

# **Entwicklung von Simulationsmethoden für die Bestimmung der Schirmdämpfung von realen Gerätegehäusen**

Dipl.-Ing. Stefan Cecil, Seibersdorf Labor GmbH

Co-Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Lamedschwandner, Seibersdorf Labor GmbH

Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Auinger, Technische Universität Graz

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernd Deutschmann, Technische Universität Graz

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gunter Winkler, Technische Universität Graz

Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter Ritzberger, Fronius International GmbH

Ing. Peter Boxleitner, Fronius International GmbH

## **1 Problem- und Prozessbeschreibung**

Gehäuse mit moderner Leistungselektronik, so wie DC/DC-Konverter, müssen heute immer höheren Anforderungen genügen. Die verwendeten Ströme werden immer größer und die Taktfrequenzen immer höher, wodurch auch eine höhere Flankensteilheit notwendig ist. Auch werden die Gehäuse der Leistungselektronik immer kleiner und im Aufbau komplexer. Aufgrund dessen wird die Einhaltung aller geforderten EMV-Vorgaben immer schwieriger. In der vorliegenden Arbeit werden Methoden entwickelt, um die Schirmdämpfung von Gerätegehäusen zu bestimmen und zu optimieren.

Ein wichtiges Werkzeug dafür ist die numerische Simulation. Mittels numerischer Simulation können verschiedene Messgrößen im Inneren des Gehäuses zugänglich gemacht werden. Weiters können mit einem funktionierenden Simulationsmodell die Auswirkungen von Veränderungen des Gehäuses schnell und ohne großen Aufwand untersucht werden.

## **2 Stand der Technik und Ergebnisse bisheriger Veröffentlichungen**

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen zum Thema numerische Simulation von Schirmdämpfung ([3], [4], [5]), die meisten jedoch mit vereinfachten Vorgaben, sodass komplexe, reale Gerätegehäuse nicht vollständig und im Detail modelliert und simuliert werden. Aufgrund dessen steht in der vorliegenden Arbeit auch die Entwicklung und Validierung einer Methodik der Simulation der Schirmdämpfung komplexer Gerätegehäuse, wie sie in der Leistungselektronik zum Einsatz kommen, im Vordergrund.

## **3 Entwicklung und Validierung der Simulationsmethode**

### **3.1 Verwendete Simulationswerkzeuge**

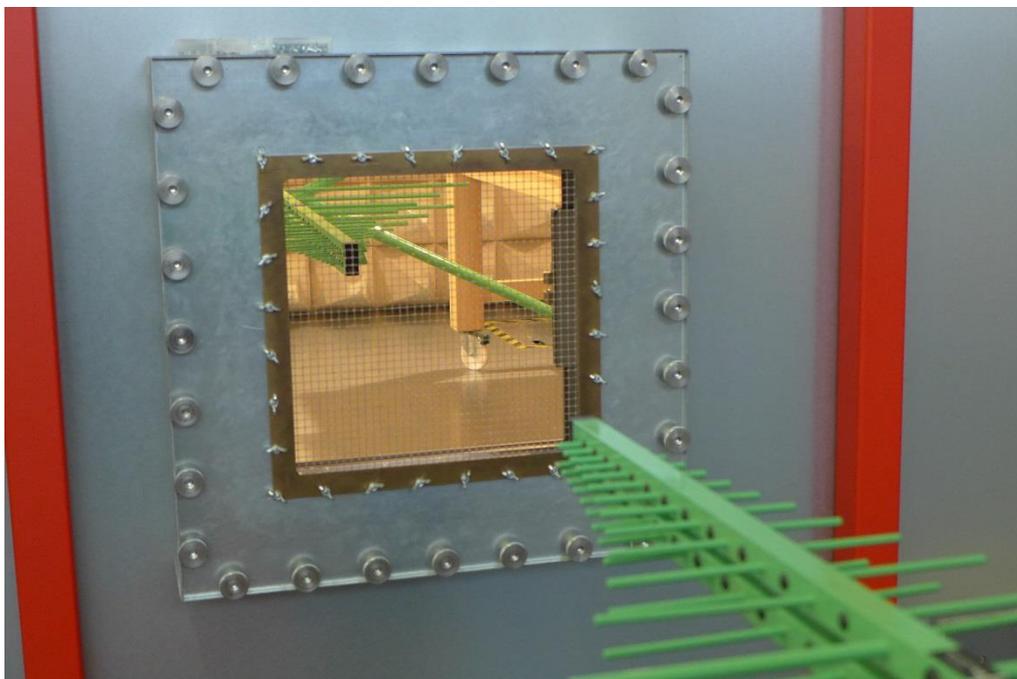
Für die Simulation der Schirmdämpfung von Gerätegehäusen ist ein Simulationstool für 3D-Simulation elektromagnetischer Felder für Frequenzen ab 1 MHz notwendig. Für diese Simulationen gibt es einige mögliche Simulationsalgorithmen, für die vorliegende Arbeit wurde der FDTD-Algorithmus (FDTD = Finite Difference in Time Domain)

