

# Optimierung von kleinen Schirmgehäusen

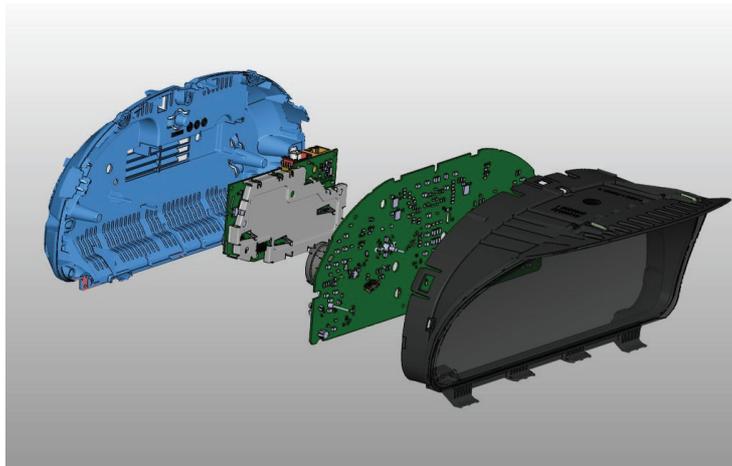
Dr.-Ing. Peter Reiser, Johnson Controls, Automotive Electronics & Interiors,  
Karlsruhe, Deutschland

Kevork Muhtaroglu, Johnson Controls, Automotive Electronics & Interiors,  
Karlsruhe, Deutschland

Chakrapani Nandyala, Johnson Controls, Automotive Electronics & Interiors,  
Pune, India

## 1 Einleitung

Die Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen, wie z. B. Kombiinstrumente oder Navigationsgeräte, erfordern den Einsatz von leistungsstarken Mikrocontrollern und externen Speicherbausteinen, die über Datenleitungen mit hohen Taktraten angesteuert werden. Dabei ist immer öfter eine Schirmung auf oder innerhalb der Baugruppenebene notwendig, wie man dies z. B. von Tunerboxen in Radiosystemen kennt. In Abbildung 1 ist eine geschirmte Baugruppe zu sehen, die aus einem Metalldeckel und einer Bodenplatte besteht. Als Bodenplatte dient eine durchgehende GND-Plane einer Multilayerplatine, die mit dem Deckel über Kontaktstellen verbunden ist.



**Abbildung 1: Kombiinstrument mit geschirmter Baugruppe**

Die Schirmwirkung ist dabei maßgeblich von der Kontaktierung des Deckels mit der Leiterplatte abhängig. Mit einer Abstrahlungsmessung des Gesamtsystems ist die Schirmwirkung nicht mehr eindeutig zuordenbar, weil Abstrahlungen von anderen Baugruppen oder direkt vom Kabelbaum auch in das Messergebnis eingehen.

Damit die mechanischen Werkzeuge in Auftrag gegeben werden können, ist eine Abschätzung der Schirmwirkung schon in einem frühen Projektstadium notwendig. Zu diesem Zeitpunkt stehen in der Regel nur eingeschränkt funktionierende Elektronikkomponenten zur Verfügung. Deshalb geschieht die Optimierung des Gehäuses dann mit Hilfe von Simulationen, wie dies in Abbildung 2 dargestellt ist.

In diesem Beitrag wird das messtechnische Vorgehen zur Ermittlung der Schirmdämpfung gezeigt. Dann wird die Korrelation zur Simulation erläutert, die erforderlich ist, damit das Simulationsmodell zur Optimierung des Schirmgehäuses eingesetzt werden kann.

