

# **Vergleichbarkeit verschiedener Emissionsmessverfahren in der Automobil-EMV**

Dipl.-Ing. Michael Zerrer, IEH, Universität Stuttgart,  
Email: michael.zerrer@ieh.uni-stuttgart.de  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen, IEH, Universität Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. i.R. Dr. h.c. Kurt Feser, IEH, Universität Stuttgart  
Dr.-Ing. Wolfgang Köhler, IEH, Universität Stuttgart  
Dr.-Ing. Martin Aidam, DaimlerChrysler AG

## **1. Kurzfassung**

In modernen Fahrzeugen werden immer mehr elektronische und elektrische Komponenten und Steuergeräte verbaut. Kurze Entwicklungs- und Prototypenzeiten erfordern neue Messverfahren zur Sicherstellung der EMV im Serienfahrzeug. Mit Hilfe von statistischen Methoden, die auf unterschiedliche Ersatzmessverfahren angewendet werden, ist eine Kategorisierung von Komponenten möglich. Zusätzlich kann mit Transferfunktionen das spätere Emissionsverhalten der eingebauten Komponenten abgeschätzt werden.

## **2. Einleitung**

Moderne Fahrzeuge werden mit immer mehr elektrischen und elektronischen Komponenten und Steuergeräten ausgerüstet. Bereits 1998 waren bis zu 60 Elektromotoren im Einsatz, heute steuern und regeln teilweise über 65 Steuergeräte und Sensoren verschiedenste Funktionen. Darunter fallen Komfortfunktionen ebenso wie sicherheitsrelevante Anwendungen von ABS bis x-by-wire. Immer kürzer werdende Entwicklungszeiten und eine kurze Prototypenzeit erfordern neue Messverfahren zur Sicherstellung der EMV im Serienfahrzeug, da die meisten elektronischen Komponenten bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt entwickelt werden. Die Schwierigkeit dabei ist, dass die Geräte im eingebauten Zustand gewisse Grenzwerte nicht überschreiten dürfen, damit das Gesamtfahrzeug die EMV-Anforderungen erfüllt. Wird erst beim Test mit dem kompletten Fahrzeug bemerkt, dass eine Komponente die Anforderungen nicht erfüllt, sind die erforderlichen Nachbesserungen mit sehr hohen Kosten und Aufwand verbunden.

Neben Anforderungen des Gesetzgebers [1] an die Emissionen des Gesamtfahrzeuges spielt auch die Eigenstörfestigkeit eine große Rolle. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den störungsfreien Rundfunk- und TV-Empfang gelegt, da die Empfangsteile bereits auf kleine Störungen reagiert.

Um den Herstellern von elektrischen KFZ-Komponenten bereits im Vorfeld sinnvolle Grenzwerte liefern zu können, sind Ersatzmessverfahren notwendig. Diese Messverfahren müssen im EMV-Labor durchführbar sein, ohne dass dafür ein

Fahrzeug oder Prototyp notwendig ist. Aus diesen Messungen müssen Rückschlüsse über die später am KFZ zu erwartende Störemission gezogen werden können. Mit Hilfe von statistischen Methoden werden die Messdaten aufbereitet und anschließend ausgewertet.

### 3. Algorithmen zur Datenaufbereitung

Die meisten Serien-Steuergeräte weisen ein Emissionsverhalten auf, das für Korrelationsbetrachtungen meist sehr ungünstig ist. Die Emissionspegel liegen in weiten Frequenzbereichen sehr nahe am Rauschen, was aus Sicht der Komponentenhersteller selbstverständlich erwünscht ist, allerdings für Vergleichsmessungen nicht geeignet ist. Zudem ist zu beachten, dass sich Steuergeräte, insbesondere microcontrollergesteuerte Geräte, in unterschiedlichen Betriebszustände befinden können, was die Reproduzierbarkeit der Messungen beeinträchtigt.