ausgewählt. Der FDTD-Solver ist in der Simulationssoftware Sim4Life von Zürich MedTech<sup>1</sup> (ZMD) eingebettet. Mit dem FDTD-Algorithmus ist es möglich, die relativ komplexen Szenarien mit ausreichender Auflösung zu rechnen. Weiters können den verschiedenen Teilen des Modells die entsprechenden Materialeigenschaften zugeordnet werden. Um die elektromagnetischen Felder in einer annehmbaren Rechenzeit zu simulieren, wurde auch beschleunigte Simulation mit Hilfe von GPUs (Graphical Processor Units) verwendet.

### 3.2 Verifikation der Simulation mittels vereinfachtem Szenario

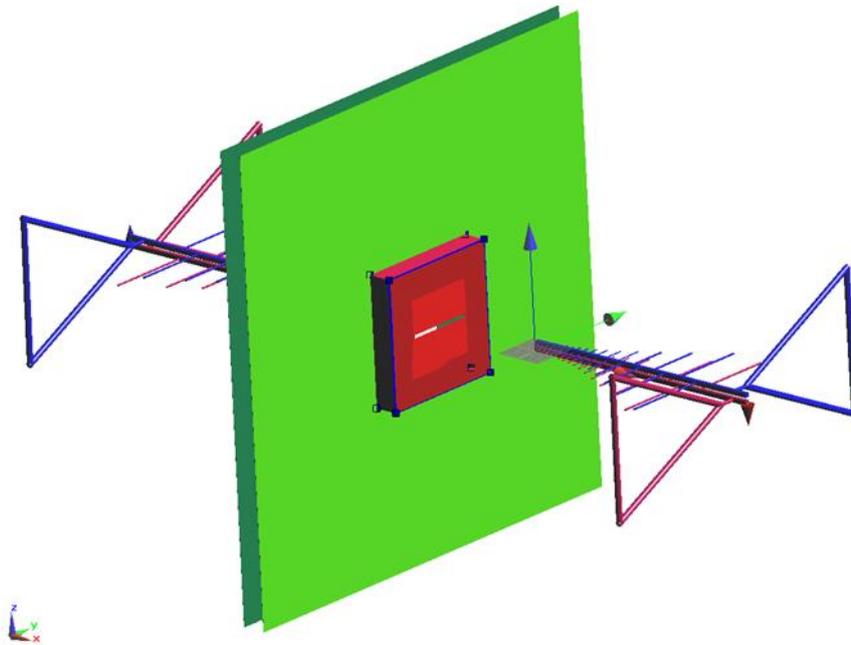
Für die Verifikation der Simulationsmethode wurden im ersten Schritt relativ einfache Szenarien berechnet und diese mit den zugehörigen Messergebnissen verglichen. Nur bei ausreichender Übereinstimmung von Messung und Simulation können die Simulationsergebnisse verwendet werden.