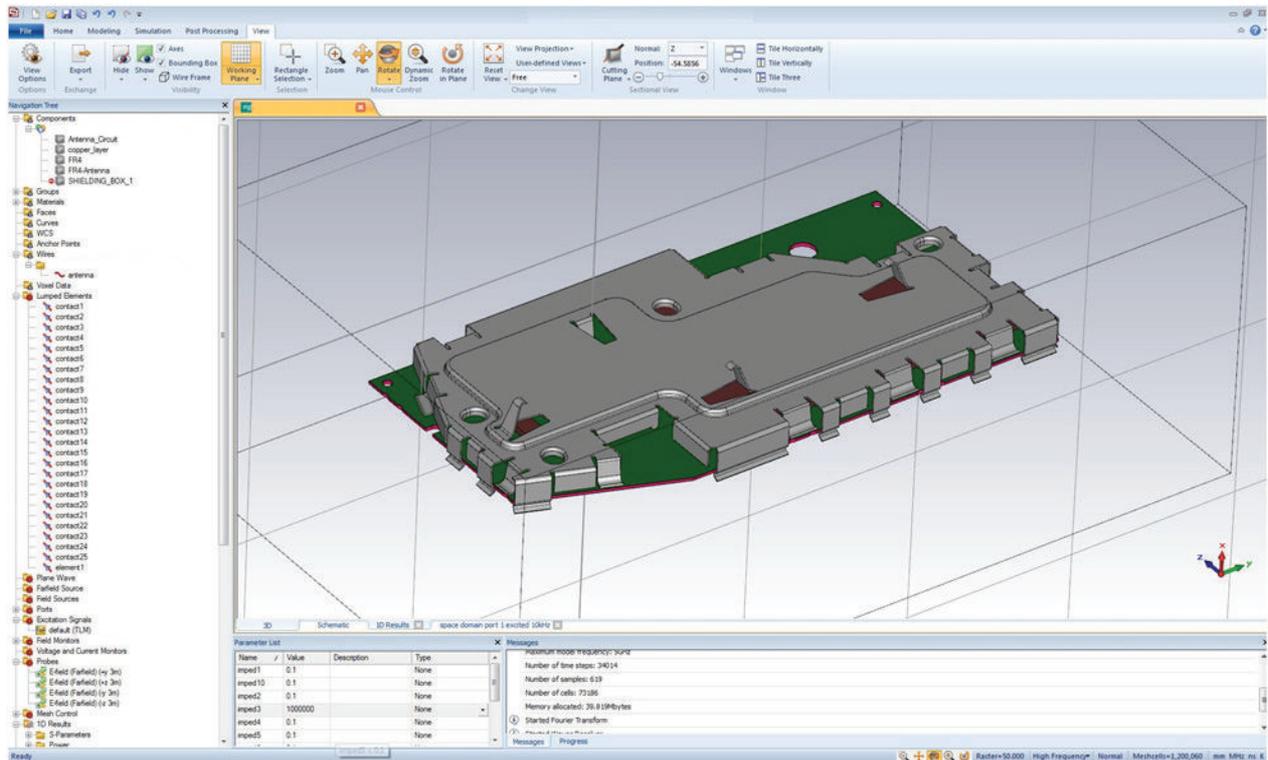


Abbildung 2: Simulationsmodell

## 2 Messaufbau

### 2.1 Einfügungsdämpfungsmessung

Zur Überprüfung der Gehäuseeigenschaften haben sich Schirmdämpfungsmessungen nach dem Prinzip der Einfügedämpfung (Substitutionsmethode) etabliert. Dabei gibt es prinzipiell zwei unterschiedliche Messaufbauten. Bei dem einen ist die Anregung außerhalb und die Empfangsantenne im zu testenden Gehäuse untergebracht (z.B. EN 61000-5-7 [3]), wie dies auch bei einer Immunitätsprüfung der Fall ist. Bei dem anderen Messprinzip ist die Anregung im Gehäuse und die Empfangsantenne befindet sich außerhalb (z.B. EN 61587-3) [4], was einer Emissionsmessung entspricht. Beide Messverfahren haben gemeinsam, dass zuerst eine Referenzmessung ohne Schirmgehäuse durchgeführt wird, bei der die Übertragung zwischen Sende- und Empfangsantenne gemessen wird. Dann wird mit dem Schirmgehäuse eine erneute Messung durchgeführt.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau einer solchen Schirmdämpfungsmessung mit der Anregung innerhalb des Gehäuses. Zunächst wird der Referenzpegel  $a_0$  bzw. die Feldstärke  $E_0$  ohne Gehäuse ermittelt, danach wird die Empfangsantenne in das Gehäuse eingebaut und der Pegel  $a_1$  bzw. die Feldstärke  $E_1$  gemessen. Die Schirmdämpfung  $a_s$  errechnet sich aus

$$a_s = a_0 - a_1 = 20 \log_{10} \frac{E_0}{E_1} \quad [\text{dB}] \text{ mit } a_0, a_1 \text{ in dB}\mu\text{V}. \quad (2.1)$$

