

Simulationsmodelle für Kfz-Antennen zur Bewertung der Störaussendung

Dipl.-Ing. (FH) Birgit Huneke, AUDI AG, Ingolstadt
Dr.-Ing. Stephan Frei, AUDI AG, Ingolstadt

Kurzfassung

In der Fahrzeugentwicklung sind sowohl in der EMV als auch in der Antennenentwicklung Berechnungsverfahren für Fahrzeugantennen notwendig, um Systemoptimierungen in Bezug auf Empfang und Entstörung unabhängig von Fahrzeugprototypen durchführen zu können.

In diesem Beitrag liegt der Schwerpunkt auf der Berechnung von Scheibenantennen, die in der heutigen Fahrzeugantennentechnologie eine entscheidende Rolle spielen. Die Modellanalyse konzentriert sich auf den UKW-Bereich und umfasst Nah- wie Fernfelduntersuchungen. Es werden unterschiedliche Ersatzmodelle zur Scheibenantennennachbildung in der Momentenmethode vorgestellt und Simulationsergebnisse in der Gegenüberstellung mit Messergebnissen diskutiert. Grenzen der Methoden und weitere Entwicklungsfelder werden aufgezeigt.

1 Einführung

Während die Berechnung von Kurz-, Mittel- und Langwellenantennen im Fahrzeug bereits mit großer Genauigkeit möglich ist [1], sind zuverlässige Simulationen im UKW-Bereich problematisch.

UKW-Antennen sind in heutigen Kraftfahrzeugen zumeist als Scheibenantennen in Heck-, Front- oder Seitenscheiben ausgeführt. Häufig kommen Kombinationen dieser Varianten zum Einsatz.

Ziel ist es, für UKW-Scheibenantennen Modelle zu finden, die das Nah- und auch das Fernfeldverhalten der Antenne mit so hoher Genauigkeit nachbilden, dass sie sowohl für Störaussendungsuntersuchungen als auch für die Bewertung der Richtcharakteristik einer Antenne Verwendung finden können.

Der UKW-Bereich stellt aufgrund der angestrebten Simulationsanwendungen und der gegenüber anderen Frequenzbereichen wellenlängenbedingten besonders starken Wechselwirkungen zwischen Antenne, Fahrzeug und Umfeld hohe Ansprüche an Simulation wie Messung.

In diesem Beitrag werden der Eingangsreflexionsfaktor (S_{11}) sowie das Richtdiagramm einer Antenne in Form des Betrags der elektrischen Feldstärke als Bewertungsparameter für Messung wie Simulation herangezogen.

Die Gegenüberstellung von Mess- und Simulationsergebnissen ermöglicht den direkten Vergleich und

eine Bewertung der zu erreichenden Genauigkeiten mit den zur Verfügung stehenden Modellen. Mögliche Fehlerquellen in Messung und Simulation werden diskutiert und Optimierungen sowie weitere Handlungsfelder vorgestellt.

2 Methode

Als Simulationsumgebung kommt das auf der Momentenmethode basierende Feldberechnungsprogramm EMC Studio von EMCoS zum Einsatz. Sämtliche Messungen werden mit einem vektoriiellen Netzwerkanalysator durchgeführt.

In diesen Untersuchungen wird ausschließlich mit der in EMC Studio implementierten Momentenmethode, die auf der EFIE (Electrical Field Integral Equation) basiert, gearbeitet. Metallische Strukturen wurden für die Berechnung als ideal elektrisch leitfähig betrachtet. Wesentliches Ziel ist es, geeignete Modelle für die Nachbildung von dielektrischen Materialien z.B. für die Berechnung von Scheibenantennen zu finden.

Die Rechnungen wurden meist auf einem Linux-PC-Cluster mit 32 CPUs (3 GHz Taktfrequenz) und 16 GB Arbeitsspeicher durchgeführt.

Die Berechnung von Antennen im Kraftfahrzeug erfordert einen Kompromiss zwischen einer detaillierten Diskretisierung der Geometrie und der zur Verfügung stehenden Rechenkapazität.

2.1 Modelle für die Antennensimulation

Bei Simulationen komplexer Systeme ist es notwendig, das Berechnungsmodell auf die wesentlichen Eigenschaften zu beschränken. Ansonsten ist eine Rechnung trotz sehr leistungsfähiger Cluster-Computer nicht möglich. Für Antennenberechnungen ist die äußere Karosserie besonders wichtig und muss möglichst genau modelliert werden, während Details im Fahrzeuginneren einen geringeren Einfluss haben. Für den Vergleich zur Messung wurde zur einfacheren Durchführung eine Rohkarosserie verwendet, die mit einer Scheibe mit Antennenstruktur ausgestattet wurde.

Die Modellumsetzung beschränkt sich also auf die Nachbildung der leitenden Flächen der Karosserie mit ihren Türen und Scharnieren, die Nachbildung von Streifenleiterstrukturen auf einer Glasscheibe und der Nachbildung des Dielektrikums der Fahrzeugscheiben.

