

# Verbesserung der Korrelation zwischen GTEM-Zelle und Absorberhalle durch Nahfeldmessungen

Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Steffen Schulze<sup>2</sup>, Prof. Dr.-Ing. Marco Leone<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Medizintechnik, O.-v.-G.-Universität Magdeburg, Deutschland

<sup>2</sup> Würth Elektronik eiSos GmbH, Waldenburg, Deutschland

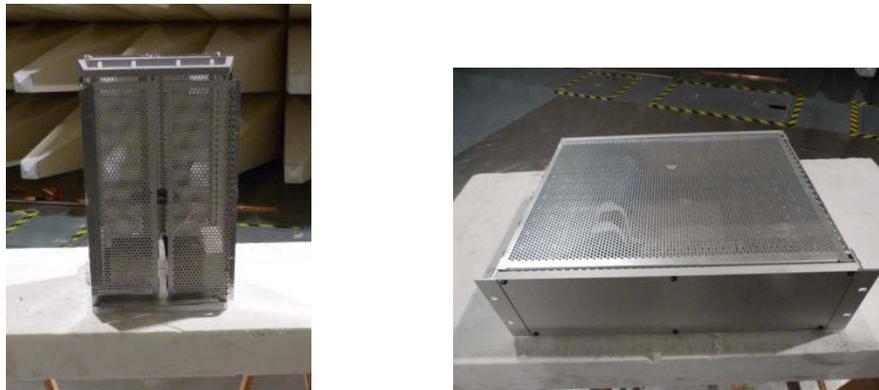
## 1 Einleitung

Die GTEM-Zelle kann sowohl für Störemissions- als auch für Störfestigkeitsmessungen verwendet werden. Die Normmessung in der Absorberhalle ist relativ zeitaufwendig. Im Gegensatz dazu ist die Durchführung von Emissionsmessungen in der GTEM-Zelle mit weniger Aufwand verbunden. Wie sich jedoch aus zahlreichen Versuchen in der Praxis gezeigt hat, können in Einzelfällen, insbesondere bei komplexen Prüflingen, beträchtliche Abweichungen zu den Messergebnissen in der Absorberhalle auftreten. Die Norm IEC 61000-4-20 [1] beschreibt einen Emissionstest in einem TEM-Wellenleiter – wie z.B. eine GTEM Zelle – basierend auf der Messung der induzierten Spannung am Zellenport für mindestens drei orthogonale Orientierungen des Testobjektes (DUT). Eine ausführlichere Darstellung der Abstrahlcharakteristik wird mit allen zwölf Orientierungen des DUT erreicht. Frühere Untersuchungen sind in [3] publiziert. In [4] wurden verschiedene Einflussgrößen beschrieben, die zu Unsicherheiten in den gemessenen Spannungen am Zellenport oder in der Korrelation der Emissionsmessungen in TEM-Wellenleitern und speziell in der GTEM-Zelle führen. In [2] wurde eine mögliche Verbesserung der Korrelation durch Verwendung realistischer Werte für die Direktivität des DUTs diskutiert. Durch eine numerische Simulation des verwendeten Prüflings wurde die Direktivität als Funktion der Frequenz bestimmt. Durch Verwendung der variablen Direktivitätswerte bei der Umrechnung wurde insgesamt eine Verbesserung der Korrelation erzielt. Jedoch kann in gewissen Frequenzbereichen selbst bei Anwendung der 12-Positionen-Methode nach [1] eine Überbewertung um bis zu ca. 15 dB gegenüber der Absorberhalle auftreten. Die Bestimmung der frequenzabhängigen Direktivität ist bei komplexen Prüflingen rechnerisch nicht immer möglich. Für die messtechnische Ermittlung der Direktivität wird eine Absorberhalle benötigt.

Der folgende Beitrag ist eine Erweiterung der bisherigen Untersuchungen und beschreibt eine alternative Methode zur schnellen Bestimmung der kritischen Prüflingspositionen mit Hilfe von Nahfeldmessungen. Diese Methode ist einfach und kostengünstig, da nur eine entsprechend empfindliche Nahfeldsonde benötigt wird. Es wurde versucht, die standardisierte Korrelationsmethode nach [1] anhand von Nahfeldmessungen zu verbessern. Für diesen Zweck wurden zwei ähnliche Testobjekte benutzt, die aus einem Referenzstrahler in einem Metallgehäuse mit mehreren Öffnungen bestehen.