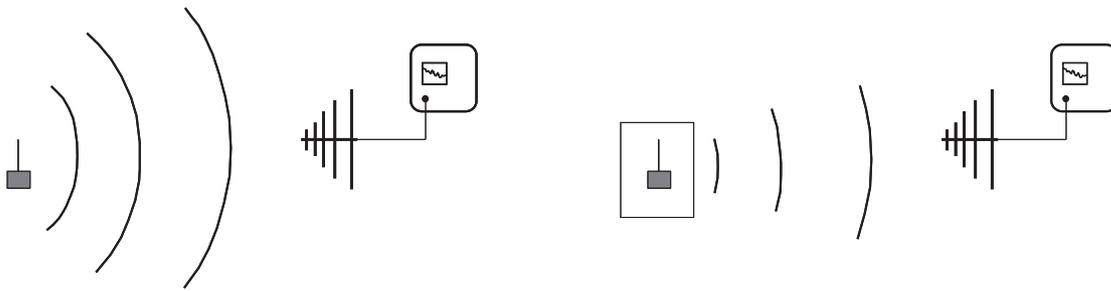


Abbildung 3: a) Referenzmessung

b) Messung mit Gehäuse

Wichtig ist noch der Vergleich der ermittelten Werte mit der Messdynamik. Sie entspricht den messbaren Maximalwerten der Schirmdämpfung. Die Messdynamik, die vom Messaufbau, Verstärkerleistung, Antennen usw. abhängt, sollte möglichst hoch sein. Nur wenn die ermittelte Schirmdämpfung kleiner als die Messdynamik bleibt, kann sie dem Gehäuse zugeordnet werden. Um die Messdynamik zu bestimmen, ersetzt man nach der Referenzpegelmessung die Empfangsantenne durch einen geschirmten Abschlusswiderstand und erhält dann den Rauschpegel  $a_R$ . Die Messdynamik  $MD$  errechnet sich aus

$$MD = a_0 - a_R \quad [\text{dB}] \text{ mit } a_0, a_R \text{ in dB}\mu\text{V}. \quad (2.2)$$

Bei diesen Messungen treten aber sowohl Resonanzeffekte im Gehäuse als auch Wechselwirkungen der Messantennen mit dem Aufbau auf, die zur Verfälschung der Messergebnisse führen [6]. Vor allem die Forderung, dass die Antenne im Innern im Vergleich zu den Gehäusedimensionen klein sein soll, ist bei der Untersuchung von Kleinstgehäusen nicht realisierbar. Denn die zulässigen Dimensionen der Antennen wären so klein, dass keine genügende Empfindlichkeit erreicht wird bzw. keine ausreichende Abstrahlleistung erzeugt werden kann. Im Falle des oben beschriebenen Gehäuses kommt eine Antenne im Innern auch deshalb nicht in Frage, weil schon die dazu notwendigen Durchführungen für die Antennenzuleitung größer als die Gehäusedimensionen sind. Die Untersuchung des Gehäuses wurde deshalb mit Hilfe einer autarken Quelle im Innern des Gehäuses durchgeführt, wie dies im Weiteren beschrieben wird.

## 2.2 Signalerzeugung mit Kammgenerator

Die Schirmdämpfung des Gehäuses wurde über einen Frequenzbereich von 300 MHz – 2,1 GHz untersucht. Die dafür notwendige breitbandige Signalerzeugung erfolgte mit Hilfe eines im Gehäuse untergebrachten Miniaturkammgenerators (Abbildung 4), der mit einem Akku versorgt wurde, welcher ebenfalls im Gehäuse eingebaut war. Dadurch konnte auf Zuleitungen verzichtet werden, deren Antenneneigenschaften zur Verfälschung der Messergebnisse geführt hätten. Außerdem war keine aufwendige Filterung notwendig.

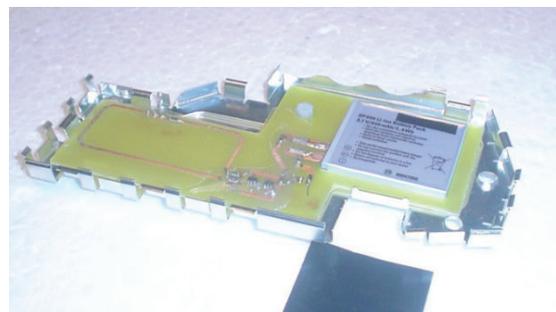


Abbildung 4: Signalerzeugung mit Kammgenerator, im Deckel montiert

Der Kammgenerator speiste eine offene Antennenstruktur, womit eine elektrische Quelle realisiert ist. Durch Schließen eines Schalters wurde über einen Abschlusswiderstand eine Loop-Struktur angeregt, was einer magnetischen Quelle entspricht.

In Abbildung 5 ist das Spektrum dargestellt, das direkt am Ausgang des Kammgenerators mit einem Lastwiderstand von 1 k $\Omega$  gemessen wurde. Das Spektrum zeigt eine deutliche Frequenzabhängigkeit. Diese ist aber bei der Ermittlung der Schirmdämpfung nicht störend, weil hierfür nur die Differenz zwischen Referenz- und Gehäusemessung berücksichtigt wird.

