

Numerische und meßtechnische Bestimmung der Qualität einer Absorberhalle mit verschiedenen Groundplane-Konfigurationen für die Emissionsmessung

C. Keller, K. Feser

Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, Universität Stuttgart

J. Haala, W. Wiesbeck

Institut für Höchsthfrequenztechnik und Elektronik, Universität Karlsruhe

1 Einleitung

Die Harmonisierung der Normen auf europäischer Ebene führte zu höheren Qualitätsanforderungen für EMV-Meßumgebungen. Für die Messung von gestrahlten Emissionen im Frequenzbereich 30 MHz - 1000 MHz wurde die erlaubte Meßunsicherheit von 10 dB auf 4 dB herabgesetzt. Als Meßumgebungen sind nur Absorberkammern oder Freifelder mit metallischem Boden zulässig. Die Reflexionen an diesem Boden verursachen Interferenzmuster und damit lokale Minima der Feldstärke. Bei ungeschickter Wahl der Antennenposition werden daher ungenaue Meßwerte ermittelt. Aus diesem Grund wird ein Höhenscan der Empfangsantenne vorgeschrieben, der diese Ungenauigkeit ausschließt. Die Durchführung dieses Scans ist allerdings sehr zeitaufwendig.

Von der CENELEC ist deshalb ein Normentwurf (prEN 50147-3) [2] erarbeitet worden, der vollständig ausgekleidete Absorberkammern für Emissionsmessungen vorsieht. Da hier keine Reflexionen am Boden auftreten, entfällt der zuvor erwähnte Höhenscan. Die Dauer der Messung wird somit stark verkürzt.

In diesem Artikel wird eine numerische und meßtechnische Untersuchung von drei verschiedenen Hallenkonfigurationen durchgeführt:

- Die Halle ist vollständig mit Absorbern ausgekleidet (Fully Anechoic Room, FAR).
- Es wird ein vollständig metallisch leitender Boden eingebracht (Groundplane).
- Zwischen Prüfvolumen und Antenne wird in dem Bereich, wo der indirekte Strahl reflektiert wird, ein geringer Teil des Bodens mit Kupferblechen ausgelegt.

All diese Konfigurationen können ohne Veränderung des übrigen Meßaufbaus in der selben Halle eingestellt werden, wodurch sich andere Einflüsse ausschließen lassen.

Da es sich um eine mit Schaumabsorbern ausgekleidete Halle handelt, konzentrieren sich die Untersuchungen vor allem auf den unteren Frequenzbereich <250 MHz, in dem erfahrungsgemäß die meisten Probleme zu erwarten sind, da die verwendeten

Schaumabsorber dort am wenigsten dämpfen. Ein Höhenscan wurde bei den Untersuchungen nicht durchgeführt, weil bei Frequenzen <70 MHz dieser ohnehin nicht die Interferenzen ausgleicht [1]. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die horizontale Polarisation, da dort sehr starke Interferenzen durch die metallische Bodenplatte verursacht werden.

2 Messungen

Die Messungen wurden in der EMV-Halle des Instituts für Energieübertragung und Hochspannungstechnik der Universität Stuttgart durchgeführt. Die vollständig mit Absorbern ausgekleidete Halle hat die Maße $10,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \times 3,9 \text{ m}$ (L x B x H) (gemessen bis Absorberspitze).

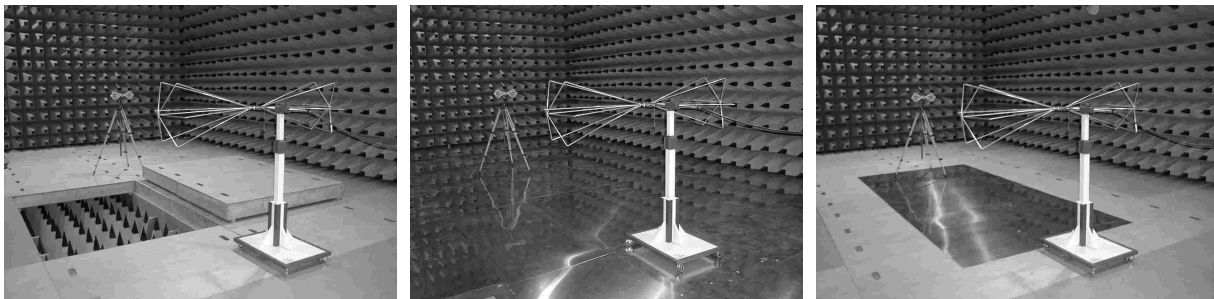


Bild 1: Die drei untersuchten Konfigurationen: vollabsorbierende Halle, Groundplane, Streifen