Damit beim Vergleich der Messmethoden sichergestellt wird, dass nur Messwerte verwendet werden, die von der Komponente stammen, werden Messpunkte, die zu nahe am Rauschen liegen, von der weiteren Verarbeitung ausgenommen. Alle Messpunkte, die weniger als 6 dB vom Rauschniveau entfernt liegen, werden als ungültig markiert. Damit möglichst viele Punkte über dem Rauschniveau liegen, wurde als Störquellen u.a. ein Standardstörer verwendet und ein Seriengerät so modifiziert, dass sein Emissionsspektrum deutlich über dem Rauschniveau liegt (Bild 1).

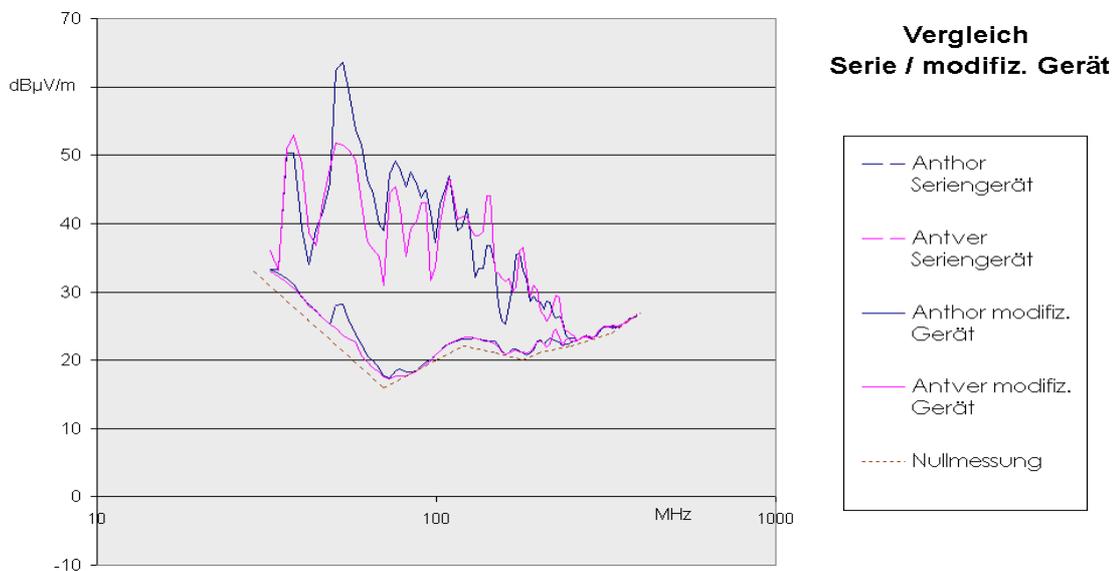


Bild 1: Vergleich der abgestrahlten Störfeldstärke eines Steuergerätes in modifiziertem Zustand und Originalzustand

Mit einem weiteren Algorithmus wird aus den gültigen Messdaten eine statistische Verteilung gewonnen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen. Einflüsse wie statistische Streuungen, Umgebungseinflüsse, kleine geometrische

Veränderungen [2] dürfen das Ergebnis nicht maßgeblich beeinflussen. Bild 2 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise der Algorithmen. Nach dem Entrauschen wird der gesamte Frequenzbereich in sich gegenseitig überlappende Intervalle unterteilt. Innerhalb eines solchen Intervalls wird die Frequenzinformation der Datenpunkte dieses Intervalls verworfen und die Messwerte der Größe nach in einem Array angeordnet. Von diesem Array werden verschiedene Messpunkte extrahiert, und diese Messwerte über den Mittenfrequenzen der Intervalle abgetragen. Die so entstandene Kurve spiegelt die Charakteristik des ursprünglichen Emissionsverlaufs wieder, gleichzeitig ist die Datenmenge aber deutlich geringer, somit sind die Daten besser miteinander zu vergleichen.

