

Einsatz von Transferfunktionen zur Klassifizierung von Einbauorten elektronischer Steuergeräte im Kraftfahrzeug

Dipl. Ing. Michael Zerrer, Dr.-Ing. Wolfgang Köhler, Prof. Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen, Prof. Dr.-Ing. Kurt Feser, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart, Dr. Martin Aidam, Daimler AG, Stuttgart

1. Kurzfassung

Durch die stetig steigende Anzahl von elektrischen und elektronischen Systemen in modernen Fahrzeugen kommt der EMV in Fahrzeugen eine immer größere Rolle zu. Sinkende Entwicklungszeiten der Fahrzeuge erlauben EMV-Messungen erst zu einem relativ späten Zeitpunkt im Entwicklungszyklus.

Mit Hilfe von Transferfunktionsmessungen können verschiedene Einbauorte im Fahrzeug hinsichtlich ihres elektromagnetischen Störverhaltens kategorisiert werden. Charakteristische Transferfunktionen und prinzipielle Zusammenhänge von Messungen aus aktuellen Fahrzeugen können dabei auf zukünftige Entwicklungen übertragen werden und somit das EMV-Verhalten bereits im Vorfeld abgeschätzt werden.

2. Einleitung

Immer kürzer werdende Entwicklungszeiten und die stetige Anzahl an elektrischen und elektronischen Steuerkomponenten erfordern neue Wege, die EMV in modernen Fahrzeugen sicherzustellen. Insbesondere der Eigenstörsicherheit kommt dabei eine besondere Rolle zu. Dazu gehört vor allem der störungsfreie Rundfunkempfang sowie der ungestörte Betrieb weiterer im Fahrzeug verbauten Kommunikations- und Empfangsdienste wie Navigationssysteme (GPS), TV, Mobilfunk etc. Für diese Empfangssysteme werden im Fahrzeug je nach Frequenzbereich verschiedene Antennen verbaut.

Von der im Fahrzeug eingesetzten Bordelektronik dürfen neben den gesetzlichen Anforderungen (CISPR 25 [1]) keine unzulässigen Störungen auf diese Antennen eingekoppelt werden. Wegen der stetig wachsenden Komplexität und den stetig sinkenden Entwicklungszeiten ist es notwendig, dass Grenzwerte für die einzelnen im Fahrzeug verbauten Steuerkomponenten bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Entwicklungszykluses zur Verfügung stehen.

Transferfunktionen können dabei helfen, bereits am Anfang eines Entwicklungszykluses das Störpotential verschiedener Einbauorte abzuschätzen. Kritische Frequenzbereiche können damit beispielsweise dem Zulieferer von Komponenten frühzeitig mitgeteilt werden.

Zur Messung von Transferfunktionen wird an unterschiedlichen Stellen des Kabelbaums von verschiedenen Fahrzeugen mit einem Netzwerkanalysator ein HF-Signal eingekoppelt. Die Einkopplung kann direkt galvanisch an den Steckverbindern

eines Steuergerätes erfolgen, oder auch über eine Stromzange, die in einen Kabelbaumabschnitt oder in einzelne Adern induktiv einkoppelt. Als Auskoppelpunkt werden die im Fahrzeug verbauten Antennen verwendet, insbesondere die Rundfunkantenne und die Mobilfunkantenne. Diese Antennen sind in den meisten modernen Fahrzeugen serienmäßig verbaut und können mit relativ geringem Aufwand messtechnisch angeschlossen werden. Auf diese Weise können charakteristische Transferfunktionen für verschiedene Einbauorte im Fahrzeug gewonnen werden und unterschiedliche Einbauorte dementsprechend kategorisiert werden.

3. Messaufbau

3.1. Messung von Streuparametern

Streuparameter werden verwendet, um sogenannte Zweitore zu charakterisieren. Wie in Bild 1 gezeigt, können Zweitore durch deren Eingangs- und Ausgangsspannungen bzw. -ströme beschrieben werden. Dabei beschreiben die Streuparameter die Transmissions- und Reflexionseigenschaften des Zweitores.