Die Messungen wurden in drei Konfigurationen der Halle durchgeführt (vgl. Bild 1). Die erste Konfiguration stellt die unveränderte voll ausgekleidete Halle dar, die zweite die mit Kupferplatten ausgelegte Halle. Die so entstehende Groundplane wurde in regelmäßigen Abständen mit der Hallenwand verbunden. Als dritte Konfiguration wurde zwischen Sender und Empfänger ein Kupferstreifen ausgelegt, um zu untersuchen, ob dadurch eine Groundplanehalle angenähert werden kann.

Als Sender wurde eine batteriebetriebene Vergleichsstrahlungsquelle eingesetzt, die ein Spektrum mit Linienabständen von 1 MHz erzeugt. Alle Messungen wurden bei horizontaler Antennenposition durchgeführt. Das Feld wurde mit einer bikonischen Antenne und einem Meßempfänger gemessen. In dem Frequenzbereich von $30 \text{ MHz} - 220 \text{ MHz}$ (Bereich der bikonischen Antenne) wurde wie beim Sender eine Schrittweite von 1 MHz gewählt, wodurch die Peaks der einzelnen Frequenzlinien gemessen wurden und die Meßwerte als eine durchgehende Kurve dargestellt werden können.

Analog zu dem Normenentwurf [2] wird ein zylindrisches Prüflingsvolumen mit den dort empfohlenen Abmaßen, Meßpunkten und Abständen definiert. Das zylindrische Prüflingsvolumen hat einen Durchmesser von $1,20 \text{ m}$ und ist $3,00 \text{ m}$ von der Antenne entfernt (vgl. Bild 2). Antenne und Zylinder werden symmetrisch in der Halle positioniert. Innerhalb des $1,5 \text{ m}$ hohen Zylinders werden auf den Höhen $0,5 \text{ m}$,

1,25 m und 2,00 m drei horizontale Ebenen eingeführt. In den Ebenen werden kreuzförmig fünf Meßpunkte festgelegt. In jeder Hallenkonfiguration werden diese 15 Punkte vermessen und die Feldverteilung charakterisiert.