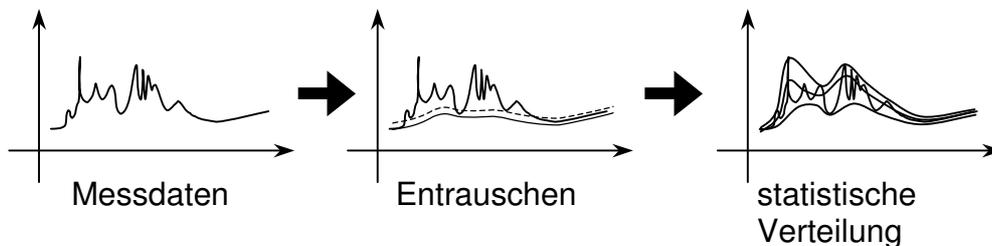


Bild 2: Prinzipielle Vorgehensweise bei der Aufbereitung der Messdaten

#### 4. Vergleich von Antennen- und Stromzangenmessung

Die oben genannten Algorithmen wurden auf die Messmethoden Antennen- und Stromzangenmessung angewendet. Dazu wird der Quotient aus der gemessenen Feldstärke in  $\mu\text{V}/\text{m}$  und dem Summenstrom in  $\mu\text{A}$  gebildet. Diese ergibt sich durch die bezogene Darstellung in  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$  und  $\text{dB}\mu\text{A}$  als Differenz der dB-Messwerte.

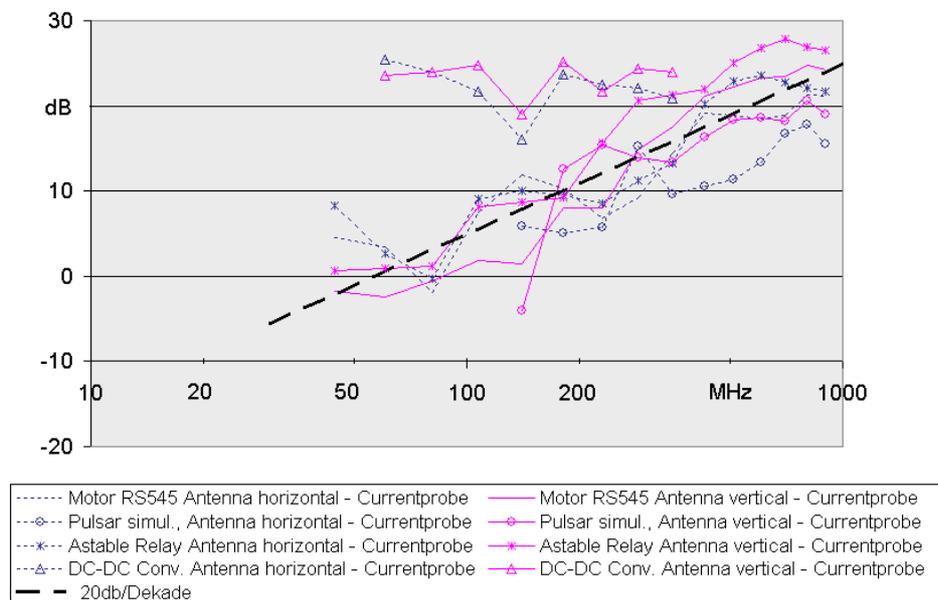


Bild 3: Verhalten einiger Störer bei Korrelation von Antennen- mit Stromzangenmessung

In Abhängigkeit der Art der Störquelle wurde beobachtet, dass sich bei einigen Geräten ein Verlauf einstellt, der einem Gang von 20 dB/Dekade folgt (Bild 3). Dieser Verlauf ist auch bei Korrelationen von Messwerten aus Simulationen bestimmter Komponenten zu erkennen.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich mit Hilfe dieser Korrelationsbetrachtungen die Komponenten hinsichtlich ihres Störemissionsverhaltens kategorisieren lassen. So ist auffällig, dass sich beispielsweise Geräte mit der oben genannten 20 dB/Dekade-Charakteristik besonders gut dafür eignen, um mit Hilfe von Transferfunktionen das spätere Emissionsverhalten im eingebauten Zustand vorherzusagen. Weitere Messungen werden zeigen, wie die Abstrahlcharakteristik von Komponenten sein muss, damit ein solches 20 dB/Dekade-Verhalten auftritt.