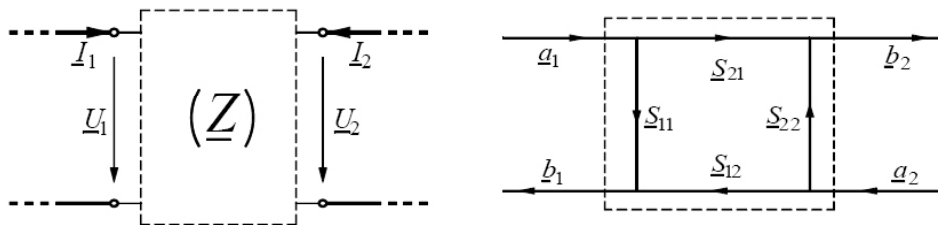


Bild 1: Streuparameter eines Zweitors

Mit einem Netzwerkanalysator können aus den Ein- und Ausgangsspannungen die S-Parameter S_{21} und S_{11} gemessen werden. Die Gleichungen 1 und 2 zeigen die Definition dieser Streuparameter. S_{21} wird dabei als Transmissionsfaktor bezeichnet, S_{11} ist der Reflexionsfaktor.

$$S_{21} = \left(\frac{U_{r2}}{U_{h1}} \right)_{U_{h2}=0} = \left(\frac{b_2}{a_1} \right)_{a_2=0} \quad (1)$$

$$S_{11} = \left(\frac{U_{r1}}{U_{h1}} \right)_{U_{h2}=0} = \left(\frac{b_1}{a_1} \right)_{a_2=0} \quad (2)$$

Gleichungen 1 und 2: Definition der Streuparameter S_{21} und S_{11} aus den Spannungen am Zweitor

Bei Transferfunktionmessungen im Fahrzeug werden zunächst die S_{21} Parameter gemessen. Die Reflexionsfaktoren S_{11} an den Einkoppelstellen werden zusätzlich aufgezeichnet und die Transmissionsmessungen so korrigiert, dass nur der tatsächlich ins Fahrzeug eingekoppelte Anteil berücksichtigt wird (siehe Kapitel 3.3).

3.2. Messaufbau am Fahrzeug

Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau zur Ermittlung von Transferfunktionen von verschiedenen Stellen am Kabelbaum zur eingebauten Antenne im Fahrzeug. Dazu wird der Kanal 2 (Empfangskanal) des Netzwerkanalysators mit der eingebauten Radio- oder Mobilfunkantenne verbunden.

Viele moderne Fahrzeuge besitzen für die Radioantenne ein sogenanntes Diversity-System, das über mehrere unterschiedliche Antennen verfügt und jeweils die Antenne mit der besten Signalstärke als Empfangsantenne auswählt. Ein Umschalten während einer Messung würde zu unbrauchbaren Ergebnissen führen. Zur Messung von Transferfunktionen wird deshalb das Diversity-System deaktiviert und nur die Hauptempfangsantenne verwendet.