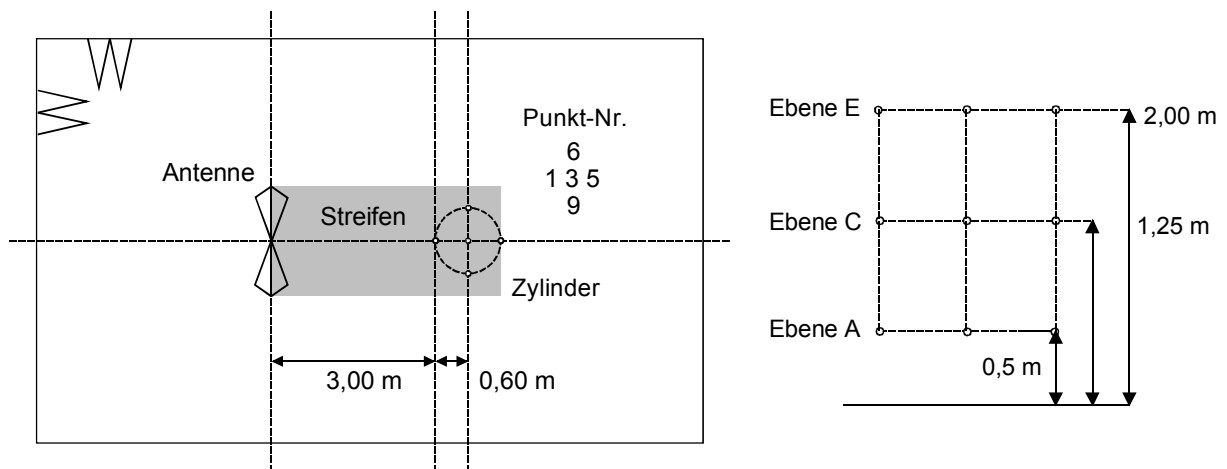


Bild 2: Meßanordnung und Bezeichnung der Punkte

3 Simulation

Zur Simulation der EMV-Halle wird ein am Institut für Höchstfrequenz und Elektronik entwickeltes Programm verwendet, das auf der Finiten Integrationstechnik im Zeitbereich basiert. Diese Methode ist sehr ähnlich zur FDTD [4, 5] und wird deshalb an dieser Stelle nicht näher erläutert.

Bei der Simulation wird das Reziprozitätsprinzip verwendet, um den Berechnungsaufwand zu minimieren. Das Reziprozitätsprinzip sagt aus, daß Sender und Empfänger vertauscht werden können, ohne daß sich die Dämpfung zwischen beiden ändert. Aus diesem Grund wird der Sender an der Stelle platziert, an der sich in den Messungen die Empfangsantenne befindet. Als Sender wurde ein Hertzscher Dipol verwendet, der der Sendecharakteristik einer bikonischen Antenne ähnlich ist. Simulationen mit ausgedehnter Antenne ergaben keine signifikante Änderung der Ergebnisse.

Im Prüfvolumen wird keine Antenne eingesetzt. Die Feldstärke, die an den einzelnen Meßpunkten berechnet wird steht in direktem Verhältnis zu der Leistung, die an einer dort platzierten Antenne gemessen wird. Da als Empfangsantenne bei der Messung eine bikonische Antenne eingesetzt wird, die nur die horizontale Polarisation empfängt, wird bei der Auswertung der Berechnung nur die horizontale Feldstärkekomponente berücksichtigt. Diese Methode reduziert die Anzahl der Berechnungen erheblich, da nicht für jede Sende-/Empfangsantennekonfiguration eine getrennte Berechnung erforderlich ist. Es genügt theoretisch eine einzige Berechnung pro Hallenkonfiguration.

Sehr entscheidend für die korrekte Berechnung von Halleneigenschaften ist die Modellierung der Absorber. In dieser Arbeit wird ein Schichtenmodell verwendet, welches die Pyramidenschaumabsorber als schichtweisen Übergang von der Luft zum Absorbervollmaterial nachbildet. Eine exakte Modellierung der Absorbergeometrien ist aufgrund des immensen Aufwandes nicht möglich. Da eine geeignete Probe des Absorbermaterials zu Bestimmung der Materialeigenschaften nicht vorliegt, werden die Materialparameter anhand der vom Hersteller angegebenen Reflexionskurve mit einer iterativen Evolutionsoptimierung angepasst.

Um eine möglichst genaue Annäherung der berechneten und der vom Hersteller vorgegebenen Reflexionskurve zu erreichen wird bei der Berechnung der Frequenzbereich unterteilt (30-130 MHz und 130-230 MHz). Damit ist eine Annäherung der berechneten und vom Hersteller angegebenen Reflexionsdämpfungen bis auf wenige dB möglich.

4 Vergleich von Messung und Simulation

Der Vergleich der Halleneigenschaften erfolgt in dieser Arbeit auf eine an der Norm 50147-3 angelehnte Methode. Dabei wird in allen Konfigurationen kein Höhenscan ausgeführt. Die Empfangsantenne befindet sich immer an der gleichen Position, 3 m vom Mittelpunkt des Meßvolumens entfernt auf einer Höhe von 1,25 m. Sämtliche Meß- und Berechnungsergebnisse werden auf die Mitte des Meßvolumens normiert. Durch dieses Vorgehen werden die Einflüsse von Antennengewinn und Kabeldämpfungen bei der Messung ausgeglichen. Bei der Berechnung ist die Einfügungsdämpfung aufgrund der Methodik nicht verfügbar und die Ergebnisse müssen immer in einen Bezug gesetzt werden. Dies ist entweder – wie hier – ein Referenzpunkt oder eine analytisch berechnete ideale Feldverteilung.