2.1.1 Karosseriemodelle

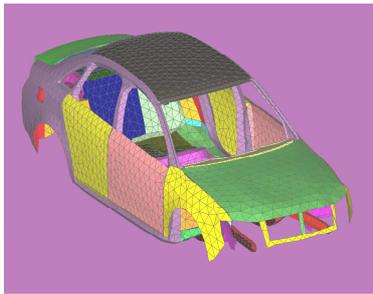


Bild 1 Modell der Karosserie

Die Karosserie wird als ideal elektrisch leitfähige Struktur im Simulationsmodell nachgebildet und weitestgehend auf ihre Außenhaut reduziert. Das Modell besteht aus 12167 Dreiecken, was einer relativ groben Diskretisierung entspricht. Mehr Elemente würden die Rechenzeit in unakzeptable Bereiche ansteigen lassen. Die Bereiche um die Front- und Heckscheibe sind besonders genau diskretisiert.

2.1.2 Äquivalenzmodelle für Scheibenantennen

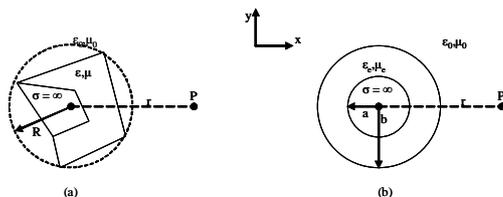


Bild 2 Antenne mit beliebigem Querschnitt (a) und eine äquivalente Antenne zirkularen Querschnitts (b)

Nach Popovic [2] ist es möglich, eine dünn beschichtete Antennenstruktur im freien Raum mit beliebigem konstanten Querschnitt in eine Antenne zirkularen Querschnitts zu überführen. Notwendige Bedingung ist, dass die äquivalente Struktur in Bezug auf einen entfernten Referenzleiter die Äquivalenzbedingung gleicher Kapazität C und gleicher Induktivität L erfüllt. Die Antenneneingangsimpedanz sowie das Fernfeldverhalten beider Antennen ist dann als gleichwertig anzusehen.

Auch wenn die Randbedingungen (dünne Beschichtung und Struktur im freien Raum) bei Fahrzeugantennen nur näherungsweise erfüllt sind, wird dieser Ansatz für Fahrzeugantennen in der Literatur beschrieben [3].

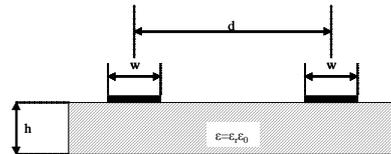


Bild 3 Koplanare Streifenleitung als Ersatzmodell zur Berechnung von Scheibenantennen

Ein einfacher, näherungsweise Lösungsansatz zur Berechnung der Kapazität C besteht darin, eine koplanare Streifenleitung auf einem homogenen Dielektrikum im freien Raum heranzuziehen.

Die Kapazität dieser koplanaren Streifenleitung auf einem homogenen Dielektrikum lässt sich berechnen durch:

$$C'_a = \frac{\pi \epsilon}{\int F(\beta) [G(\beta)]^2 d\beta}$$

Wobei gilt:

$$F(\beta) = \frac{\epsilon_r (\epsilon_r \cosh(\beta h) + \sinh(\beta h))}{(\epsilon_r^2 + 1) \sinh(\beta h) + 2\epsilon_r \cosh(\beta h)}$$

$$G(\beta) = \frac{4}{\beta w} \sin\left(\frac{\beta w}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta d}{2}\right)$$

Der innere Radius des zirkularen Ersatzleiters wird bestimmt zu:

$$a = \frac{w}{4}$$

Für den äußeren Radius des Dielektrikums gilt:

$$b = a \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \left[\ln \frac{d}{a} - \frac{\pi \epsilon_0}{C'_a} \right]$$

Der neu berechnete zirkuläre Antennenleiter mit dielektrischer Beschichtung lässt sich als zusätzliche Impedanz in die Segmente der Momentenmethode integrieren.

Zur Berechnung der Scheibenparameter, wird analog zu [3] für z.B. VSG-Scheiben ein homogenes Ersatzmedium bestimmt (Bild 4).