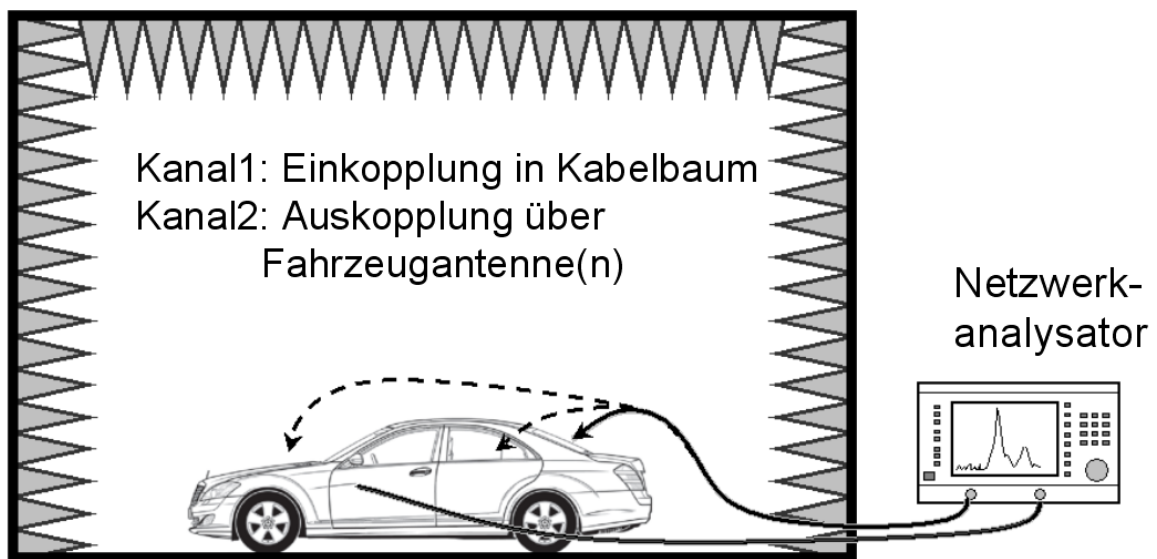


Bild 2: Schematischer Aufbau zur Ermittlung von Transferfunktionen im Fahrzeug

Der Kanal 1 des Netzwerkanalysators wird mittels einer Einkoppelvorrichtung mit unterschiedlichen Steckern im Fahrzeug verbunden.

Bild 3 zeigt eine solche Einkoppelvorrichtung, die auf einen Stecker im Fahrzeug aufgesteckt ist. Vor dem Einstecken in die Pins des Steckers werden Messungen durchgeführt, die sicherstellen, dass über die Masseleitung des Netzwerkanalysators keine Kurzschlüsse entstehen.

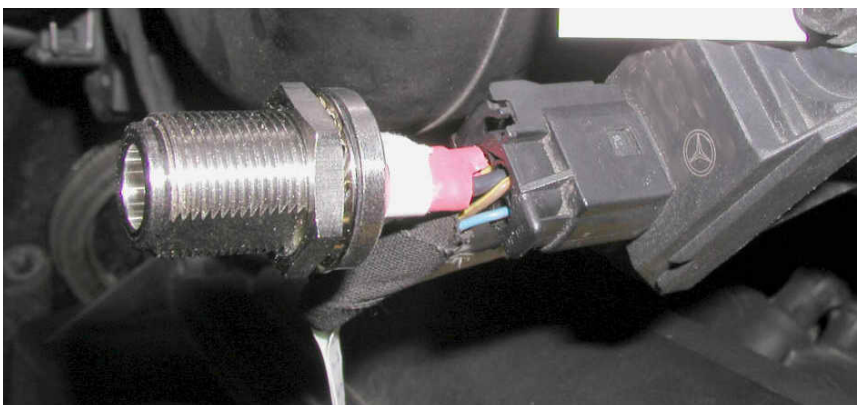


Bild 3: Aufgesteckte Einkoppelvorrichtung im Fahrzeug

Außerdem können dadurch die Einflüsse der zusätzlichen Impedanz auf der Masseleitung minimiert werden.

Mit dieser Messanordnung werden Messungen an Steckverbindern im gesamten Fahrzeug durchgeführt. Der verwendete Netzwerkanalysator erlaubt Messungen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 4 GHz. Je nach verwendeter Antenne können so unterschiedliche Frequenzabschnitte gewählt werden.

3.3. Korrektur der Transmissionsmessungen mit S_{11}

Die interne Impedanz des Netzwerkanalysators beträgt im gesamten vermessenen Frequenzbereich 50 Ohm. Bei galvanischer Einkopplung ist der Impedanzverlauf an den Schnittstellen von der Frequenz abhängig und nicht zwingend auf die Verhältnisse des Netzwerkanalysators angepasst. Dies hat zur Folge, dass ein Teil der Ausgangsspannung des Netzwerkanalysators nicht in den Kabelbaum eingekoppelt wird, sondern an der Stoßstelle reflektiert wird. Der reflektierte Anteil wird als S_{11} gemessen. Damit werden die S_{21} Messungen dahingehend korrigiert, dass nur die tatsächlich in den Kabelbaum eingekoppelte Spannung zur Berechnung von S_{21} herangezogen wird. Die Genauigkeit der S_{21} Messungen steigt dadurch beträchtlich.