## 2 Beschreibung der beiden Testobjekte

Der Prüfling „1“ besteht aus einem Aluminiumgehäuse, in dem ein Referenzsignalgenerator mit einer Monopolantenne als anregende Feldquelle platziert wurde. Die Front des Gehäuses besteht aus zwei Teilabdeckungen, die so verschoben wurden, dass ein T-förmiger Schlitz entsteht (Abb. 1, li). Der Prüfling weist eine gewisse Symmetrie auf. Die Größe des Gehäuses wurde so gewählt, dass es für die GTEM-Zelle eine möglichst hohe Beladung darstellt, ohne die in der Norm [1] vorgeschriebenen Ausmaße zu überschreiten. Es wurde kein externes Kabel an den Prüfling angeschlossen. Für die später in diesem Beitrag gezeigten Nahfeldmessungen wurden die Schlitz so verändert, dass eine strukturelle Unsymmetrie entsteht. Der Prüfling „2“ besteht aus einem Standard-19“-Gehäuse aus Aluminium mit gelochten Seitenflächen (Abb. 1, re). In das Gehäuse wurde ein batteriegespeicherter Kammgenerator des Typs RefRad X (Seibersdorf Laboratories) integriert. Der nutzbare Frequenzbereich beträgt 10 kHz bis 3 GHz; der Abstand der Spektrallinien wurde auf 1 MHz eingestellt. Der Prüfling entspricht einem realitätsnahen, breitbandig störenden elektronischen Gerät.



**Abb. 1:** Links: Prüfling „1“, rechts: Prüfling „2“, beide in Orientierung A1.

## 3 Korrelation mit variabler Direktivität

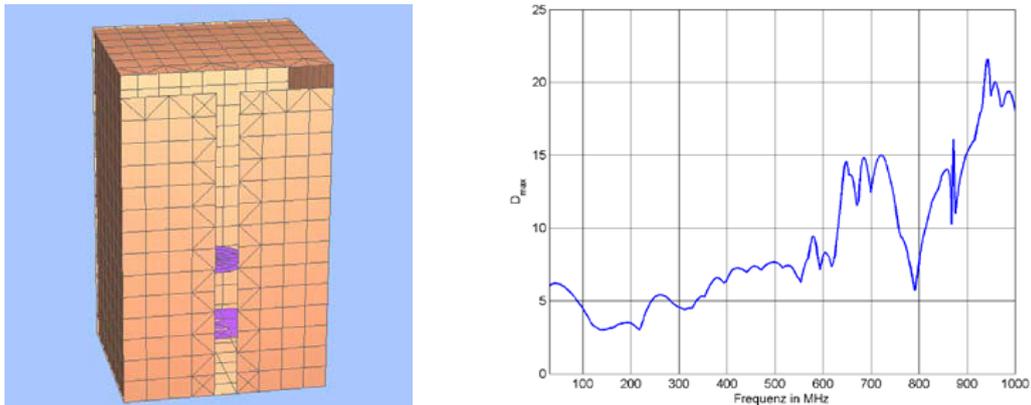
Der Messaufbau sowohl in der Absorberhalle als auch in der GTEM-Zelle ist aus den Fotos in Abb. 2 ersichtlich.