## 5. Messung von Transferfunktionen am Fahrzeug

Ein weiterer Untersuchungspunkt ist die Messung von Transferfunktionen direkt am Fahrzeug. Dazu wird ein Netzwerkanalysator verwendet, der an verschiedenen Punkten des Kabelbaums einkoppelt. Der Eingang der Netzwerkanalysators wird an die fahrzeugeigenen Rundfunkantenne angeschlossen und so die Transferfunktion gemessen (Bild 4).

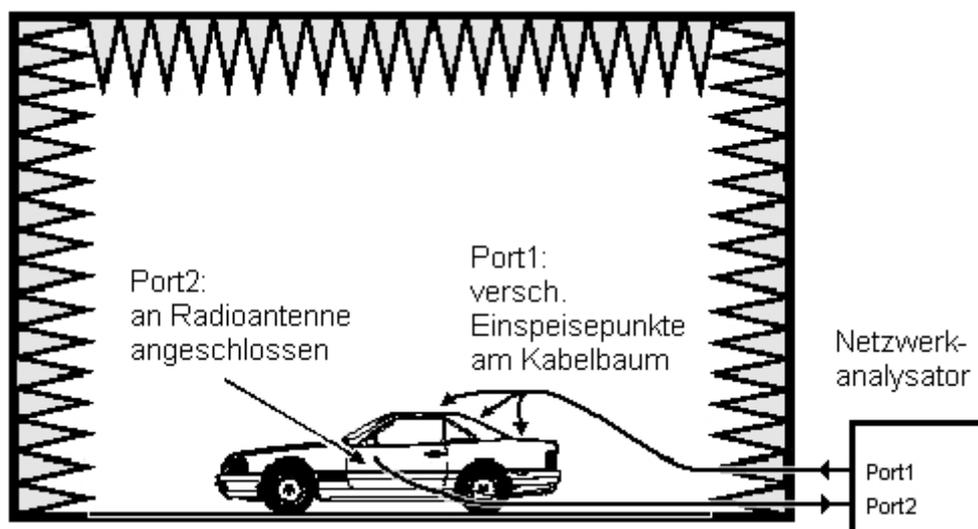


Bild 4: Messaufbau bei Antennen und Stromzangenmessung

Diese Messungen müssen nicht zwingend in einer geschirmten Kabine durchgeführt werden, da die Einspeiseleistung des Netzwerkanalysators groß genug ist, dass externe Störeinkopplungen keinen nennenswerten Einfluss auf die Messung haben.

Um Transferfunktionen anwenden zu können, wurden noch weitere Messungen durchgeführt, deren prinzipieller Aufbau in Bild 5 zu sehen ist. Zum einen wurde die Funkstörspannung einer modifizierten Serienkomponente bzw. eines Standardstörers im EMV-Labor gemessen. Die Messungen wurden über den in der

KFZ-Norm vorgesehenen Frequenzbereich hinaus gemacht, die verwendeten Netzwerknachbildungen erfüllen die Norm für den KFZ-Bereich und sind darüber hinaus für Frequenzen bis 400 MHz spezifiziert. Bei den Messungen im Labor wurde die Peripherie des modifizierten Serieninstrumentes, insbesondere der CAN-Bus nachgebildet, so dass auch im Labor Verhältnisse geschaffen wurden, die denen im eingebauten Zustand möglichst nahe kommen.