4. Aufarbeitung der Messdaten

Die Messwerte des Netzwerkanalysators werden zunächst mathematisch aufbereitet. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Messwerte, die zu nahe am Rauschen liegen, keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Außerdem werden die Messungen statistisch so bearbeitet, dass z.B. minimale geometrische Veränderungen [2] und daraus resultierende Resonanzverschiebungen einen möglichst kleinen Einfluss auf die Auswertung haben. Dies wird erreicht, indem der gesamte Frequenzbereich in mehrere Frequenzabschnitte unterteilt wird, die sich gegenseitig überlappen und die unabhängig voneinander bearbeitet werden [3]. Auf die Daten innerhalb jeden Frequenzabschnittes werden statistische Verfahren angewendet. Dadurch entsteht eine neue, datenreduzierte Kurve, die aber weiterhin die gleiche Charakteristik wie die Originalkurve aufweist.

5. Ergebnisse der Messungen

5.1. Einfluss des Antennenverstärkers

Bild 4 zeigt Messergebnisse von Transferfunktionen zweier Steckverbinder zu der im Fahrzeug eingebauten Radioantenne. Die Transferfunktion entspricht dem Verhältnis der eingekoppelten Spannung des Netzwerkanalysators zur Antennenfußpunktspannung an der Empfangsantenne. Da beide gemessene Größen eine Spannung sind, ist das Verhältnis einheitslos und wird in den Diagrammen in dB angegeben. Die Transferfunktionen werden einmal mit aktivem Antennenverstärker durchgeführt (Radio an) zum andern ist der Antennenverstärker deaktiviert (Radio aus). Die meisten modernen Fahrzeuge besitzen einen Antennenverstärker, der mit dem Radio an- bzw. ausgeschaltet wird und im Bereich von ca. 60 bis 120 MHz eine Verstärkung von etwa 20 dB aufweist.

Auch die im Bild 4 aufgezeichneten Kurven zeigen diese Verstärkung in dem entsprechenden Frequenzband.

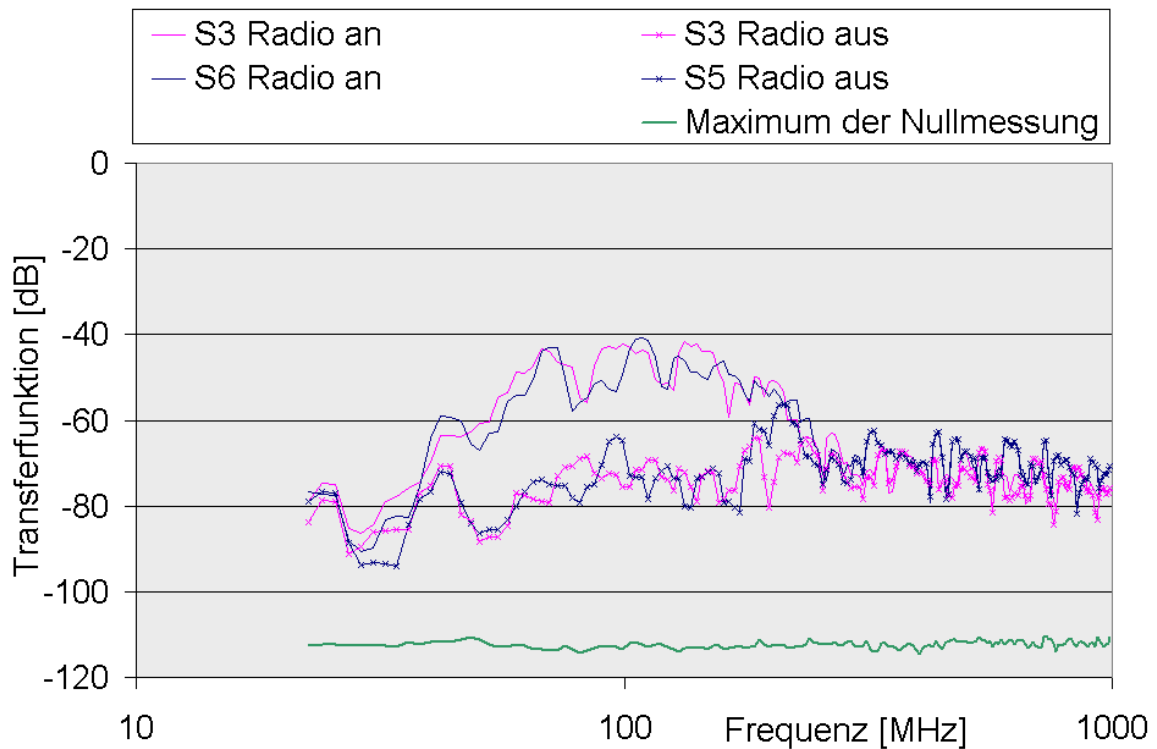


Bild 4: Vergleich der Transferfunktionen zweier Einkoppelpunkte mit aktivem bzw. ausgeschaltetem Antennenverstärker