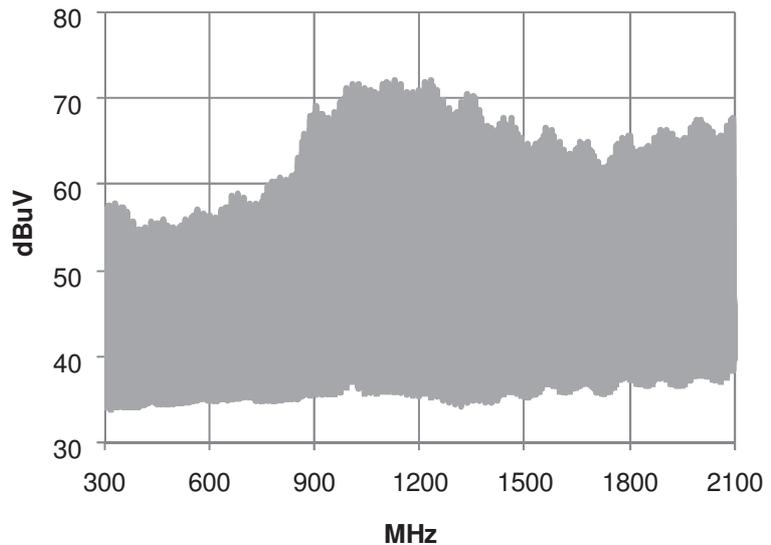


Abbildung 5: Spektrum am Ausgang des Kammgenerators

### 3 Messung in der Absorberhalle

#### 3.1 Abstrahlspektren

Das Störspektrum wurde in der Absorberhalle von 300 MHz bis 2,1 GHz ermittelt. Dabei lag der Prüfling auf einem Holztisch in 90 cm Höhe und zusätzlich auf 5 cm Styropor. Die Antenne war 1 m vom Prüfling entfernt und in einer Höhe von 1 m über dem Hallenboden angebracht. Dieser Aufbau lehnte an die Norm CISPR 25 [1] an, die für Komponentenmessungen von Automobilelektronik verwendet wird. Abweichend von der Norm wurde hier aber keine Metallfläche auf dem Tisch verwendet, um den Einfluss des Gehäuses besser untersuchen zu können.

In Abbildung 6 sind die Abstrahlspektren bei elektrischer und in Abbildung 7 bei magnetischer Anregung gezeigt. Dabei wurde die Darstellung der absoluten Werte gewählt, die die Interpretation der Schirmwirkung einfacher gestaltet. Deutlich ist bei der Referenzmessung in beiden Fällen die höhere Abstrahlung bei horizontaler Polarisation der Empfangsantenne zu sehen. Für den Fall der elektrischen Anregung ist das offensichtlich, weil auch die offene Leiterstruktur horizontal orientiert ist. Aber auch im Fall der magnetischen Anregung war dies zu erwarten, weil auch bei einer magnetischen Anregung, das gemessene elektrische Feld maximal wird, wenn die Antenne in der Ebene der erzeugenden Leiterschleife liegt [5]. Interessant bei der gewählten Gehäusestruktur ist, dass sich aufgrund der Kontaktstellen Schlitzstrahler ergeben, die ebenfalls horizontal angeordnet sind. Allerdings ist das maximale elektrische Feld bei einem Schlitzstrahler senkrecht zum Schlitz zu finden [5], im hier dargestellten Fall in vertikaler Polarisation. In Abbildung 6 und Abbildung 7 ist das daran zu erkennen, dass die Abstrahlspektren bei den Gehäusemessungen (Anregung in das Gehäuse eingebaut) bei vertikaler Polarisation der Empfangsantenne höher ist. Durch den Einbau der Anregung in das Gehäuse erfolgt also eine Drehung der Polarisation.