**Abb. 2:** Messaufbau für den Prüfling „1“ in der Absorberhalle (links) und in der GTEM-Zelle (rechts).

### 3.1 Simulation zur Bestimmung der Direktivität

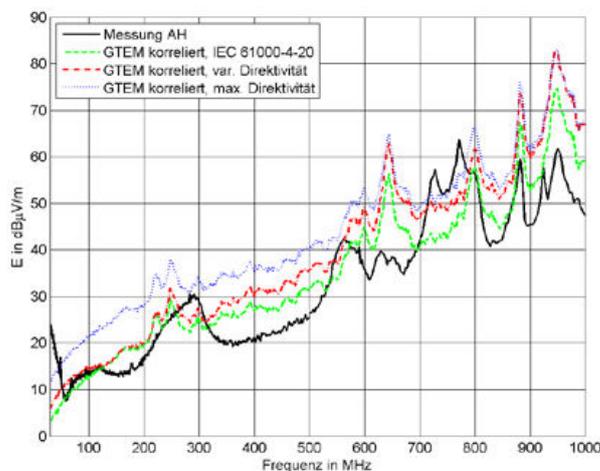
Der Korrelationsalgorithmus, der in der Norm [1] beschrieben wird, verwendet zur Berechnung der äquivalenten, in einer Absorberhalle gemessenen elektrischen Feldstärke, einen Wert für die Direktivität des Prüflings von 3. Dieser Wert resultiert aus einer *worst-case*-Annahme für elektrisch kleine Strahler, deren Strahlungscharakteristik durch eine Superposition von elektrischen und magnetischen Dipolen nachgebildet werden kann. Wie in [2] gezeigt, führt die Annahme einer konstanten Direktivität zu einer Unterbewertung der Störemission in einigen Frequenzbereichen. Die frequenzabhängige Direktivität wurde mit Hilfe einer numerischen Feldsimulation in CONCEPT im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 GHz ermittelt. Das Modell ist zusammen mit der simulierten maximalen Direktivität (pro Frequenz) in Abb. 3 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Werte weitaus größer sind als 3, mit einem Maximum von 22 bei 940 MHz.



**Abb. 3:** Numerisches Modell des Prüflings „1“ (links) und berechnete maximale Direktivität (rechts).

### 3.2 Vergleich der Korrelationsergebnisse

Abb. 4 zeigt für Prüfling "1" den Vergleich zwischen den Messergebnissen in der Absorberhalle und den korrelierten Messdaten in der GTEM-Zelle, bei drei verschiedenen Direktivitätsverläufen.



**Abb. 4:** Vergleich der Abstrahlungsmessung in der Absorberhalle (AH) und in der GTEM-Zelle bei Verwendung verschiedener Werte für die Direktivität (Prüfling "1").

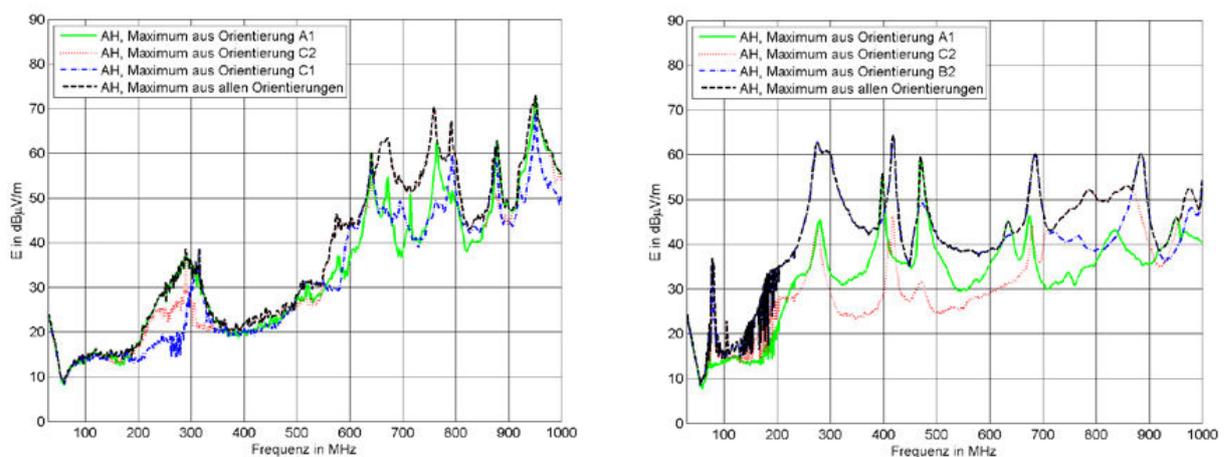
Die Emissionsmessung in der Absorberhalle erfolgte nach der Norm EN 55016-2-3 durch eine Variation der Antennenhöhe von 1 m bis 4 m in 30 cm Schritten und der Drehrichtung des Prüflings zur Antenne in 30° Schritten. In der GTEM-Zelle wurde der Prüfling in der selben Position aufgestellt (Abb. 2). Die Messung der Spannung am Zellenport erfolgte mit Hilfe des Messempfängers ESU 40 der Firma Rohde&Schwarz gemäß der Norm DIN EN 61000-4-20 [1]. Wie aus den Messergebnissen in Abb. 4 zu erkennen ist, liegen bei einigen Frequenzen größere Abweichungen vor. Die Amplituden in der GTEM-Zelle sind auch nicht bei allen Frequenzen überbewertet.