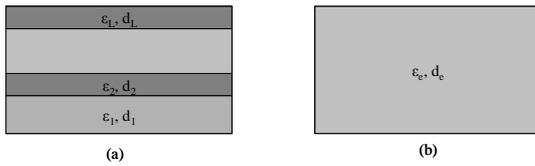


Bild 4 Geschichtete Scheibenstruktur (a) und homogenes Ersatzmedium (b)

Die Dicke des homogenen Ersatzmediums ergibt sich zu:

$$d_e = \sum_{l=1}^L d_l$$

Die Dielektrizitätszahl ϵ_e des homogenen Ersatzmediums berechnet sich zu:

$$\epsilon_e = \frac{d_e}{\sum_{l=1}^L \frac{d_l}{\epsilon_l}}$$

2.1.3 Nachbildung des Glases durch Kapazitäten

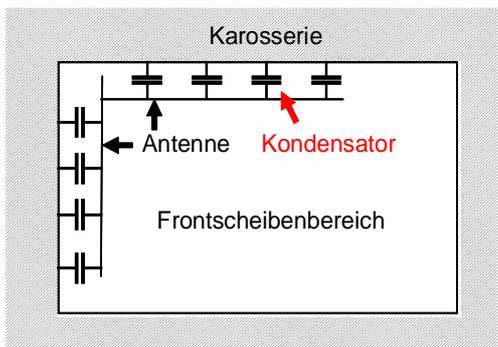


Bild 5 Nachbildung von Antennenstrukturen in Karosserienähe durch Kapazitäten

Insbesondere in der Nachbildung von Strukturen in Karosserienähe, deren Umfeld sich stark von dem im Ersatzmodell in Kapitel 2.1.2 vorausgesetzten unterscheidet, liegt der Ansatz nahe, auf die Nachbildung des Dielektrikums als zirkulare dielektrische Beschichtung zu verzichten und die Leiterstrukturen in reiner Segmentform auszuführen.

Um die Einflüsse von Dielektrikum und Karosserie dennoch nachzubilden, werden in einem im Bereich von einem Zehntel der Wellenlänge liegenden Abstand zusätzliche Kapazitäten in radiusminimierte Verbindungssegmente zwischen Antennenstruktur und Karosserie eingebracht.

Die Bestimmung der Kapazitäten erfolgte im ersten Schritt experimentell in der Simulation mit einer Leiterschleife, deren Eingangsimpedanzverlauf dem des Ersatzmodells aus 2.1.2 angenähert wurde.

2.1.4 Dielektrische Dreiecksegmente

Neben der Modellierung des Glases durch eine äquivalente Beschichtung und äquivalente Kapazitäten wurden auch dielektrische Flächenelemente untersucht. Die äquivalente Impedanz einer Struktur mit der Dicke d berechnet sich hierbei zu:

$$Z_s = \frac{k}{2j\omega\epsilon_0(\epsilon_r - 1)\sin(kd/2)}$$

2.2 Messverfahren

Sämtliche für die Simulationsergebnisse als Referenz dienende Messungen sind mit einem vektoriiellen Netzwerkanalysator von Hewlett Packard, Modell ET 8753, erfolgt. Zur Beurteilung des Antenneneingangsimpedanzverhaltens wurde der Antenneneingangsreflexionsfaktor \underline{S}_{11} bestimmt.

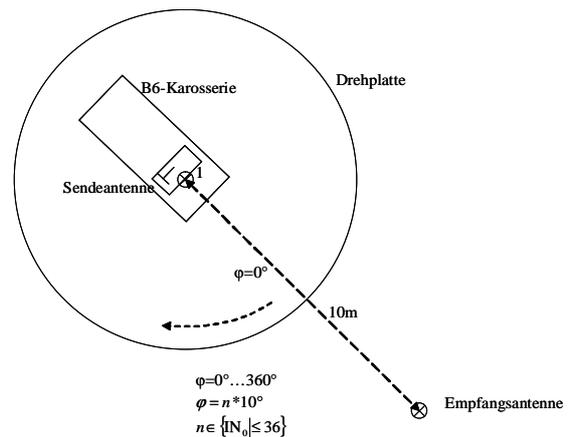


Bild 6 Meßaufbau zur Fernfeldbestimmung

Zur Bestimmung der Fernfeldeigenschaften der Fahrzeugantenne wurde das Richtdiagramm in Form der elektrischen Feldstärke $|E|$ bestimmt (Bild 6).

Um mit der Simulation vergleichbare und witterungsunabhängige Ergebnisse zu erhalten, erfolgte die Bestimmung des Richtdiagramms in der Audi EMV-Halle, die einen elektrisch leitfähigen Boden hat, der in der Simulation einfach nachzubilden ist. Die Fahrzeugantenne fungierte als Sendeantenne, die elektrische Feldstärke im Fernfeld wurde mit einer breitbandigen Bilogantenne bestimmt.

3 Ergebnisse

Zur Überprüfung der Eignung der vorgestellten Ersatzmodelle zur Berechnung von Scheibenantennenstrukturen mit der Momentenmethode erfolgten Untersuchungen unterschiedlicher Antennenstrukturen im Fahrzeug und im isolierten Laboraufbau, um eine genaue Analyse der verwendeten Methoden durchzuführen.

3.1 Untersuchungen an Laboraufbauten

Um die einzelnen direkt im Umfeld der Scheibenantenne liegenden Einflussfaktoren isoliert überprüfen zu können, fand im Labor ein Modellaufbau mit einer einlagigen Glasscheibe auf einer leitfähigen Platte Verwendung, auf dem unterschiedlich komplexe Leiterstrukturen untersucht wurden (Bild 7).

