen Fahrzeugen verhalten.

Mit Hilfe solcher Transferfunktionen kann das spätere Emissionsverhalten von bestimmten Komponenten vorhergesagt werden. Dazu ist die oben erwähnte Kategorisierung notwendig, um beurteilen zu können, welche die vorherrschenden Koppelmechanismen sind und wie das spätere Verhalten im eingebauten Zustand sein wird.

6 Literatur

- [1] CISPR 25: Limits and methods of measurement of radio interference characteristics for the protection of receivers used on board vehicles
- [2] Miller, P.; O'Hara, M.: Comparison of automotive unit EMC test techniques: IEEE Colloquia, 1999
- [3] Crisci, F.; De Leo, R.; De Riso, M.; Primiani, V.M.; ELASIS S.C.p.A.: A Comparison of immunity test methods for automotive testing EMC Zurich 2003
- [4] O'Hara, M.; Colebrooke, J.;; Automotive EMC test harness: Standard lengths and their effect on radiated emissions, York EMC 2003
- [5] O'Hara, M.; Colebrooke, J.;; Automotive EMC test harness: Standard lengths and their effect on conducted emissions, York EMC 2003
- [6] Neumayer, R.; Stelzer, A.; Haslinger, F.; Steinmair, G.; Tröscher, M.; Held, J.; Unger, B.; Weigel, R.: Numerical EMC Simulation for automotive applications, IEEE 2003