### 3.3 Einfluss der Lage des Prüflings auf die Störemission in der Absorberhalle

Nach EN 55016-2-3 soll die Störemission eines Prüflings nur in einer Orientierung untersucht werden. Der Hersteller muss angeben, welche Orientierung am häufigsten in Gebrauch ist. Im Falle von tragbaren Geräten oder steckbaren Komponenten, wie z.B. eine Festplatte in einem PC-Gehäuse, gibt es einen Mangel an Klarheit über diese Aussage.

Um die Auswirkungen der verschiedenen Orientierungen eines Prüflings auf die Emissionsmessung zu untersuchen, wurden weitere Messungen an den beiden Testobjekten durchgeführt. Es wurden als Grundposition die zusätzlichen orthogonalen Orientierungen B2, C1 und C2 nach [1] verwendet. Die in der Absorberhalle gemessene maximale Feldstärke (vertikale und horizontale Polarisation) des Emissionsspektrums für die Prüflinge „1“ und „2“ ist in Abb. 5 dargestellt.

Wie die Messergebnisse deutlich zeigen, kann der Einfluss der Objektorientierung in einer Absorberhalle oder der OATS signifikant sein. In unserem Fall treten Abweichungen bis zu 27 dB bei einigen Frequenzen auf. Die gemessene Amplitude in Orientierung B2 beim Prüfling „2“ ist höher als in anderen Orientierungen. Es wird deutlich, dass bei einigen Frequenzen, wie bei 80 MHz oder 420 MHz beim Prüfling 2, in den zusätzlichen Orientierungen B2 und C2 höhere Peaks auftreten als in der Hauptorientierung A1.



**Abb. 5:** Referenzmessungen der Strahlungsfeldstärke in der Absorberhalle bei unterschiedlichen Objektausrichtungen: Prüfling 1 (links), Prüfling 2 (rechts).

## 4 Verbesserung der Korrelation durch Nahfeldmessung

Wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt, kann durch die Verwendung einer variablen Direktivität die Korrelation der GTEM-Zellenmessung zur Messung in der Absorberhalle gegenüber einem festen Wert nach DIN EN 61000-4-20 [1] verbessert werden. Jedoch ist die Bestimmung der frequenzabhängigen Direktivität für einen komplexen Prüfling rechnerisch nicht immer möglich oder sehr zeitaufwändig. Für eine experimentelle Bestimmung wäre eine Absorberhalle nötig. Eine einfache Alternative, die in diesem Papier zur Verbesserung der Korrelation vorgeschlagen wird, ist die Durchführung von Nahfeldmessungen zur Ermittlung der kritischen Prüflingspositionen. Bei der anschließenden Messung in der GTEM-Zelle werden dann nur diese Positionen und nicht alle 12 in der Norm vorgeschriebenen Orientierungen verwendet.

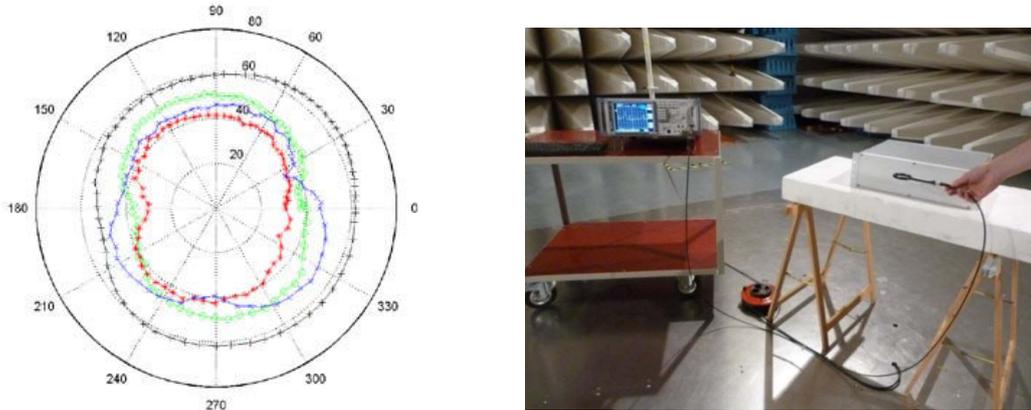
Um diese Methode zu validieren, wurde in der Absorberhalle zunächst die Abstrahlcharakteristik der beiden Testobjekte bei verschiedenen Frequenzen, Höhen und Polarisierungen vermessen. Tab. 1 gibt für Prüfling „2“ bei vier ausgewählten Frequenzen einen Überblick über Drehwinkel, Antennenhöhe und Polarisierung, bei den ein Maximum der elektrischen Feldstärke auftritt. Abb. 6 zeigt die gemessenen Abstrahldiagramme bei den vier Frequenzen.