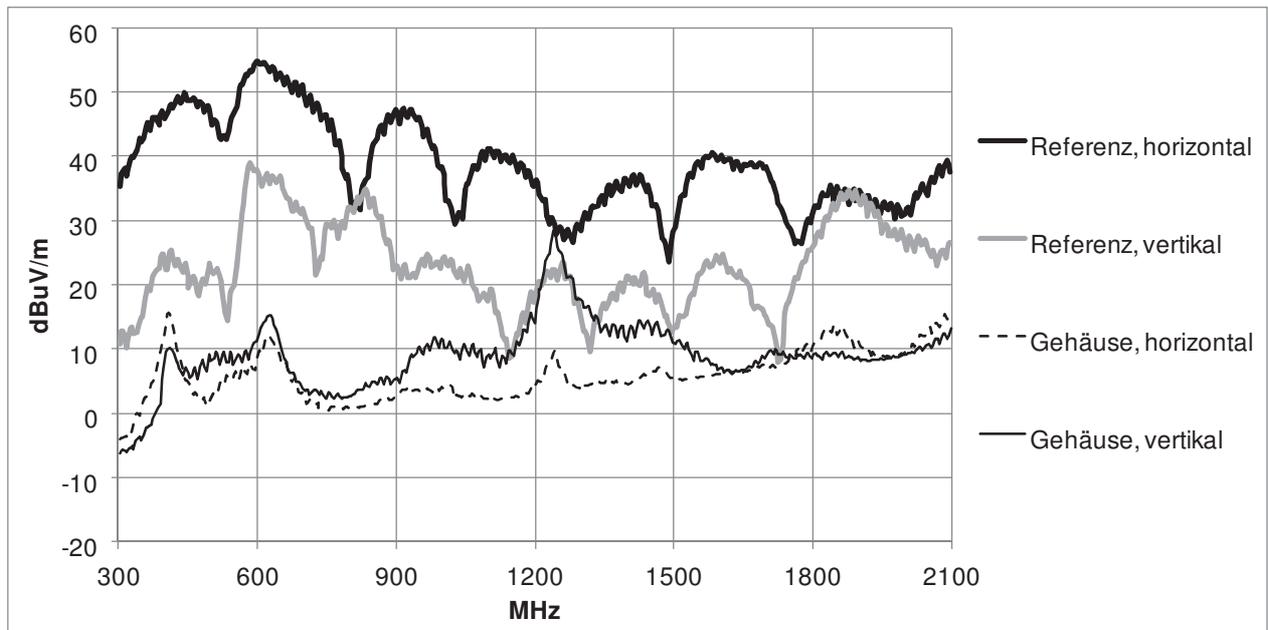


Abbildung 6: Abstrahlspektren bei elektrischer Anregung

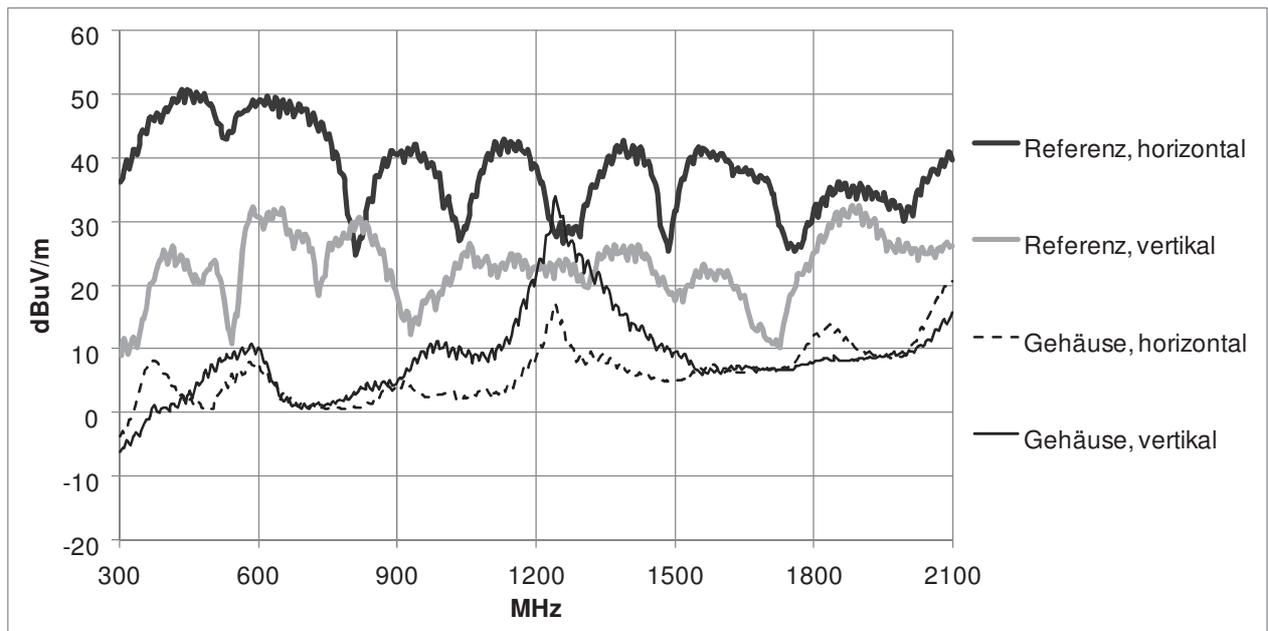


Abbildung 7: Abstrahlspektren bei magnetischer Anregung

### 3.2 Ermittlung der Schirmdämpfung

Ermittelt man die Schirmdämpfung nach der Gleichung 2.1 erhält man im Falle der elektrischen Anregung die in Abbildung 8 gezeigten Schirmdämpfungen für die vertikale und horizontale Polarisation. Die resultierende Schirmdämpfung ergibt sich aus dem Minimum der beiden Kurven, was in diesem Fall weitestgehend der Schirmdämpfung der vertikalen Polarisation entspricht. Der Grund hierfür ist die Drehung der Polarisationsrichtung der Abstrahlung bei Einbau der Anregung in das Gehäuse.