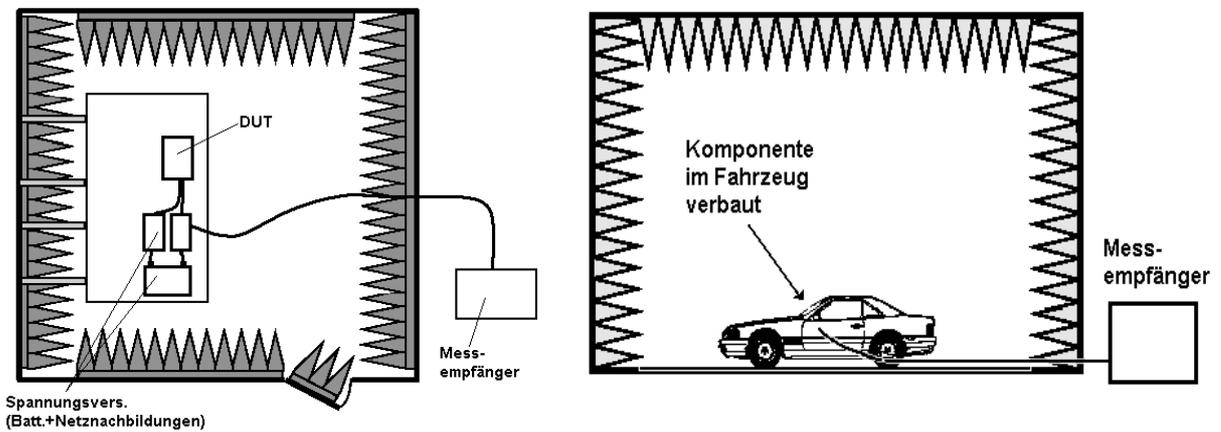


Bild 5: Messaufbau zur Ermittlung der Funkstörspannung an der Netznachbildung und Messung der Störspannung an der Fahrzeugantenne

Die im EMV-Labor vermessene Komponente sowie der Standardstörer wurde dann im Fahrzeug verbaut und die Störspannung am Antennenfußpunkt gemessen. Die Fahrzeugmessungen wurden in einer geschirmten Kabine durchgeführt, damit keine externen Störeinflüsse die Messung beeinträchtigen.

Nachdem die Messwerte die oben beschriebenen Algorithmen durchlaufen haben, sind die Messergebnisse in Bild 6 abgetragen.