| Frequenz | Winkel | Antennenhöhe | Polarisation | Kurve (Abb. 6) |
|----------|--------|--------------|--------------|----------------|
| 277 MHz  | 260°   | 3,2 m        | horizontal   | rot (*)        |
| 396 MHz  | 315°   | 3,2 m        | horizontal   | blau (x)       |
| 416 MHz  | 45°    | 1,6 m        | horizontal   | schwarz (+)    |
| 468 MHz  | 110°   | 2 m          | vertikal     | grün (o)       |

**Tabelle 1:** Prüflingspositionen in der Absorberhalle für maximalen Strahlungspegel bei vier ausgewählten Frequenzen (Prüfling „2“)

### 4.1 Aufbau Nahfeldmessung

Für die Messung der magnetischen Feldstärke im Nahfeld des Prüflings in der Absorberhalle wurde eine Ringsonde aus dem HZ-11 Set von Rohde&Schwarz mit passendem Vorverstärker und der Spektrumanalysator Rohde&Schwarz FSP 30 verwendet. Die Messung wurde in allen drei Hauptachsen der Sonde in Bezug zum Prüfling durchgeführt. Es wurde eine sehr gute Übereinstimmung der Messergebnisse festgestellt, obwohl dies aufgrund der möglichen Abweichung zwischen elektromagnetischem Nah- und Fernfeld nicht unbedingt zu erwarten war.



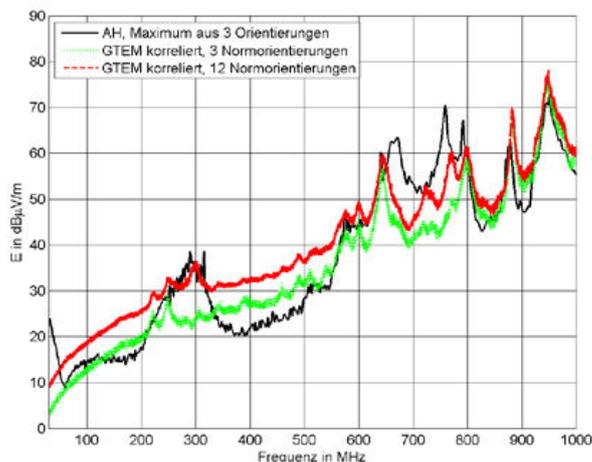
**Abb. 6:** Abstrahldiagramme (links) und Nahfeldmessaufbau (rechts) vom Prüfling „2“

## 4.2 Korrelationsergebnisse GTEM-Zelle

Für die Messergebnisse in der GTEM-Zelle wurden verschiedene Vergleiche durchgeführt. Zum einen wird der Vergleich zwischen der 3-Positionen-Methode und der 12-Positionen-Methode nach [1] dargestellt sowie der Vergleich zwischen der 12-Positionen-Methode und der Korrelation mit Hilfe der aus der Nahfeldmessung bestimmten kritischen Prüflingsorientierungen.