Es wurde ein Aufbau für die Schirmdämpfungsmessung in einer Absorberhalle gewählt. In diesem Szenario werden zwei Antennen gegenüber positioniert, zwischen den Antennen befindet sich eine Öffnung, in die verschiedene Platten eingelegt werden können. Eine Antenne befindet sich in der Absorberhalle, die andere Antenne befindet sich außerhalb (siehe Bild 1). Diese Methodik der Schirmdämpfungsmessung basiert im Wesentlichen auf den Vorgaben der Mil-Norm Mil Std-285 [6]. Ein Verfahren, welches eingesetzt werden kann wenn man keine Absorberhalle mit Paneel für Schirmdämpfungsmessungen zur Verfügung hat, wurde in [1] beschrieben. Durch den Vergleich der Transmission bei offener Öffnung und bei eingelegter Platte kann man einen Wert der Schirmdämpfung der Platte bestimmen. Dieses Szenario wurde in der Simulation nachgebildet und simuliert (siehe Bild 2).



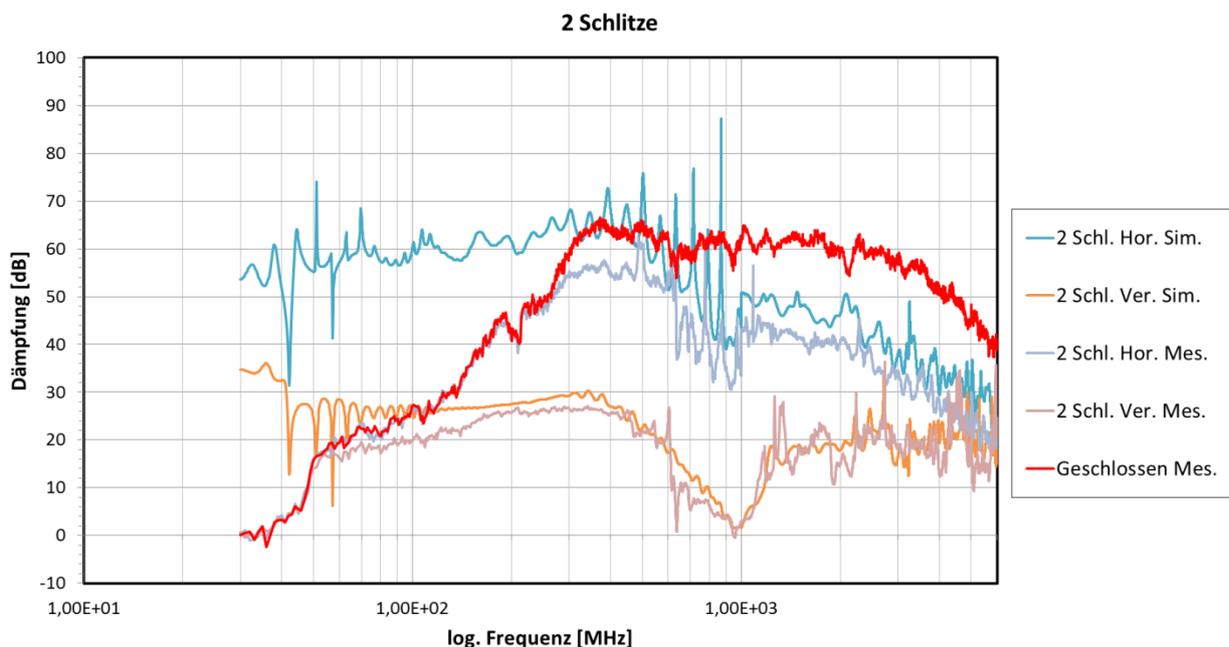
**Bild 1:** Messung der Schirmdämpfung mithilfe einer Öffnung in der Schirmwand einer Absorberhalle

<sup>1</sup> [www.zurichmedtech.com/sim4life/](http://www.zurichmedtech.com/sim4life/)



**Bild 2:** Nachbildung des Aufbaus für die Messung der Schirmdämpfung in der Absorberhalle. Die Simulationsergebnisse wurden mit den Messergebnissen verglichen.