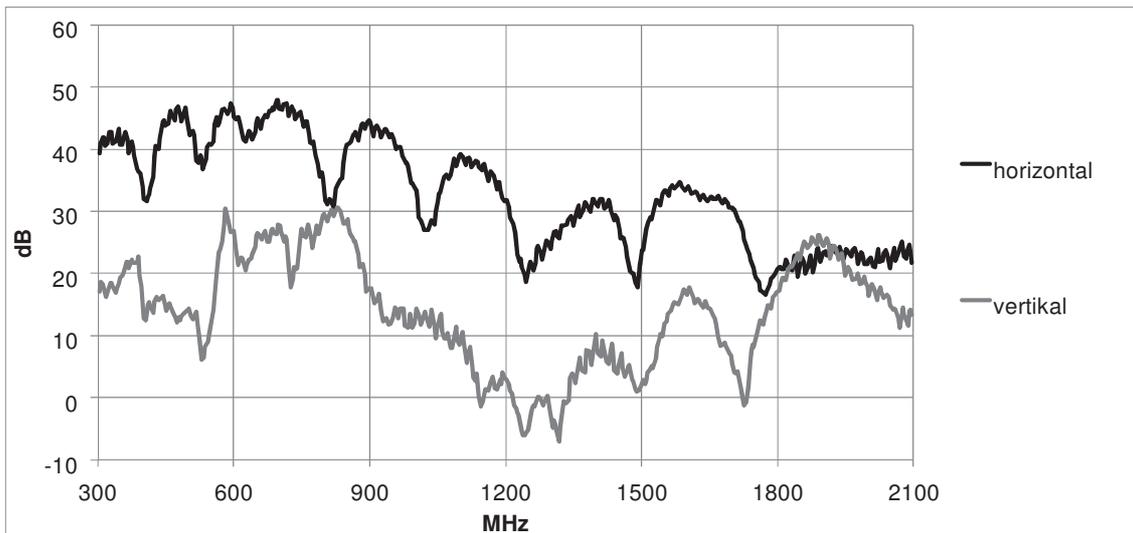


Abbildung 8: Schirmdämpfung bei elektrischer Anregung

### 3.3 Effektive Schirmdämpfung

Die in Abbildung 8 gezeigten Schirmdämpfungen sind für eine Abschätzung der Schirmwirkung des Gehäuses nicht geeignet. Letztendlich müssen bei den Abstrahlungsmessungen für Automobilkomponenten die absoluten Werte durch das Gehäuse soweit gedämpft werden, dass das vorgegebene Limit nicht überschritten wird. Die erreichbare Schirmwirkung für ein Gehäuse kommt deutlicher zum Ausdruck, wenn man eine effektive Schirmdämpfung  $a_{S\_eff}$  wie folgt definiert

$$a_{S\_eff} = \max(a_{0\_ver}, a_{0\_hor}) - \max(a_{1\_ver}, a_{1\_hor}) \quad [\text{dB}] \text{ mit } a_0, a_1 \text{ in dB}\mu\text{V.} \quad (3.1)$$

Dabei sind  $a_{0\_ver}$ ,  $a_{0\_hor}$  die Referenzpegel in vertikaler bzw. horizontaler Polarisation und  $a_{1\_ver}$ ,  $a_{1\_hor}$  die gemessenen Pegel in vertikaler bzw. horizontaler Polarisation, wenn die Anregung in das Gehäuse eingebaut ist. Die effektive Schirmdämpfung ist in Abbildung 9 für die elektrische und die magnetische Anregung gezeigt. Dabei zeigt das Gehäuse eine gute Schirmwirkung bis 1 GHz. Zwischen 1,2 GHz und 1,4 GHz bricht die Schirmdämpfung aufgrund einer Resonanz zusammen.