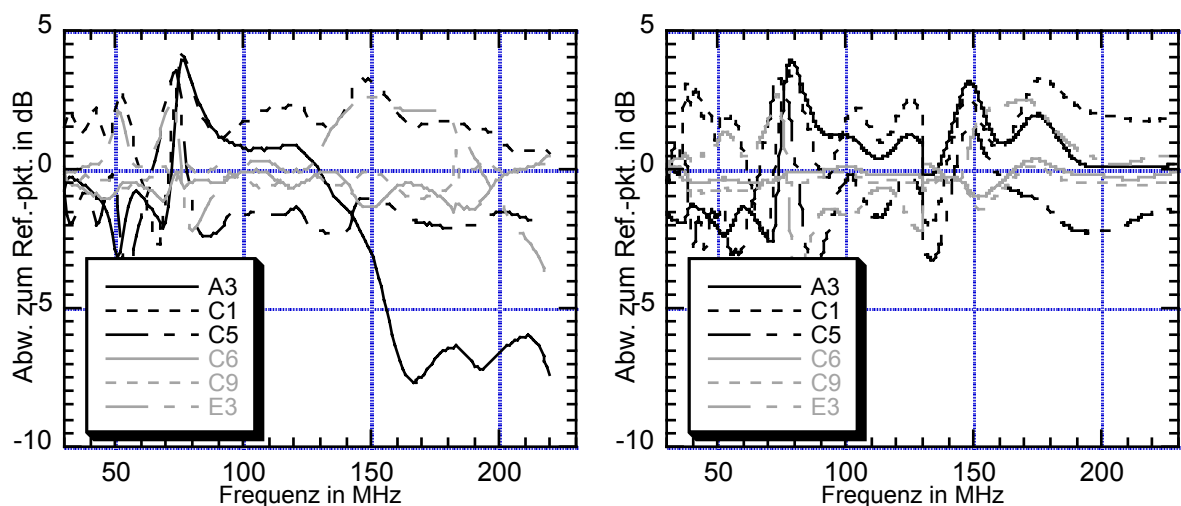


Bild 3: Gemessene (links) und berechnete (rechts) Werte für die Abweichungen zum Referenzpunkt in der vollabsorbierenden Halle

In Bild 3 sind die Ergebnisse für die vollabsorbierende Kammer und in Bild 4 für voll reflektierendem Boden gezeigt. Man erkennt in allen Bildern deutliche Resonanzen unterhalb von 100 MHz. Oberhalb davon verlaufen die gemessenen Kurven relativ glatt. Für die Punkte in der mittleren Ebene zeigen die berechneten Werte eine gute Übereinstimmung zu den gemessenen Werten.

In der vollabsorbierenden Halle ist bei den Punkten in der untersten und obersten Ebene ein große Abweichung für Frequenzen oberhalb 130 MHz festzustellen. Diese sind auf den Holzboden der Kammer zurückzuführen, der teilweise die Felder reflektiert und in der numerischen Simulation nicht berücksichtigt wird. Bei der Kammer mit metallischer Grundfläche stimmen bei diesen Punkten die Ergebnisse überein.