### 4.2.1 Prüfling 1

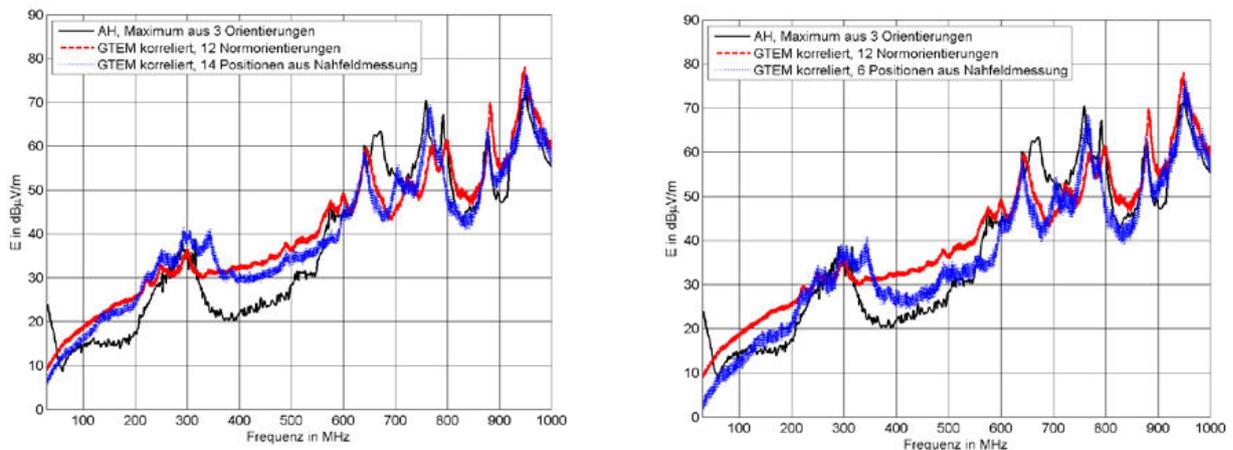
Wie in Abb. 7 ersichtlich, ist bei Verwendung von nur 3 Orientierungen die korrelierte Feldstärke teilweise stark unterbewertet, vor allem in den Bereichen zwischen 200 MHz und 350 MHz und zwischen 650 MHz und 800 MHz. Bei Verwendung der 12-Positionen-Methode sind die Werte näher an der Absorberhallen-Messung; durch eine Verschiebung der Resonanzen treten aber auch hier Unterbewertungen bis zu 15 dB auf.



**Abb. 7:** Vergleich der korrelierten Störfeldstärke nach der 3-Positionen- und 12-Positionen-Methode mit der Messung in der Absorberhalle (AH)

Werden die Positionen aus der Nahfeldmessung herangezogen, ist eine Ähnlichkeit der Amplituden zur 12-Positionen-Methode zu sehen (Abb. 9 links). Die Vielzahl an Positionen resultiert aus der Kombination der 5 identifizierten Winkelbereiche mit den 3 orthogonalen Grundpositionen. In einigen kleineren Frequenzbereichen ist die

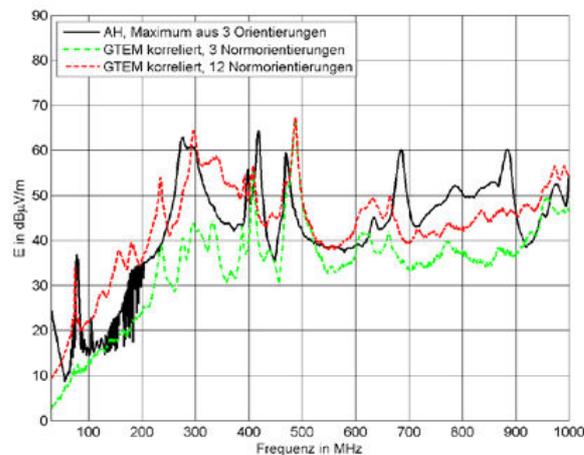
Korrelation besser. Bei Reduktion der Anzahl der Positionen (Abb. 9 rechts) tritt nur eine geringe Verschlechterung der Ergebnisse auf.



**Abb. 8:** Vergleich der korrelierten Störfeldstärke mit der Messung in der Absorberhalle (AH), mit der 12-Positionen-Methode, bei Verwendung aller (links) und bei reduzierter Anzahl (rechts) kritischer Prüflingspositionen.