Die Differenz der Kurven ‚Antennenverstärker an‘ und ‚Antennenverstärker aus‘ geben Aufschluss, an welcher Stelle die hauptsächlichste Einkopplung von dem gemessenen Stecker aus stattfindet. Bei Einkoppelpunkten, deren Transferfunktion den gesamten Verstärkungshub von ca. 20 dB aufweist, kann davon ausgegangen werden, dass die hauptsächlichste Einkopplung über die Radioantenne, also **vor** dem Antennenverstärker stattfindet. Das Ein- und Ausschalten des Verstärkers äußert sich in diesen Fällen in einer Pegeldifferenz, die etwa der Verstärkung des Antennenverstärkers entspricht.

Während die Transferfunktionen der meisten Einkoppelpunkte sich so verhalten, gibt es auch andere Steckverbinder, bei welchen die Differenz zwischen aktivem bzw. inaktivem Antennenverstärker deutlich geringer ausfällt. Dies bedeutet, dass die hauptsächlichste Einkopplung **nach** dem Antennenverstärker geschieht, beispielsweise auf dem Kabelstück zwischen dem Antennenverstärker und dem Autoradio oder über die Spannungsversorgungsleitungen des Verstärkers. Je größer der Anteil dieser Einkopplung ist, desto kleiner ist der Unterschied zwischen den Transferfunktionen von an- bzw. ausgeschaltetem Antennenverstärker.

5.2. Einfluss von Symmetrien im Fahrzeug

Betrachtet man ein Fahrzeug von oben, kann man eine Symmetrieachse durch die Mitte legen, die das Fahrzeug in eine linke und eine rechte Hälfte aufteilt. In Bezug zu dieser Längsachse gibt es viele Stecker, die symmetrisch zueinander liegen,

beispielsweise Sensoren an den Federbeinen oder die Bedienelemente der Fensterheber im Fahrgastraum.

Bild 5 zeigt den Verlauf von zwei Transferfunktionen, deren Einkoppelpunkte eine solche Symmetrie aufweisen. Der dargestellte Frequenzbereich erstreckt sich von 500 MHz bis 2500 MHz, die Empfangsantenne ist in diesem Beispiel die Mobilfunkantenne. In dem Schaubild zeigen sich auch die aktiven Bereiche des integrierte Antennenverstärkers um 900 MHz und 1800 MHz.