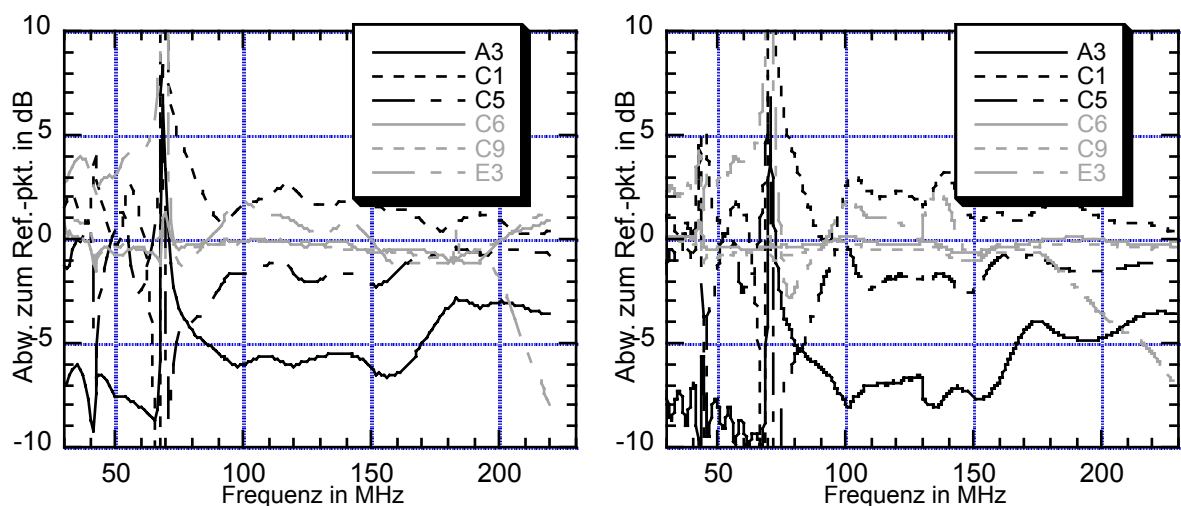


Bild 4: Gemessene (links) und berechnete (rechts) Werte für die Abweichungen zum Referenzpunkt in der Groundplane-Halle

Da die Empfangsantenne sich immer am gleichen Punkt befindet, ergeben sich Abweichungen zu den Kurven an anderen Meßpositionen aufgrund der veränderten Meßdistanz und der Antennenrichtwirkung. Diese Abweichungen überlagern sich den Abweichungen, die durch die Meßkammer bedingt werden.

5 Interpretation der Meßergebnisse

5.1 Vergleich der Groundplane-Messungen mit den berechneten Werten einer idealen Groundplane

Wie schon oben angedeutet, zeigt sich der Einfluß der Halle vor allem bei niederen Frequenzen durch Resonanzeffekte. Dies läßt sich besonders deutlich in der Groundplane-Konfiguration zeigen.

Um den Einfluß der Halle aus den Meßdaten herauszuheben, werden die in Bild 4a dargestellten gemessenen Daten mit analytisch berechneten verglichen. Dazu wird das Feld eines idealen Hertzschen Dipols über einer unendlich ausgedehnten leitenden Fläche berechnet und daraus – entsprechend der Vorgehensweise bei den Meßdaten - die entsprechenden Differenzen zum Mittelpunkt gebildet. Die Differenz dieser beiden Kurvensätze zeigt Bild 5. Es ist gut zu erkennen, daß oberhalb von ca. 90 MHz die Abweichungen fast Null sind, d.h. innerhalb des Prüfvolumens bildet sich somit nahezu eine Feldverteilung wie über einer unendlich ausgedehnten leitenden Fläche aus. Unterhalb dieser Frequenz ergeben sich jedoch starke Abweichungen bis zu 20 dB. Da der Einfluß von verschiedenen Abständen zwischen Sender und Empfänger sowie von Interferenzen über die beschriebene Differenzbildung eliminiert wird, sind diese Abweichungen auf Hallenresonanzen zurückzuführen.

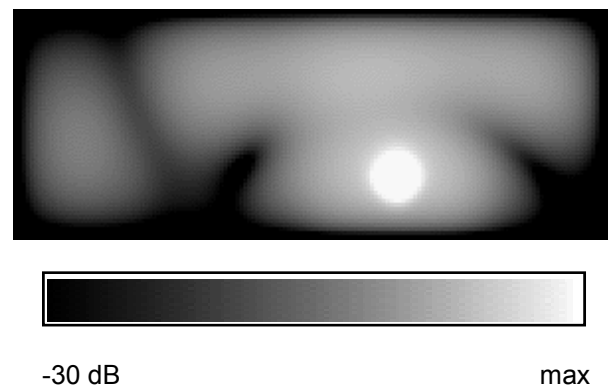
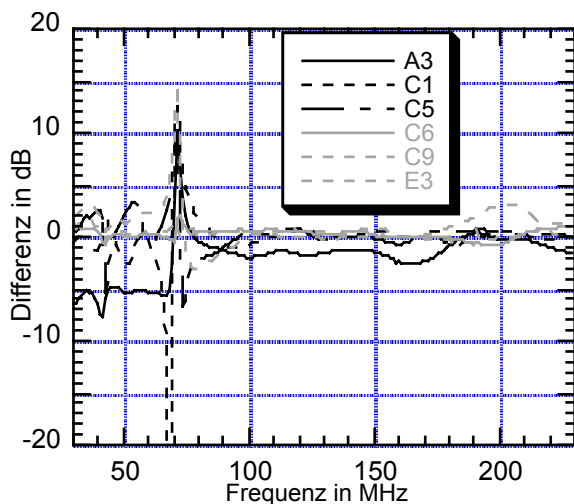