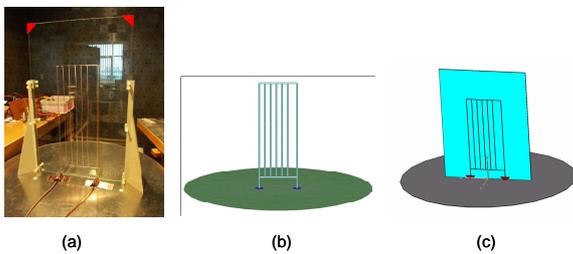


Bild 7 Eine einfache Scheibenantennenstruktur

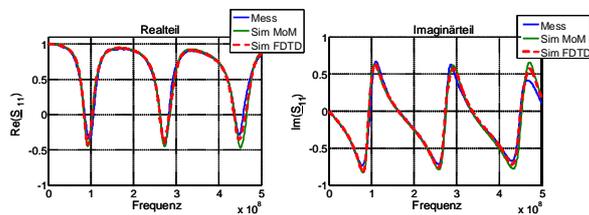


Bild 8 Reflexionsfaktor einer Stabantenne auf einem Dielektrikum im Scheibenmodell

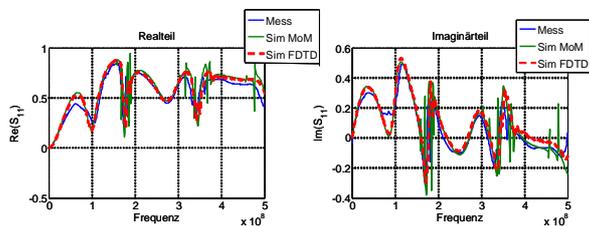


Bild 9 Reflexionsfaktor einer Antennenstruktur auf einem Dielektrikum im Scheibenmodell (Bild 7)

Für Strukturen im Rahmen der Definition von 2.1.2 zeigte sich im Vergleich zwischen Messung und Si-

mulation eine sehr gute Eignung des Ansatzes der äquivalenten Antennen (Bild 8).

Bei steigender Komplexität und Größe der Leiterstruktur, mit mehreren parallelen Streben und steigender Anzahl an Verwinkelungen (Bild 7), zeigten sich vor allem in höherresonanten Bereichen teils starke Abweichungen (Bild 9) zwischen Messung und Simulationen mit der Momentenmethode sowie dem zum Vergleich verwendeten FDTD-Verfahren (CST-Microwave Studio).

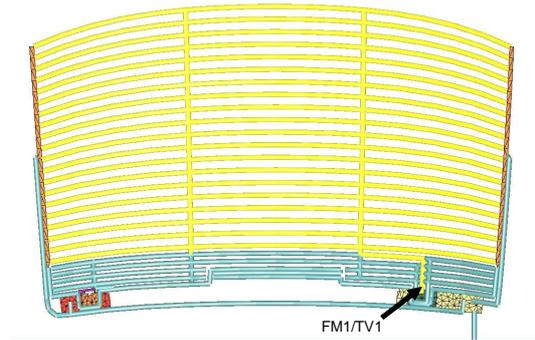


Bild 10 Modell einer isolierten Fahrzeug-Scheibenantennenstruktur im Laboraufbau

Um die Methode der äquivalenten Antennen auf ihre Eignung zur Berechnung von Scheibenantennenstrukturen der Komplexität des Zielsystems zu überprüfen, wurde eine senkrecht zu einer leitenden Ebene aufgestellte ESG-Heckscheibenantenne eines Mehrantennensystems untersucht (Bild 10).

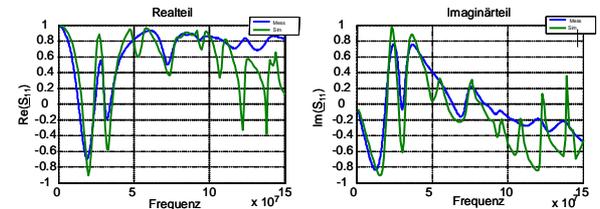


Bild 11 Reflexionsfaktor einer isolierten Heckscheibenantenne

Wie aus Bild 11 ersichtlich besteht im unteren Frequenzbereich eine tendenzielle Übereinstimmung des Reflexionsfaktors zwischen Messung und Simulation, die im UKW-Bereich bereits mit großen Abweichungen belegt ist.

In einer Modellerweiterung wurden Strukturen in unmittelbarer Nähe und Gegenüberstellung zu einem Metallrahmen untersucht (Bild 12), wie sie bei Fahrzeugheckscheibenantennen auftreten können. Ergebnis ist, dass sich diese in ihrem Reflexionsverhalten für einzelne Frequenzbänder durch Variation der Dielektrikums-Parameter nachbilden lassen.