Der untersuchte Frequenzbereich betrug 30 MHz bis 6 GHz, wobei von 30 MHz bis 1 GHz eine Bilog-Antenne verwendet wurde (siehe Abbildungen) und von 1 GHz bis 6 GHz eine Hornantenne. Die Schirmdämpfung der eingelegten Platten (mit Schlitzen etc.), welche in den folgenden Diagrammen angegeben ist, wird aus der Differenz der empfangenen Leistung (in dBm) ohne eingelegte Platte und der empfangenen Leistung mit eingelegter Platte berechnet, wobei die Sendeantenne immer die gleiche Leistung abstrahlt.

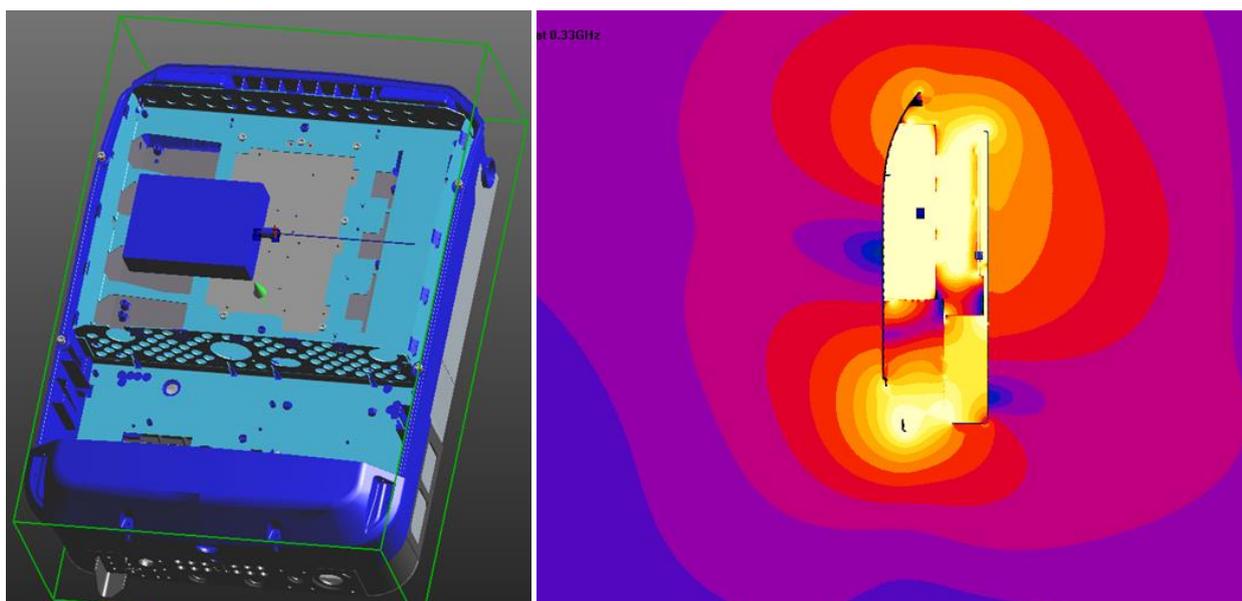


**Bild 3:** Vergleich der gemessenen und der simulierten Schirmdämpfung zur Verifikation der Simulationsmethode

Die gemessenen und die simulierten Schirmdämpfungen werden in Bild 3 verglichen. Es zeigt sich bei niedrigen Werten der Schirmdämpfung (2 Schl. Ver. = 2 Schlitze vertikal in der eingelegten Platte) eine recht gute Übereinstimmung von Messung und Simulation. Bei höheren Werten der Schirmdämpfung (2 Schl. Hor. = 2 Schlitze horizontal) zeigt sich bei niedrigen Frequenzen eine relativ große Differenz, während bei höheren Frequenzen eine bessere Übereinstimmung erzielt werden konnte. Diese Differenz kann allerdings damit erklärt werden, dass die Messdynamik des Aufbaus begrenzt ist. In Bild 3 ist auch die Differenz zwischen komplett geschlossener und geöffneter Öffnung eingefügt (Bezeichnung: Geschlossenen Mes.). Diese Kurve stellt die maximal messbare Schirmdämpfung des Aufbaus (Dynamikgrenze) dar. Die relativ niedrige Dynamikgrenze der Schirmdämpfungsmessung bei den niedrigen Frequenzen kommt dadurch zustande, dass bei diesen Frequenzen durch die Öffnung nur wenig Energie übertragen wird (Wellenlänge  $\gg$  Abmessung der Öffnung) und das Grundrauschen des Empfängers bereits in der Größenordnung der empfangenen Leistung der Antenne liegt. In der Simulation tritt dieser Effekt nicht auf, da es kein Grundrauschen gibt und somit auch sehr kleine Werte der Schirmdämpfung bestimmt werden können. In Bereichen in denen die Dynamikgrenze der Messung nicht zu Tragen kommt ist die Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zufriedenstellend. Damit konnte gezeigt werden, dass die angewandte Simulationsmethode für die Bestimmung von Schirmdämpfungen grundsätzlich geeignet ist.

#### 4 Messung und Simulation von realen Gerätegehäusen

Mit der entwickelten Simulationsmethode können somit Simulationen von realen Gerätegehäusen durchgeführt werden. Um die Schirmdämpfung bestimmen zu können wurde in einem Gehäuse ein Kammgenerator (kammförmiges Spektrum von 30 MHz bis 1 GHz) positioniert, dessen Abstrahlcharakteristik sehr gut bekannt ist. Die Messung wurde in einer Vollabsorberhalle mit einer Messantenne in 3 m Abstand durchgeführt, welche die Emission des Kammgenerators misst. Die Schirmdämpfung ist die Differenz der empfangenen Leistung mit und ohne Gehäuse rund um den Kammgenerator. Besonders wichtig dabei ist, dass der Abstand und die Orientierung des Kammgenerators zur Messantenne in beiden Fällen exakt gleich sind.