Bild 5: Differenz der gemessenen Werte zu einem idealen analytisch berechneten Freifeld

Bild 6: Feldverteilung in der Halle bei 69 MHz (Längsschnitt)

Die Reflexionsdämpfung der Absorber beträgt bei 90 MHz nach Angaben des Herstellers ungefähr -10 dB. Dieser Wert stellt hier die Grenze für eine gute Bedämpfung von Hallenresonanzen dar.

Durch die Darstellung der Kurven als Differenz zum Mittelpunkt lassen sich diese als ein Maß für die Feldhomogenität im Prüfvolumen interpretieren. Im Bereich der Hallenresonanzen stellt die Streuung der Kurven somit eine stark unterschiedliche Bewertung von verschiedenen Meßpunkten im Prüfvolumen dar. Zwei gleich stark strahlende Quellen innerhalb des Volumens können hier um bis zu 20 dB unterschiedlich erfaßt werden. Die Position bzw. Ausdehnung des Prüflings beeinflusst an den kritischen Frequenzen stark das Meßergebnis.

Bei der Frequenz 69 MHz ist in den Kurven eine besonders ausgeprägte Resonanz zu erkennen. Bild 6 zeigt die Feldverteilung bei dieser Frequenz in einem Längsschnitt der Halle. Darin ist deutlich die Ausprägung von Maxima und Minima aufgrund von Resonanzen zu sehen.

5.2 Vergleich von Groundplane-Halle und vollabsorbierender Halle

Um den Unterschied zwischen einer mit Groundplane ausgelegten und einer vollabsorbierenden Halle zu charakterisieren, wird die Differenz der Meßdaten von der Groundplane-Konfiguration und der vollabsorbierenden Konfiguration an den Punkten im Prüfvolumen betrachtet.

Auch hier (Bild 7a) lassen sich wieder die Effekte der Hallenresonanzen erkennen. Ein Vergleich der Meßdaten zeigt jedoch, daß die Resonanzen im Fall der vollabsorbierenden Halle wesentlich niedriger als bei der Groundplanehalle sind, was durch die bedämpfende Wirkung der Bodenabsorber zu erklären ist.