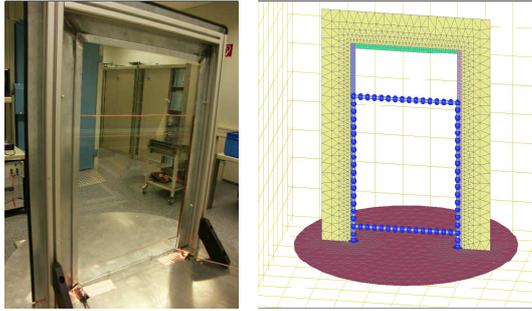


Bild 12 Das verwendete Rahmenmodell

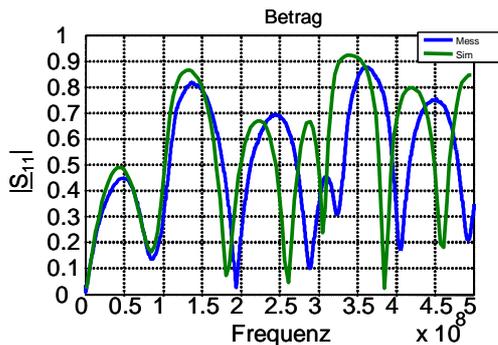


Bild 13 Reflexionsfaktor einer Antennenstruktur in Rahmennähe

3.2 Untersuchungen an im Heizfeld integrierten Antennenstrukturen

In Bild 14 ist eine ins Heizfeld der Heckscheibe integrierte FM-Antennenstruktur zu sehen, die in ihrer Wechselwirkung mit der Fahrzeugkarosserie betrachtet wird.

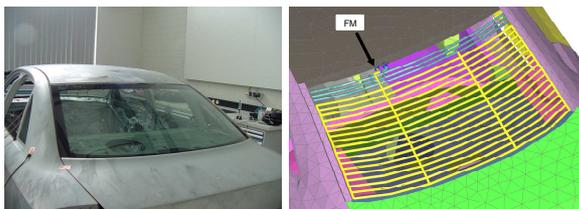


Bild 14 Heckscheibenantenne mit integrierter UKW-Antenne in der Rohkarosserie

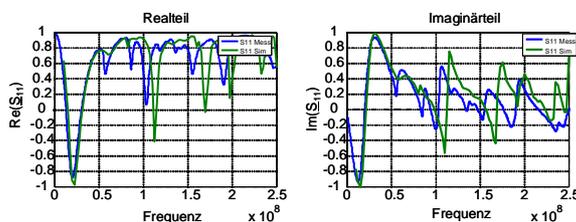


Bild 15 Reflexionsfaktor einer Heckscheibenantennenstruktur in einer Rohkarosserie

Bild 15 zeigt den Reflexionsfaktor einer integrierten Heckscheibenantenne in Messung und Simulation mit dem Modell aus 2.1.2. Wie sich bereits an den Laboruntersuchungen in Abschnitt 3.1 an Rahmen- und komplexen Scheibenstrukturuntersuchungen zeigte, ist nur eine tendenzielle Nachbildung des Reflexionsfaktors im unteren Frequenzbereich möglich. Im UKW-Bereich sind die für den Verwendungszweck erforderlichen Übereinstimmungen zwischen Messung und Simulation mit dem Ersatzmodell nach Abschnitt 2.1.2 für ein komplexes System dieser Art nicht zu erreichen, was sich aus der starken Abweichung der berechneten Struktur vom ursprünglichen Modell erklärt.

Es stellt sich jedoch die Frage, in wie weit das Modell für einfachere Kfz-Antennenstrukturen dennoch aussagekräftige Ergebnisse über Nah- und Fernfeldverhalten der Antenne liefern kann.

3.3 Untersuchungen an einer Frontscheibenantenne

Zur Analyse der Nah- und Fernfeldeigenschaften einer Antenne in Messung und Simulation ist eine Frontscheibenantennenstruktur wie in Bild 16 dargestellt zum Einsatz gekommen.

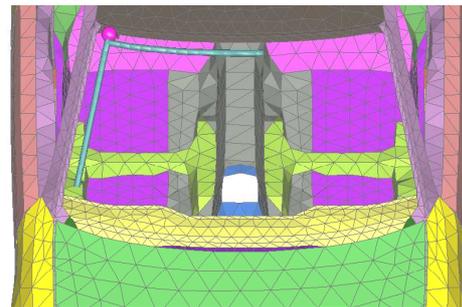


Bild 16 Frontscheibenantenne in der Rohkarosserie

3.3.1 Anwendung des Äquivalentzmodells für dielektrische Beschichtungen auf eine Frontscheibenantennenstruktur

Die Nachbildung der Frontscheibenantenne in ihrem Reflexionsfaktor zeigt mit Modell 2.1.2 eine im UKW-Bereich zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation (Bild 17).