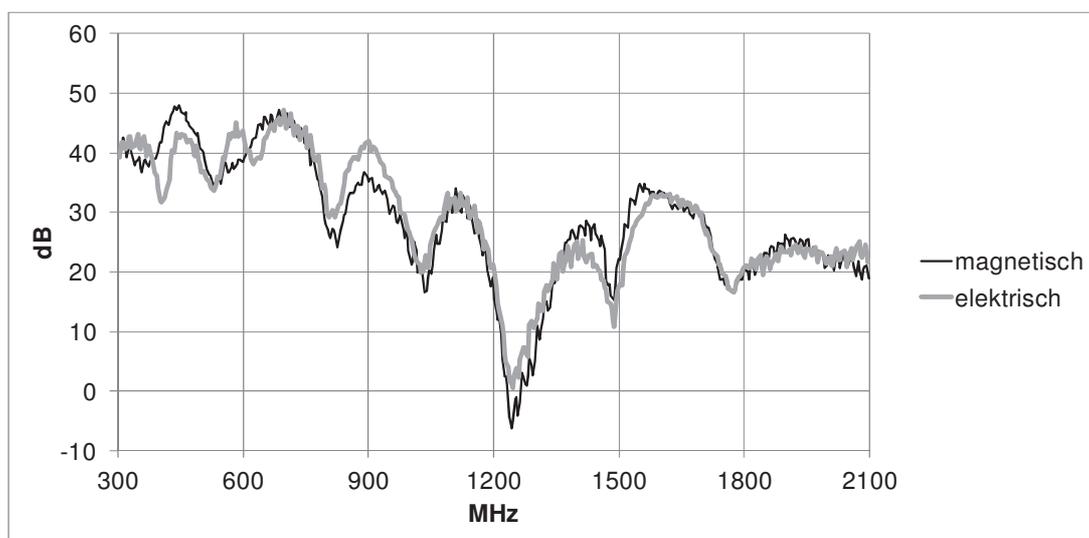


Abbildung 9: Effektive Schirmdämpfung bei elektrischer und magnetischer Anregung

## 4 Simulation

Die Untersuchung der Schirmdämpfung wurde auch mit Hilfe von Simulationen [2] durchgeführt. Der Vorteil dabei ist, dass schon ohne Existenz von ersten Mustern ein Vergleich verschiedener Schirmkonzepte, z.B. unterschiedliche Anzahl und Position von Kontakten, möglich ist. Der Vergleich der Simulationen mit Messergebnissen ist in der Regel nicht auf den ersten Blick ersichtlich, weil aus Gründen der Rechenzeit Vereinfachungen bei der Modellbildung gemacht werden müssen. Z.B. kommt ein breitbandiger Gaußimpuls als Anregung in der Simulation zum Einsatz, was in diesem Fall besser ist, als die unzulängliche Quelle in Form des Kammgenerators zu modellieren. Denn der Kammgenerator besitzt eine frequenzabhängige Ausgangsimpedanz, was die Interpretation der Simulationsergebnisse schwieriger gestalten würde. Auch wird die reale Antenne durch einen Fernfeldmonitor ersetzt, was die notwendige Gitterstruktur der Simulation verkleinert und damit Ergebnisse innerhalb vernünftiger Rechenzeit ermöglicht.