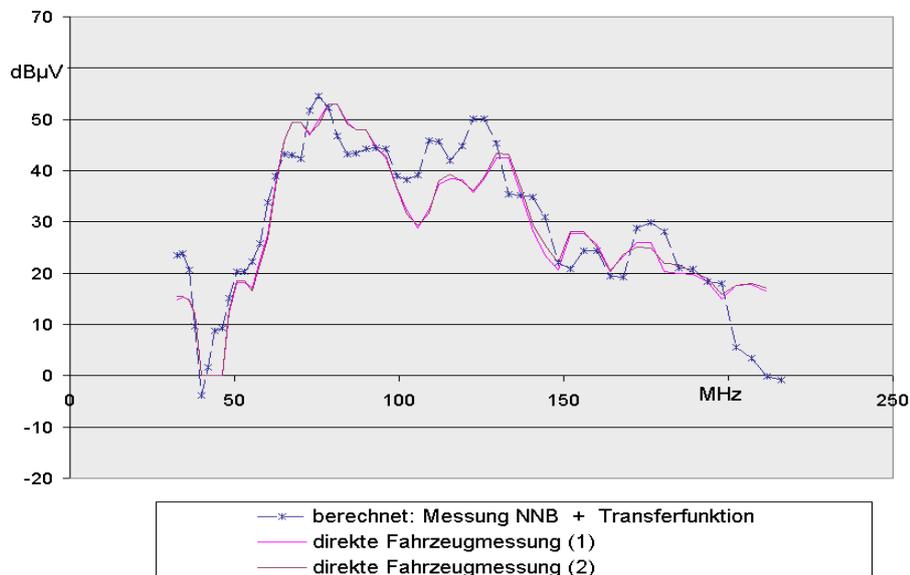


Bild 6: Vergleich von Messung mit Transferfunktion mit direkter Messung

Die erste Kurve zeigt die Emission des im Fahrzeug verbauten modifizierten Seriengerätes, gemessen an der fahrzeugeigenen Rundfunkantenne. Die zweite Kurve setzt sich aus der Messung der Funkstörspannung mit der Netznachbildung im Labor und der gemessenen Transferfunktion vom Fahrzeug zusammen. Der Vergleich zeigt, dass der charakteristische Verlauf sehr gut wiedergegeben wird.

Eine ähnlich gute Übereinstimmung wurde auch bei Messungen mit einem Standardstörer und analogem Aufbau gefunden. Allerdings gibt es auch Komponenten, die eine solche Übereinstimmung nicht zeigen. Hier muss eine Kategorisierung von Steuergeräten durchgeführt werden, damit eine Aussage getroffen werden kann, welche Geräte dafür geeignet sind, dass sich deren Emission im Fahrzeug mittels Transferfunktionen vorhersagen lässt.

Ein Kriterium für diese Kategorisierung ist der unter Kapitel 4 beschriebene Verlauf von 20dB/Dekade, wenn man die Emissionskurven von Stromzange und Antennenmessung in Relation zueinander setzt. Weitere Messungen müssen zeigen, wie die Abstrahleigenschaften von Komponenten beschaffen sein müssen, um dieses Kriterium zu erfüllen. Mit Hilfe der frequenzabhängigen Korrelationsfaktoren können so einzelne Komponenten kategorisiert werden.

Die Transferfunktionen selbst können dazu herangezogen werden, um verschiedene Einbauräume in Fahrzeugen zu kategorisieren. Untersuchungen an einem realen Fahrzeug haben gezeigt, dass Transferfunktionen für Komponenten an geometrisch ähnlichen Einbauorten oft ähnliche Verläufe aufweisen (Bild 7). Gemessen wurde die Transferfunktion von verschiedenen Einkoppelpunkten aus zur Fahrzeugantenne.