Wie hier in Bild 18 und Bild 19 exemplarisch für eine Frequenz von 90 MHz in vertikaler und horizontaler Polarisation gezeigt, ist für eine Frontscheibenantennenstruktur zwischen Messung und Simulation eine Übereinstimmung im Bereich der zu erwartenden Mess- und Modelltoleranzen zu erreichen, die gute Tendenzaussagen über das Antennenempfangs-

verhalten in der betrachteten Ebene zur Verfügung stellt.

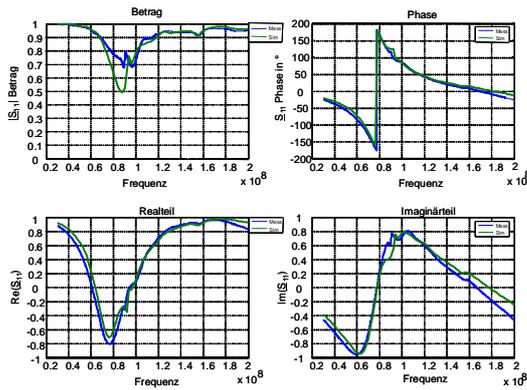


Bild 17 Reflexionsfaktor der Frontscheibenantennenstruktur in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2

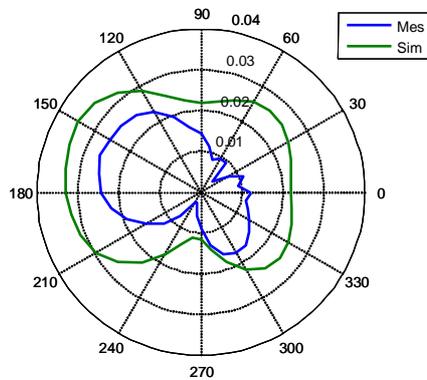


Bild 18 Richtdiagramm der elektrischen Feldstärke in V/m, 90 MHz vertikaler Polarisation in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2

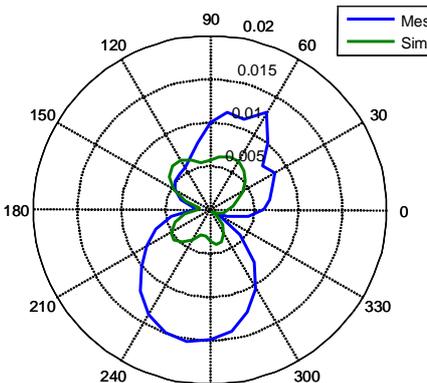


Bild 19 Richtdiagramm der elektrischen Feldstärke in V/m, 90 MHz horizontaler Polarisation in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2

3.3.2 Anwendung der Dielektrikumsnachbildung durch Koppelkapazitäten auf eine Frontscheibenantennenstruktur

Mit dem Ersatzmodell nach Kapitel 2.1.3 für Rahmennähe Strukturen ist mit geringem Aufwand zur Bestimmung der Koppelkapazitätsgrößen eine gegenüber den Ergebnissen aus Kapitel 3.3.1 noch verbesserte Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zu erreichen (Bild 20).

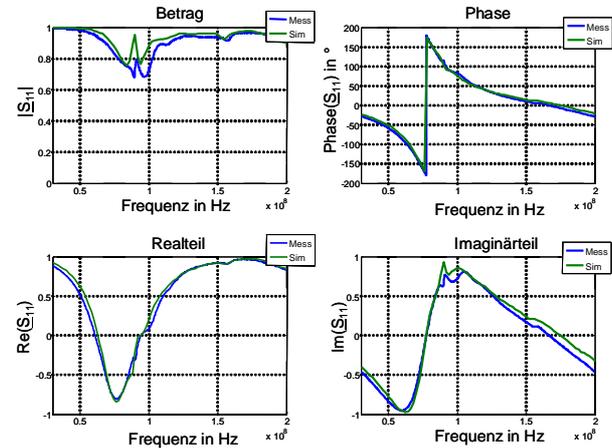


Bild 20 Reflexionsfaktor der Frontscheibenantennenstruktur in Messung und Simulation nach Kapitel 2.2.2

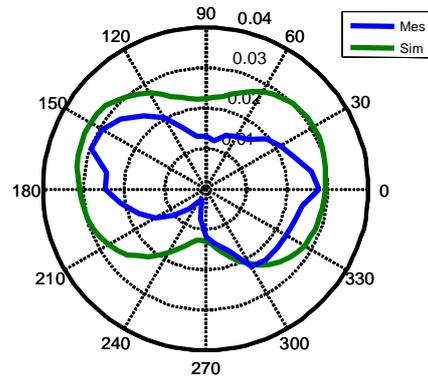


Bild 21 Richtdiagramm der elektrischen Feldstärke in V/m, 85 MHz vertikaler Polarisation in Messung und Simulation nach Kapitel 2.2.2

Wie Bild 21 exemplarisch bei einer Frequenz von 85 MHz vertikaler Polarisation zeigt, ist auch in diesem Modell eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation in der Fernfeldberechnung zu erreichen.