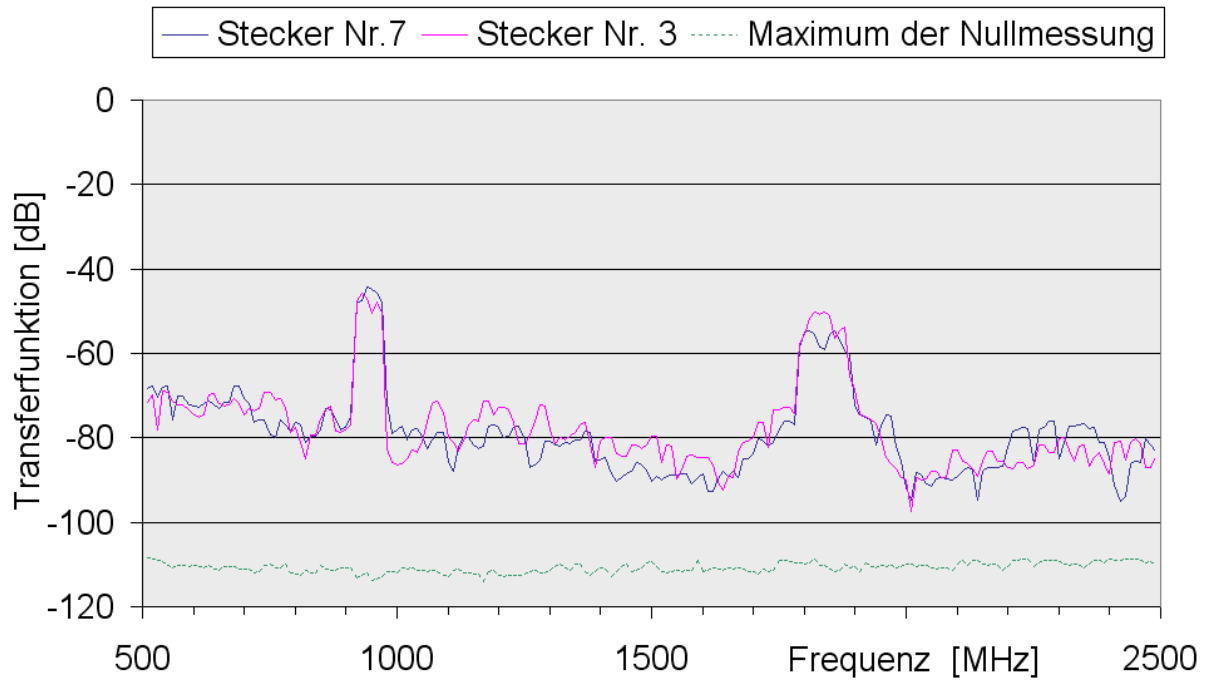


Bild 5: Vergleich der Transferfunktionen zweier Stecker mit Symmetrie zur Längsachse des Fahrzeugs

Die beiden Kurvenverläufe sind sich sehr ähnlich, obwohl der eine Einkoppelpunkt weit rechts und der andere weit links im Fahrzeug liegt. Weiterhin ist bemerkenswert, dass bei diesem Fahrzeug die Empfangsantenne für den Mobilfunk nicht in der Mitte des Fahrzeugs sitzt, sondern auf dem linken hinteren Kotflügel. Trotzdem ist eine ausgeprägte Übereinstimmung der Transferfunktionen bei nahezu allen Steckern mit Symmetrie zur Längsachse des Fahrzeugs zu beobachten.

5.3. Einkopplung in verschiedene Kabelabgänge eines Multi-Pin-Steckers

Bei einem Stecker mit mehreren Kabelabgängen können verschiedene Transferfunktionen gemessen werden, indem die Einkoppeleinrichtung in unterschiedlichen Kombinationen eingesteckt wird. Dadurch werden unterschiedliche Adern angeregt und jeweils die Transferfunktion zur Antenne gemessen.

Bild 6 zeigt die Transferfunktionen eines Steckers, wobei die Einkoppelvorrichtung in verschiedenen Positionen eingesteckt wurde. Die unterschiedlichen Einsteckpositionen sind im Diagramm mit den Buchstaben a, b, c, d und e bezeichnet. Die jeweiligen Transferfunktionen sind nahezu deckungsgleich und können durch eine durchschnittliche, charakteristische Transferfunktion ersetzt werden.

Ebenso zeigen die Transferfunktionen von Steckverbindern, die geometrisch nahe beieinander liegen, oft auch dieses Verhalten [4]. Diesem Ort kann dann ebenfalls eine charakteristische Transferfunktion zugewiesen werden.