Vergleich verschiedener Einkoppelpunkte im Kabelbaum

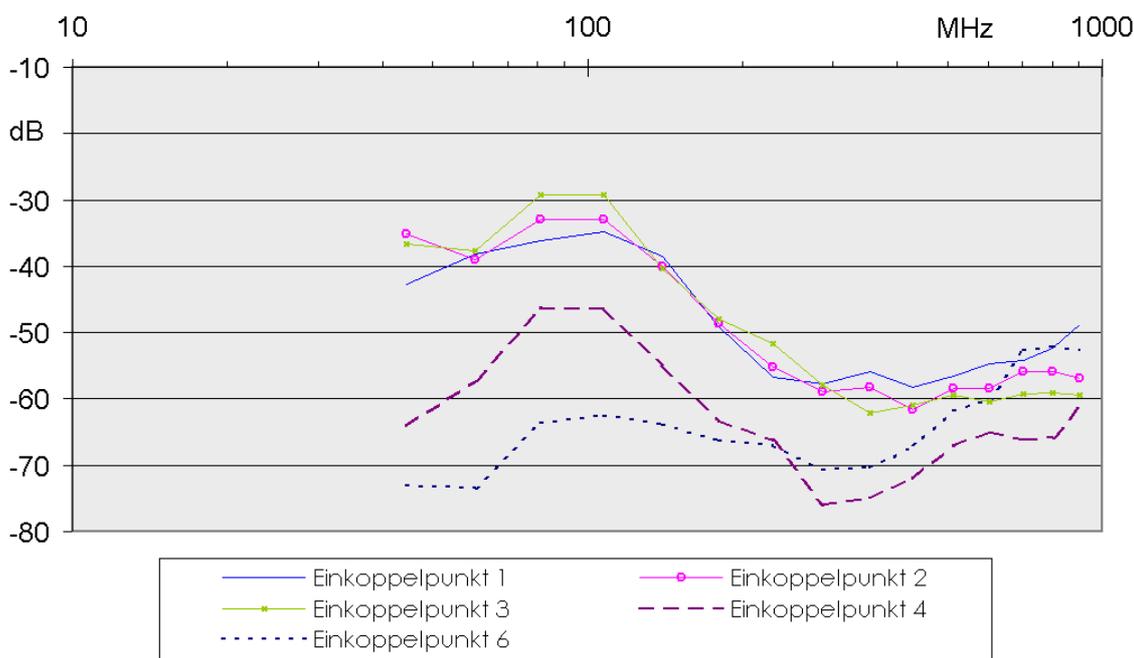


Bild 7: Vergleich verschiedener Einkoppelpunkte im Kabelbaum (dB $\mu$ V Einkoppelpunkt bezogen auf dB $\mu$ V Antennenfußpunkt)

Die Einkoppelpunkte 1, 2 und 3 liegen geometrisch nahe beieinander, die Punkte 4 und 6 dagegen weiter entfernt. Messungen von Übertragungsfunktionen zeigen, dass Transferfunktionen von nahe beieinanderliegenden Einkopplungspunkten meist einen ähnlichen Verlauf zeigen. Somit können verschiedene Verbauorte [3] definiert werden, die eine ähnliche Übertragungscharakteristik aufweisen. Messungen an verschiedenen Fahrzeugen müssen klären, inwiefern sich Transferfunktionen an geometrisch ähnlichen Einbauorten von Fahrzeug zu Fahrzeug verhalten. Da die Transferfunktionen sich bereits zu einem sehr frühen Entwicklungsstadium aus den vorhandenen CAD-Daten berechnen lassen [4], kann damit eine erste Abschätzung hinsichtlich der zu erwartenden Emissionspegel getroffen werden.

## **6. Zusammenfassung**

Immer kürzer werdende Entwicklungszeiten in der Automobilindustrie erfordern, dass Aussagen zur EMV des Fahrzeugs möglichst frühzeitig geschehen können. Dazu ist es notwendig, dass für die verbauten Komponenten bereits frühzeitig Grenzwerte festgelegt werden können. Mit Hilfe von Korrelationsbetrachtungen verschiedener Labor-Messmethoden ist eine Kategorisierung von Komponenten hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens möglich. Dazu wurde ein Algorithmus entwickelt, der es erlaubt, die Messdaten von unterschiedlichen Messmethoden miteinander zu vergleichen und daraus eine Kategorisierung zu erhalten.

Mittels Transferfunktionen kann dann das zu erwartende Emissionsverhalten einzelner Komponenten im eingebauten Zustand abgeschätzt werden. Mit diesen Transferfunktionen ist auch eine Kategorisierung von Einbauräumen im Fahrzeug möglich. Damit kann beurteilt werden, welche Koppelmechanismen die vorherrschende Rolle spielen und welches die geeignetsten Einbauräume für bestimmte Komponenten sind. So können Steuergeräte ihrer Störemission entsprechend günstig platziert werden.

## **7. Referenzen:**

- [1] CISPR 25: "Limits and methods of measurement of radio interference characteristics for the protection of receivers used on board vehicles"
- [2] M.O'Hara, J.Colebrooke: "Automotive EMC test harnesses: Standard lengths and their effect on radiated emissions"
- [3] M.Richter, S.Frei, C.Lippert: "EMV-Prozesse und Tools für eine baureihenübergreifende Elektronikentwicklung"
- [4] Neumayer, R.; Stelzer, A.; Haslinger, F.; Steinmair, G.; Tröscher, M.; Held, J.; Unger, B.; Weigel, R.: "Numerical EMC Simulation for automotive applications", IEEE 2003