In annähernd dem gesamten UKW-Bereich zeigten die Fernfeldergebnisse der Simulationen nach Modell 2.1.2 und 2.1.3 nur minimale Abweichungen in Ausrichtung und Größenordnung des Richtdiagramms.

3.3.3 Einfluss des Karosseriemodells

Das Richtdiagramm einer Fahrzeugscheibenantenne wird entscheidend durch die Wechselwirkung mit der Karosserie bestimmt. Einen besonders starken Einfluss auf die Ausrichtung des Richtdiagramms haben je nach betrachteter Frequenz die Seitentüren, die Motorhaube und die Kofferraumklappe und ihre Anbindungen.

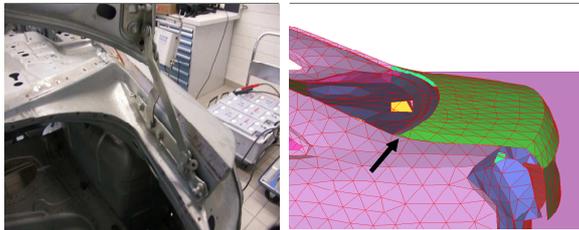


Bild 22 Kofferraumklappenanbindung in Messung und Simulation

In den untersuchten Konfigurationen zeigte im oberen UKW-Bereich vor allem die Anbindung der Kofferraumklappe (Bild 22) entscheidenden Einfluss auf das Richtdiagramm sowohl einer Dachstab- als auch der Frontscheibenantenne.

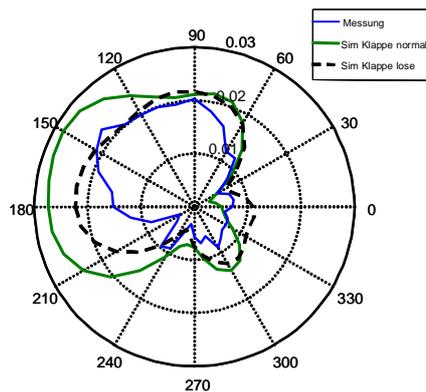


Bild 23 Richtdiagramm der elektrischen Feldstärke in V/m, 100 MHz vertikaler Polarisation in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2 mit variierender Kofferraumklappenanbindung einer Frontscheibenantenne

Wie Bild 23 hier beispielhaft für eine Frequenz von 100 MHz zeigt, ist durch Änderungen in der Nachbildung von Türenanbindungen eine deutliche Verbesserung in der Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zu erreichen.

4 Untersuchungen an einer Seitenscheibenantenne

Neben Front- und Heckscheibenantennen wurde eine Seitenscheibenantenne in einem Avant-Fahrzeug untersucht (Bild 24).

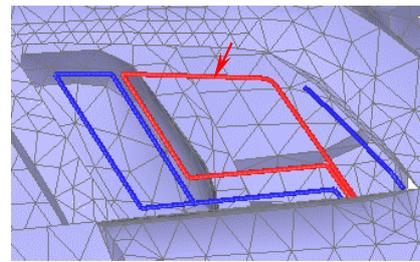


Bild 24 Seitenscheibenantenne

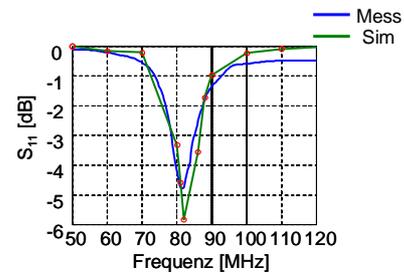


Bild 24 Reflexionsfaktor der Seitenscheibenantennenstruktur in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2

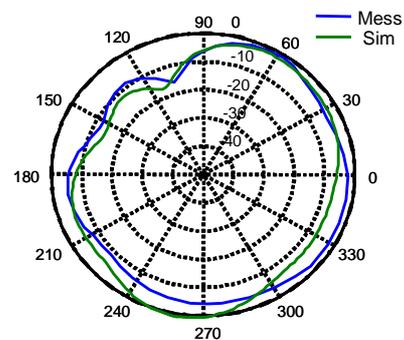


Bild 25 Richtdiagramm der elektrischen Feldstärke in $\text{dB}\mu\text{V/m}$, 88 MHz horizontaler Polarisation in Messung und Simulation nach Kapitel 2.1.2

Wie Bild 20 und Bild 23 zeigen, ist für eine Seitenscheibenstruktur mit dem Ersatzmodell aus Kapitel 2.1.2 zur Scheibennachbildung eine tendenzielle Nachbildung der Antenneneigenschaften möglich.