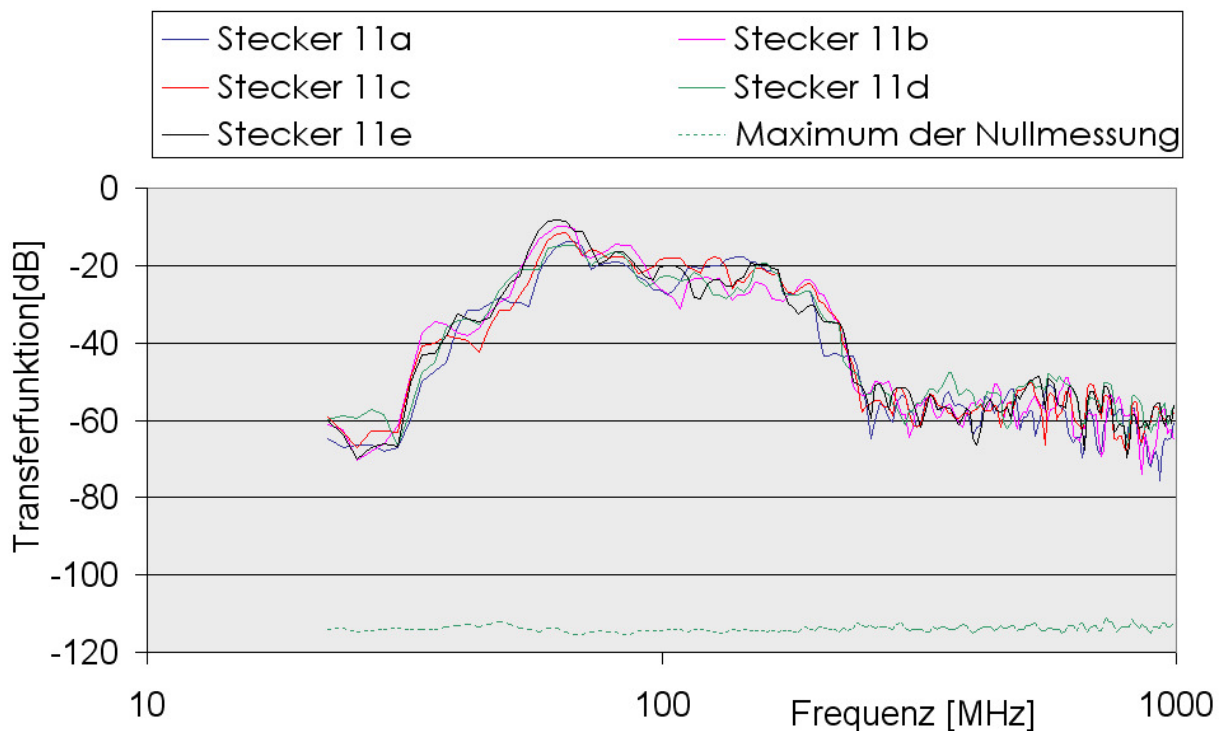


Bild 6: Vergleich der Transferfunktionen verschiedener Einkoppelpositionen an einem Multi-Pin-Stecker

6. Zusammenfassung

Mit Hilfe von Transferfunktionen können verschiedene Einbauräume in Fahrzeugen kategorisiert werden. Diese Klassifizierung und charakteristische Transferfunktionen geben Aufschlüsse über die EMV-Emissionen des Fahrzeugs, insbesondere die Eigenstörfestigkeit in Hinblick auf den Rundfunkempfang und weiterer im Fahrzeug verbauten Empfangsantennen (Mobilfunk, GPS, Radar, etc.). Dies gilt auch insbesondere in Bezug auf die Platzierung von Komponenten und Steuergeräten im Fahrzeug.

So zeigen geometrisch nahe beieinanderliegende Einkoppelpunkte in den meisten Fällen sehr ähnliche Transferfunktionen und können durch eine charakteristische Transferfunktion ersetzt werden.

Einkoppelpunkte mit Symmetrie zur Längsachse zeigen ebenfalls ähnliche Transferfunktionen, insbesondere im Bereich des Mobilfunks, obwohl dort teilweise die Empfangsantenne nicht in der Nähe der Längsachse, also unsymmetrisch am Fahrzeug angebracht ist.

Zusätzliche Messungen müssen zeigen, welche weiteren grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten bei Transferfunktionen in Fahrzeugen eine vorherrschende Rolle spielen.

Solche Erkenntnisse können dann bereits in einem frühen Stadium der Fahrzeugentwicklung eingesetzt werden, um noch vor der Verfügbarkeit eines Vorserienmodells die EMV-Eigenschaften verschiedener Einbauorte in verschiedenen Frequenzbereichen abschätzen zu können.

7. Referenzen

- [1] CISPR 25: "Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, boats, and on devices – Limits and methods of measurement", IEC 2002
- [2] M.O'Hara, J.Colebrooke: "Automotive EMC test harnesses: Standard lengths and their effect on radiated emissions" York EMC, 2003
- [3] M. Zerrer, M. Aidam, K. Feser, S. Tenbohlen, W. Köhler: "Korrelation verschiedener Messmethoden mit Hilfe der Statistik", GMM-Fachtagung, 2005
- [4] M. Zerrer, M. Aidam, K. Feser, S. Tenbohlen, W. Köhler: „Estimation of Electromagnetic Coupling Phenomena in a Vehicle Wiring Harness Using Characteristic Transfer Functions“, EMC Zurich, 2007