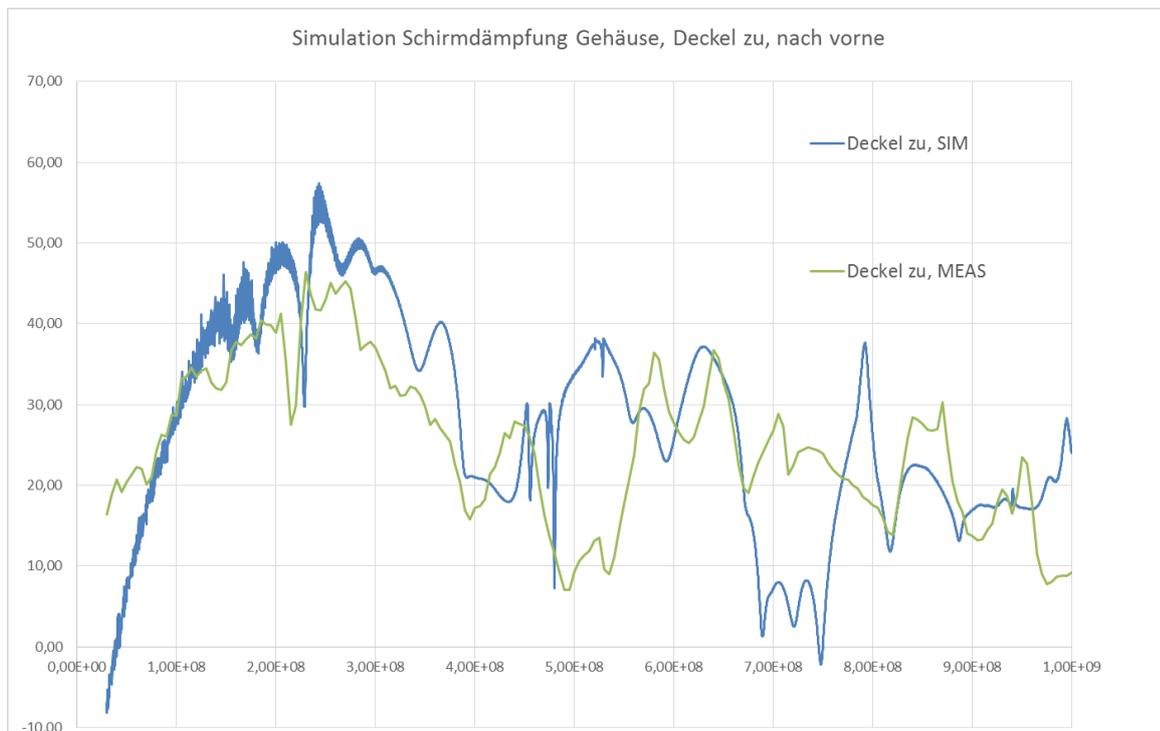


**Bild 4:** Simulationsmodell und Feldverteilung des Gerätegehäuses mit Kammgenerator

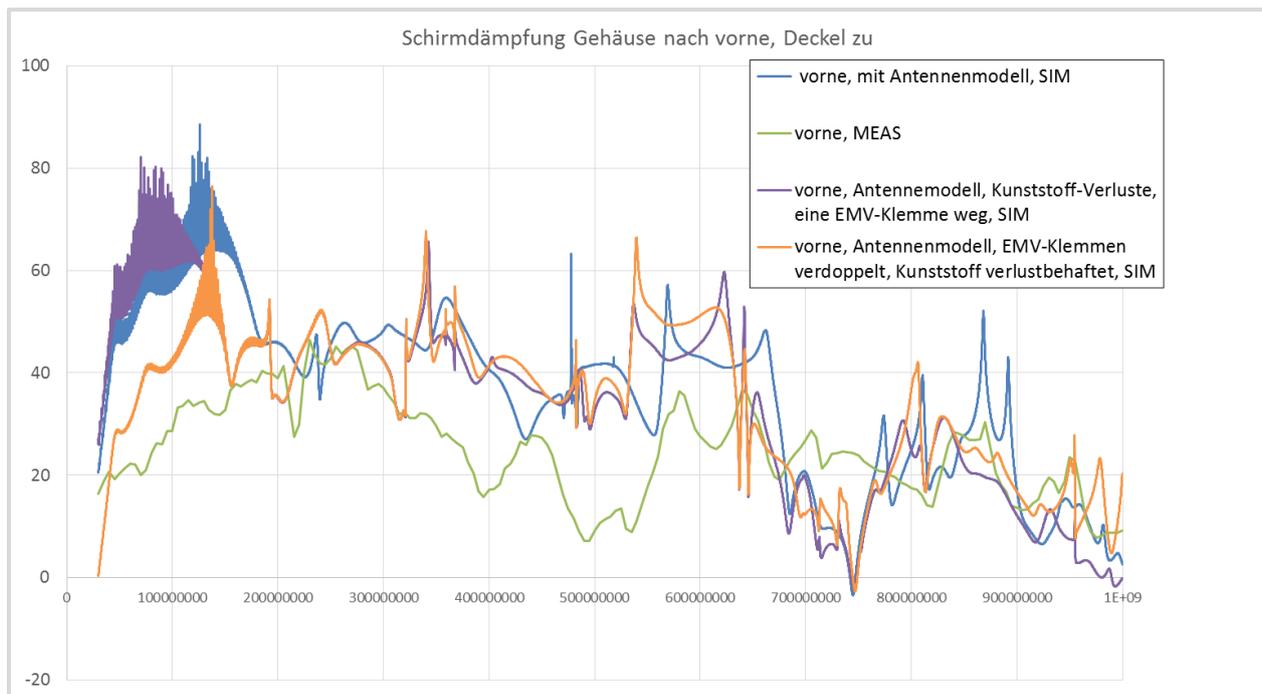


**Bild 5:** Gerätegehäuse mit Kammgenerator zur Bestimmung der Schirmdämpfung

Es wurden zwei verschiedene Antennen am Kammgenerator untersucht: eine Stabantenne und einen Loop-Antenne. Das Gehäuse wurde auf einem Drehtisch positioniert und somit die Emission in verschiedenen Richtungen bestimmt. Es wurden bei der Untersuchung verschiedene Parameter verändert und die Emission mit den jeweiligen Messergebnissen verglichen.