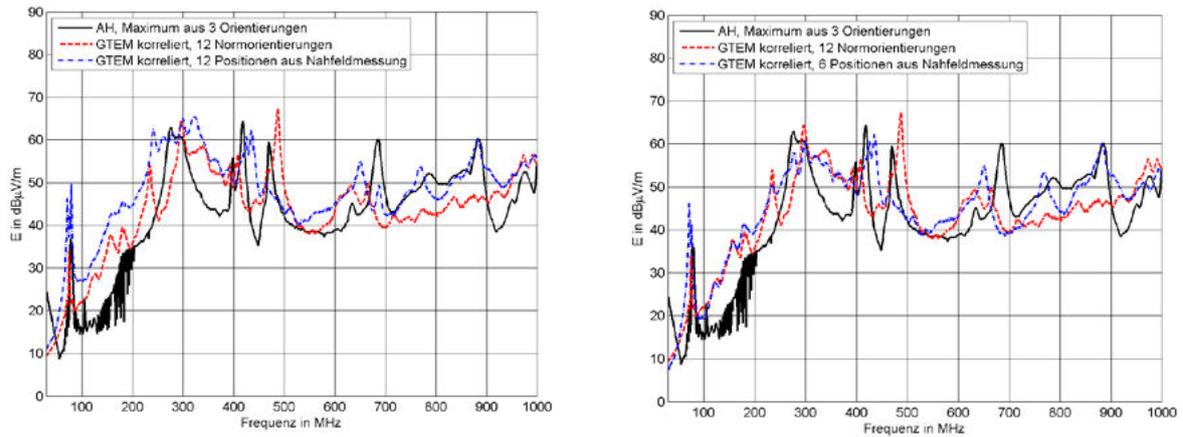
#### 4.2.2 Prüfling 2

Beim Prüfling „2“ sind die Abweichungen in den korrelierten Daten signifikanter als beim Prüfling „1“. Dies wird besonders deutlich beim Vergleich der beiden Norm-Methoden (Abb. 9). Die 12-Positionen-Methode ist wesentlich besser, erfasst aber einige Maxima nicht, z.B. bei 420 MHz, 690 MHz und 890 MHz.



**Abb. 9:** Vergleich der korrelierten Störfeldstärke nach der 3-Positionen- und 12-Positionen-Methode mit der Messung in der Absorberhalle (AH)

Die Verwendung der Positionen aus der Nahfeldmessung liefert hier besser korrelierte Daten (Abb. 10). Mehrere Maxima im Spektrum werden erfasst, wenn auch mit gewissen Abweichung in der Amplitude. Nahezu im gesamten Frequenzbereich findet eine Überbewertung statt. Eine Verringerung der Anzahl von Positionen von 12 auf 6 liefert auch in diesem Fall noch sehr gute Ergebnisse.



**Abb. 10:** Vergleich der korrelierten Störfeldstärke bei Verwendung aller (links) und bei reduzierter Anzahl (rechts) kritischer Prüflingspositionen zur 12-Positionen-Methode

## 5 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, wie die Genauigkeit der Korrelation von Störaussendungsmessungen in einer GTEM-Zelle gegenüber dem bisherigen Verfahren nach der Norm [1] verbessert werden kann. Eine Möglichkeit ist, für den Prüfling eine frequenzabhängige Direktivität in der Umrechnung zu verwenden, die die Abstrahlcharakteristik genauer nachbildet. Da dies für komplexe Prüflinge messtechnisch bzw. durch Simulation nur mit großem Aufwand realisierbar ist, wurde ein neuer Ansatz vorgestellt, für den keine geschirmte Messumgebung erforderlich ist, sondern nur eine entsprechend empfindliche Nahfeldsonde und ein Spektrumanalysator. Mit Hilfe dieser Nahfeldmessung können die von der Frequenz abhängigen Richtungen, in die der Prüfling die höchsten Strahlungsamplituden aufweist, zuverlässig identifiziert werden. Diese kritischen Positionen werden in der eigentlichen Emissionsmessung in der GTEM-Zelle ausschließlich verwendet. Wie die Vergleiche an zwei realitätsnahen Testobjekten zeigen, werden mit diesem Verfahren insbesondere die Maxima im Frequenzspektrum besser erfasst und eine allzu große Überbewertung in den umgerechneten Daten vermieden.

## 6 Referenzen

- [1] DIN EN 61000-4-20: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-20: Prüf- und Messverfahren - Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern, 2010
- [2] Al-Hamid, M.; Schulze, S.; Leone, M.: "Possible improvement of the correlation method for GTEM cell emission tests", EMC Europe 2013, Brügge, Belgien, 191–196
- [3] M. Al-Hamid, H.-J. Scheibe, M. Leone, S. Schulze, "Untersuchung der Korrelation zwischen SAC und GTEM-Zelle anhand von Simulationen und Messungen an einem einfachen Prüfling," EMV 2012, Düsseldorf, Deutschland, März 2012, 545–552
- [4] T. E. Harrington, „Catalog of TEM waveguide radiated emissions correlation methods,“ IEEE International Symposium on EMC, vol. 1, August 2002, 486–491