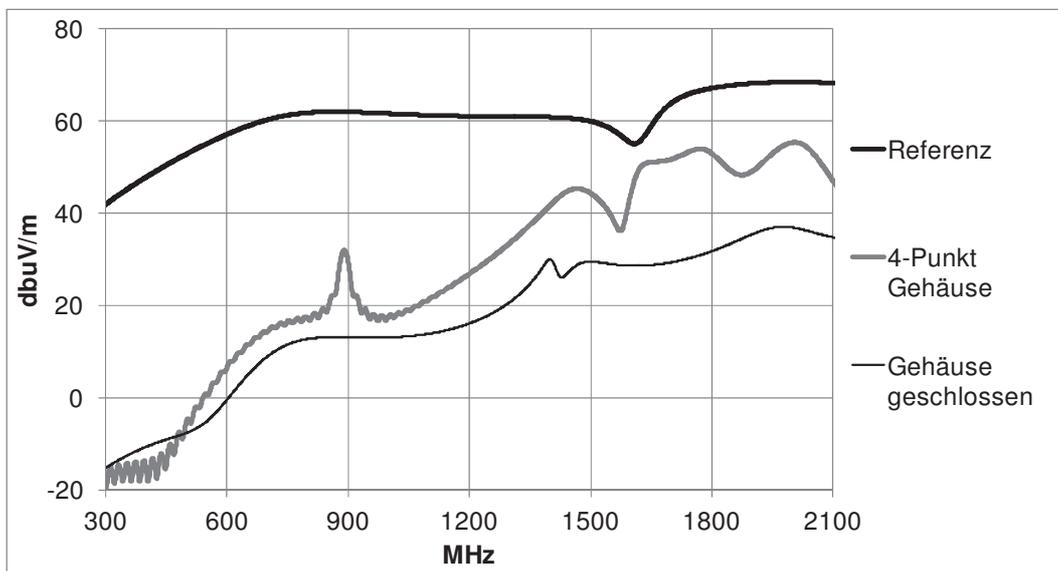


Abbildung 10: Simulation bei horizontaler Polarisation und magnetischer Anregung

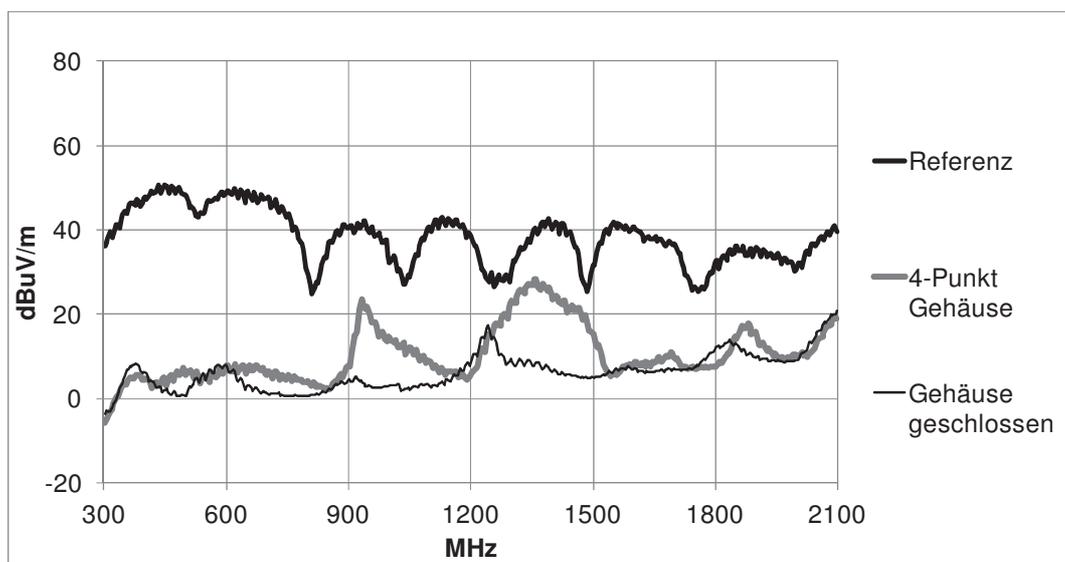


Abbildung 11: Messung bei horizontaler Polarisation und magnetischer Anregung

Trotzdem ist eine Korrelation zwischen Messergebnissen und Simulationen notwendig, um das Simulationsmodell zu validieren. Dafür bietet sich die Untersuchung von verschiedenen Varianten an, die sowohl in der Messung als auch im Simulationsmodell leicht zu realisieren sind. Beispielhaft wird hier der Vergleich der Messergebnisse und Simulationen im Fall der magnetischen Anregung und Messung des Feldes in horizontaler Polarisation gezeigt.

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Simulation für die Referenzkurve, des Gehäuses mit 4 Kontaktstellen (4-Punkt Gehäuse) und des komplett geschlossenen Gehäuses (Gehäuse geschlossen) gezeigt. Abbildung 11 stellt die zugehörigen Messergebnisse dar. Deutlich ist die hohe Schirmdämpfung (Differenz der Referenzmessung zu den Gehäusemessungen) bei 300 MHz für beide Gehäusevarianten zu sehen, die mit zunehmender Frequenz abnimmt. Bei der Simulation ist diese vor allem im unteren Frequenzbereich betragsmäßig größer als bei der zugehörigen Messung. Erklärbar ist dies mit den unterschiedlichen Quellenimpedanzen sowie der Verwendung des Fernfeldmonitors in der Simulation, denn im unteren Frequenzbereich befindet sich die Antenne im Übergangsbereich zwischen Nah- und Fernfeld. Gute Übereinstimmung gilt für eine Resonanzerscheinung, die im Bereich von 900 MHz für den Fall des 4-Punkt Gehäuses auftritt. Im oberen Frequenzbereich ist bei der Simulation eine höhere Dämpfung des geschlossenen Gehäuses im Vergleich zum 4-Punkt Gehäuse zu erkennen. Dies ist damit begründet, dass in diesem Frequenzbereich die Messung des geschlossenen Gehäuses durch die Messdynamik begrenzt wird.

Damit zeigt die Simulation im Vergleich zur Messung eine hinreichende Korrelation und kann für weitere Untersuchungen des Gehäuses eingesetzt werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Bestimmung der Schirmdämpfung von Kleingehäusen ist mit den herkömmlichen Messverfahren nur bedingt möglich, weil die Dimensionen der Antennen in der Regel die Gehäusedimensionen übersteigen. Es wurde eine Messung vorgestellt, bei der die anregende Struktur im Innern des Gehäuses untergebracht war. Die Bestimmung der Schirmeigenschaften des Gehäuses anhand der herkömmlichen Einfügungsdämpfung war nur bedingt möglich, deshalb wurde die Definition der effektiven Schirmdämpfung eingeführt.

Es wurde die Korrelation der Messung zur Simulation gezeigt, was eine Optimierung des Gehäuses anhand von Simulationen zulässt.

## 6 Literatur

- [1] CISPR 25, deutsche Fassung: DIN EN 55025 (VDE 0879-2):2009-03, Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte – Funkstöreigenschaften. Grenzwerte und Messverfahren für den Schutz von an Bord befindlichen Empfängern
- [2] CST Microwave Studio Version 2013.03
- [3] EN 61000-5-7: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 5-7: Installationsrichtlinien und Abhilfemaßnahmen – Schutzarten durch Gehäuse gegen elektromagnetische Störgrößen (EM-Code). Brüssel (Belgien), CENELEC, 2001
- [4] EN-61587-3: Schirmdämpfungsprüfungen für Schränke, Gestelle und Baugruppenträger. CENELEC Brüssel, November 2006
- [5] Meinke, Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springer-Verlag, Berlin, 5. Auflage
- [6] P. Reiser, H. Garbe, S. Börninck: Einfluss von Resonanzen des Messaufbaus bei der Schirmdämpfungsmessung. EMV 2004, K. Feser, VDE-Verlag, 2004