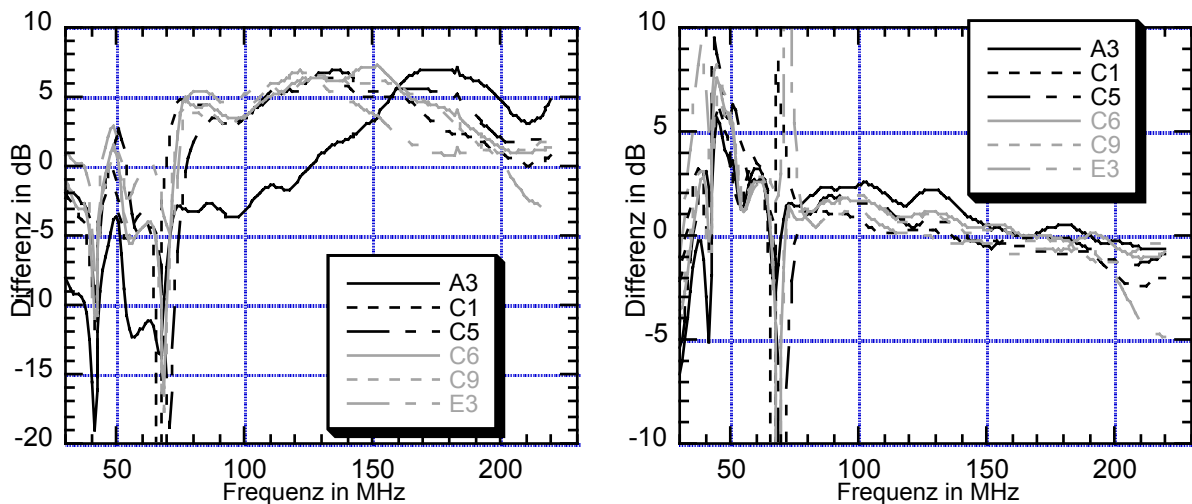


Bild 7a: Differenz der Meßkurven: Groundplane – vollabs. Halle
Bild 7b: Differenz der Meßkurven: Groundplane – Streifenanordnung

Im Bereich oberhalb 90 MHz bewegen sich die Kurven im Mittel bei ca. 5 dB; d.h. für Messungen mit Groundplane ergeben sich um diesen Betrag höhere Werte. Dieser Effekt entsteht durch konstruktive Interferenz des direkten und indirekten Strahls. Die Annäherung an eine Asymptote im Bereich von 5 dB wurde schon durch frühere theoretische Untersuchungen von Garn [1] gezeigt. Aus diesem Grunde wird im Normenentwurf [2] für Emissionsmessungen in FARs die Erniedrigung der bisherigen (für Groundplanehallen) geltenden Grenzwerte um 5 dB vorgeschlagen.

5.3 Vergleich von Groundplane-Halle und Streifen

Bild 7b zeigt in Analogie zum vorigen Kapitel die Differenz der Meßkurven von der Groundplanekonfiguration zur Streifenanordnung. Hier läßt sich deutlich erkennen, daß oberhalb der Resonanzen der Unterschied sich im Bereich weniger dB bewegt, d.h. in diesem Frequenzbereich kann eine vollabsorbierende Halle durch das Auslegen eines Kupferstreifens zwischen Prüfling und Antenne angenähert werden. Diese Erkenntnis ist von Bedeutung, wenn in FARs ohne große Umbauten (bzw. ohne Umrechnung von Meßergebnissen aus FARs mit Korrekturfaktoren)

Emissionsmessungen nach den bisher geltenden Normen, in denen eine Groundplane vorgeschrieben ist, durchgeführt werden sollen. Der auftretende Fehler ist so gering, als wenn die Meßwerte pauschal um 6 dB erhöht werden, um die Grenzwerte der Norm anwenden zu können.

6 Zusammenfassung

Die Simulation zeigt trotz der Vereinfachungen eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten. Der Einfluß der Absorberhalle läßt sich mit einer Genauigkeit von 2 dB nachbilden. Dabei zeigt die Berechnung die pessimistischeren Ergebnisse.

Die Qualität einer Absorberhalle wird bei tiefen Frequenzen maßgeblich durch die Ausbildung von Hallenresonanzen verschlechtert. Es können Fehler bis zu 20 dB entstehen. Von Sachzwängen abgesehen ist eine Halle erst oberhalb dieser Frequenzen sinnvoll nutzbar.

Im Bereich oberhalb der Resonanzen läßt sich die in dem Normenentwurf vorgeschlagene Absenkung der Emissionsgrenzwerte für FARs um 5 dB als sinnvoll bestätigen.

Für Emissionsmessungen kann oberhalb der Resonanzfrequenzen in einer FAR durch Auslegen eines Kupferstreifens zwischen Prüfling und Antenne das Verhalten einer Groundplanehalle nachgebildet werden

7 Literatur

[1] H. Garn: Proposal for a new radiated-emission test method using a completely absorber-lined chamber without groundplane. 9th International Zurich Symposium an Technical Exhibition on EMC, 1991. Paper Nr. 57

[2] CENELEC: Draft prEN 50147-3. 1998

[3] K.-D.Göpel, D.Genz: Die Konzeption von EMV-Meßplätzen. Franzis' 1995

[4] A. Taflove, Advances in Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Artech House 1998

[5] K. S. Kunz, R. J. Luebbers, The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press, 1993.

[6] J. Haala, W. Wiesbeck, "Modellierung von Pyramiden-Schaumabsorbern mit Finiten-Differenzen im Zeitbereich", EMV-2000, Düsseldorf, Feb. 2000.