**Bild 6:** Vergleich der gemessenen und simulierten Emission des Gerätegehäuses mit Kammgenerator



**Bild 7:** Veränderung des Simulationsmodells (Anzahl der EMV-Klemmen am Deckel, verlustbehaftete Kunststoffe, modellierte Empfangsantenne) und Vergleich mit der zugehörigen Messung

Die Differenz zwischen Messung und Simulation ist beim Gerätegehäuse größer als beim einfacheren Testszenario zur Validierung. In einigen Frequenzbereichen können Differenzen von bis zu 20 dB auftreten, in vielen Bereichen gibt es aber auch eine sehr gute Übereinstimmung. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass schon relativ kleine Veränderung des Simulationsmodells große Veränderungen bei der simulierten Emission bewirken können (siehe auch [2]).

Weiters muss für den Vergleich mit den Messungen auch die Messantenne modelliert werden. Bei der Bestimmung der Emission in einigen Raumrichtungen genügt es in der Simulation nicht, die Feldstärke in einem Punkt für die Bestimmung der Schirmdämpfung zu verwenden, da die Messantenne die emittierten Felder über die Abmessungen der Antenne mittelt. Es konnte auch festgestellt werden, dass die relativ geringe elektrische Leitfähigkeit der Kunststoffteile relativ großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Wenn den Kunststoffteilen keine Leitfähigkeit zugeordnet wird zeigen sich in manchen Frequenzbereichen höhere Werte der Emission. Hingegen hat es auf das Ergebnis nur einen sehr geringen Einfluss, ob den metallischen Teilen ideale elektrische Leitfähigkeit oder metallische Leitfähigkeit (ca.  $5 \cdot 10^7$  S/m) zugeordnet wird.

Sowohl in der Messung als auch in der Simulation sind niedrige Frequenzen (< 200 MHz) problematisch. In der Simulation gibt es Probleme mit der Stabilität des Simulationsergebnisses (erkennbar an den Schwankungen der Schirmdämpfung in diesem Frequenzbereich), bei der Messung ist bei diesen Frequenzen die Messdynamik oft schon zu gering.

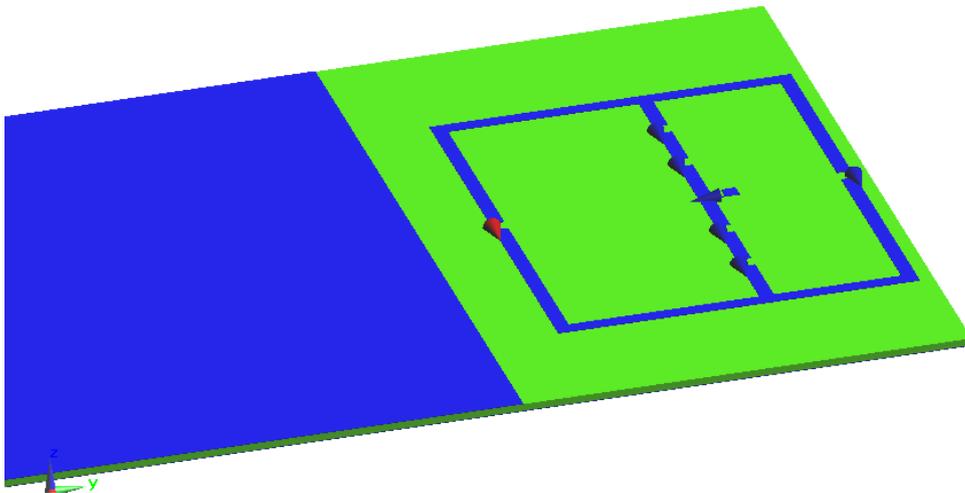
## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Aufgrund der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass es in vielen Bereichen eine gute Übereinstimmung von Messung und Simulation gibt, in einigen Frequenzbereichen gibt es jedoch größere Abweichungen. Der Grund für diese