5 Diskussion

Wie die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, ist es mit den bestehenden Simulationsmethoden und Ersatzmodellen und den verwendeten Fahrzeug- und Antennenmodellen im Rahmen der Momentenmethode möglich, tendenzielle Aussagen über das Verhalten einfacher Antennenstrukturen wie z.B. Frontscheibenantennen in Nah- und Fernfeld im UKW-Bereich auch in absoluten Größen zu machen.

Zur Berechnung komplexerer Systeme wie z.B. Heckscheibenantennen, die im Heizfeld integriert sind, ist eine Verbesserung und Verfeinerung der

Nachbildung des Scheibendielektrikums wie auch der Karosseriemodelle notwendig, um eine höhere Genauigkeit zu erreichen.

In der Scheibensimulation sind mit dem verwendeten Ersatzmodell aus Kapitel 2.1.2 Antennenstrukturen im Rahmen der Definition einer parallelen Streifenleitung im freien Raum sicher zu berechnen. Bei steigender Komplexität mit z.B. dichten parallelen Antennenleiterstrukturen, variablen Leiterdicken, Leitungen in unmittelbarer Nähe zur Karosserie und senkrechten Verbindungsstellen zwischen den Leitern wie sie in Fahrzeugkonfigurationen vorkommen, ist die für Scheibenantennenberechnungen verlangte Genauigkeit nicht zu erreichen und implementierungsabhängig kann es zudem zu Einschränkungen in der Rechenfähigkeit der Modelle durch Segmentüberschneidungen aufgrund der berechneten Ersatzradien kommen.

Insbesondere um Aussagen über die Eingangsimpedanz der Scheibenantennenstrukturen tätigen zu können, was für die angestrebten Optimierungen und Störaussendungsbestimmungen auf Basis von Berechnungen notwendig ist, ist eine Verfeinerung der Glasnachbildung mit alternativen Ersatzmodellen anzustreben, um höhere Genauigkeiten erreichen zu können.

Bei der Berechnung der Richtcharakteristik zeigte sich, dass für den UKW-Bereich eine feinere Diskretisierung der Karosseriemodelle und eine Überarbeitung und Optimierung insbesondere der Türen- und Klappenanbindungen und -nachbildungen im Simulationsmodell notwendig ist, was sich aufgrund der angestrebten allgemeingültigen Verwendbarkeit der Karosseriemodelle als aufwändig herausstellt. Insbesondere der bei globaler Modellverfeinerung steigende Rechenaufwand macht eine genaue Analyse und Identifizierung relevanter Karosseriebereiche notwendig.

In den Berechnungen einer Frontscheibenantenne nach Kapitel 2.1.2 und 2.1.3 und der Seitenscheibenantenne in Kapitel 2.1.2 zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen im Reflexionsfaktorverlauf sowie im Fernfeldverhalten der Antenne. Dabei ist die Übereinstimmung in vertikaler Polarisation im allgemeinen besser ausgefallen als in horizontaler Polarisation.

Insbesondere in den Vergleichen der absoluten elektrischen Feldstärke ist die Schwierigkeit der Bestimmung der elektrischen Feldstärke und die frequenzabhängige Sensibilität des Messaufbaus nicht zu vernachlässigen und bei der Verwendung als Referenz zur Optimierung der Simulationen zu berücksichtigen. Im nächsten Schritt ist die Übertragbarkeit der

berechneten Ergebnisse für einfache Antennenkonfigurationen auf vollausgestattete Fahrzeuge zu überprüfen und parallel an der Optimierung und Erweiterung der Modelle für komplexere Systeme zu arbeiten.

6 Zusammenfassung

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Berechnung von Kfz-Scheibenantennen im UKW-Bereich mit der Zielsetzung, Modelle auf ihre Eignung zur EMV-Bewertung und Antennenentwicklung zu überprüfen und neue Modelle zu entwickeln. Es werden unterschiedliche Scheibenersatzmodelle für die Momentenmethode vorgestellt und Ergebnisse für verschiedene Scheibenantennenstrukturen im Fahrzeug und in Laboraufbauten in Messung und Simulation präsentiert und diskutiert. Für einfache Antennenstrukturen lassen sich bereits gute tendenzielle Aussagen über Nah- und Fernfeldeigenschaften der Antennen in einer Rohkarosserie tätigen. Um komplexere Systeme mit der angestrebten Genauigkeit berechnen zu können, ist im UKW-Bereich eine Verfeinerung der Scheibennachbildung und eine verbesserte Karosserienachbildung notwendig.

7 Literatur

- [1] Frei, S. Jobava, R. G.: Calculation of Low Frequency EMV Problems in Large Systems with a Quasi-Static Approach. Santa Clara: IEEE-Symposium 2004
- [2] Popović, B. D.: CAD of Wire Antennas and Related Radiating Structures, Research Studies Press LTD, 1991
- [3] Jakobus, U., Berger, N, Landstorfer, F. M.: Efficient techniques for modelling integrated windscreen antennas within the method of moments, Millenium Conference on Antennas & Propagation, Davos, 2000