Differenzen muss in weiteren Untersuchungen bestimmt werden. Trotzdem kann das Simulationsmodell verwendet werden, um den Einfluss von verschiedenen Veränderungen des Gehäuses auf die Emission zu untersuchen. Bei niedrigen Frequenzen gibt es sowohl in der Messung als auch in der Simulation noch Verbesserungsbedarf. Es können am Messaufbau noch Veränderungen vorgenommen werden (Empfangsantenne, Messempfänger), um die Messdynamik bei niedrigen Frequenzen zu erhöhen. Auch in der Simulation können noch Parameter verändert werden (z.B. die räumliche Auflösung des Modells), um die Ergebnisse bei niedrigen Frequenzen zu verbessern.

Im nächsten Schritt muss ein passendes Simulationsmodell der Leistungselektronik entwickelt werden. Dazu werden die für die Emission wichtigsten Strompfade der Leistungselektronik identifiziert und in der Simulation modelliert. Ein vollständiges Modell der Leistungselektronik wäre für die Simulation zu komplex, somit müssen Vereinfachungen vorgenommen werden. In Bild 8 ist ein Modell eines relativ einfachen Strompfades für erste Simulationsversuche abgebildet. Die Emission der Leistungselektronik wird durch einige solcher Strompfade nachgebildet, wobei jeder Strompfad über einen Strom mit einem anderen Spektrum verfügt. Das Spektrum des Stromes wird aus Schaltungssimulationen (z.B. mit LT-Spice) der Leistungselektronik gewonnen. In die Quelle des Strompfades kann entweder ein Signal im Zeitbereich eingespeist werden oder es wird ein breitbandiges Signal verwendet, welches nach der Berechnung mit dem Spektrum des Stromes multipliziert wird.

Die Methodik der Modellierung der Emission der Leistungselektronik muss jedoch noch durch Vergleich mit entsprechenden Messungen validiert werden.



**Bild 8:** Vereinfachtes Modell eines Strompfades in der Simulationssoftware

## 6 Danksagung

Die dargestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Projektes FPES2020 durchgeführt, welches aus Mitteln des Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms „ENERGY MISSION AUSTRIA“ gefördert wird.

## 7 Literatur

- [1] Lamedschwandner K, Garn H: „Der Einfluß von Gehäuseöffnungen auf die Schirmdämpfung von Geräten“, In: Schwab A. (Hrsg.), EMV '98, 6. Internationale Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit, 10. – 12. Februar 1998, Düsseldorf, Proceedings S. 447 – 456, VDE-Verlag, ISBN 3-8007-2324-7
- [2] Cecil S., Lamedschwandner K., Auinger B., Deutschmann B., Winkler G., Ritzberger G., Boxleitner P.; "Möglichkeiten und Grenzen der simulationstechnischen Bestimmung der Schirm Wirkung realer Geräte Gehäuse" Proc. of 15. EMV Fachtagung 2017, OVE Schriftenreihe Band 87, 26. -27. April 2017 Graz
- [3] Reiser P, Garbe H: „Messverfahren zur Wartung von geschirmten Gehäusen“, In: Schwab A. (Hrsg.), EMV 2002, 10. Internationale Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit, 9. – 11. April 2002, Düsseldorf, Proceedings S. 83 -92, VDE-Verlag, ISBN 3-8007-2684-X
- [4] Gnecco L.T.: „The design of Shielded Enclosures: Cost-Effective Methods to Prevent EMI“, Newnes by Butterworth-Heinemann, Hardcover, 224 pages, ISBN 0-1239-5862-8, first published Oct. 2000
- [5] Schlagenhauser F., He J., Fynn K.: „Computer Simulation and Experimental Validation of a metallic Enclosure with Slots“, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2002. IEEE, ISBN: 0-7803-7264-6
- [6] Military Standard Mil Std-285 “Method of Attenuation Measurement for Enclosures, electromagnetic Shielding, for electronic Test Purposes”, published 24 October 1997