

# Untersuchungen zu TEM Hornantennen für Störfestigkeitsprüfungen im Nahbereich

Dr. Ralf Heinrich, Teseq GmbH, Entwicklung, 12623 Berlin, Deutschland  
Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, Energietransport und –speicherung, Universität Duisburg-Essen, 44057 Duisburg

## 1 Einleitung

Im Normentwurf der geplanten IEC 61000-4-39 [1] ist für den Bereich von 385 MHz bis 6 GHz der Einsatz von TEM Hornantennen vorgesehen. Im Rahmen der Arbeiten am Normentwurf wurden verschiedene Entwicklungsmuster von TEM Hornantennen entwickelt, um die technisch realisierbaren Parameter zu erforschen und zu erproben und um Erfahrungen zum Einsatz von TEM Hornantennen für die Störfestigkeitsprüfungen im Nahbereich zu gewinnen. Von besonderem Interesse waren dabei die Parameter Feldhomogenität, Frequenzabhängigkeit und der Vergleich mit anderen Antennen.

## 2 Aufbau und Eigenschaften von TEM Hornantennen

Der Aufbau und wesentliche Parameter von TEM Hornantennen sind z.B. in [2] beschrieben. Für den Einsatz für Störfestigkeitsprüfungen im Nahbereich sollte die Antenne eine möglichst kompakte Bauform zur einfachen Handhabbarkeit haben. Abbildung 1 zeigt beispielhaft eines der Entwicklungsmuster mit einem Einsatzbereich von 385 MHz bis 6 GHz. In diesem Beitrag wird über zwei Muster berichtet. Das kleine TEM Horn hat eine Kantenlänge von ca. 10 cm, das große TEM Horn eine Kantenlänge von ca. 20 cm. Die eigentliche Antennenstruktur befindet sich zum mechanischen Schutz und für eine bessere Handhabung in einem Styrodur-Körper.



Abbildung 1: TEM Hornantenne (Entwicklungsmuster)

Die Größe der Fläche mit homogenem Feld wird durch mehrere Parameter und Abhängigkeiten bestimmt, z.B. durch die Größe der Antenne, Frequenz und Abstand von der Apertur. Abbildung 2 zeigt die Feldhomogenität des kleinen Entwicklungsmusters bei 900 MHz in 10 cm Abstand von der Apertur der Antenne. Die maximale Feldstärke ist normalisiert auf 0 dB. Die Größe der homogenen Ebene wird durch die maximal zulässige Abweichung von -4 dB vom Wert der maximalen Feldstärke bestimmt (siehe [1]).

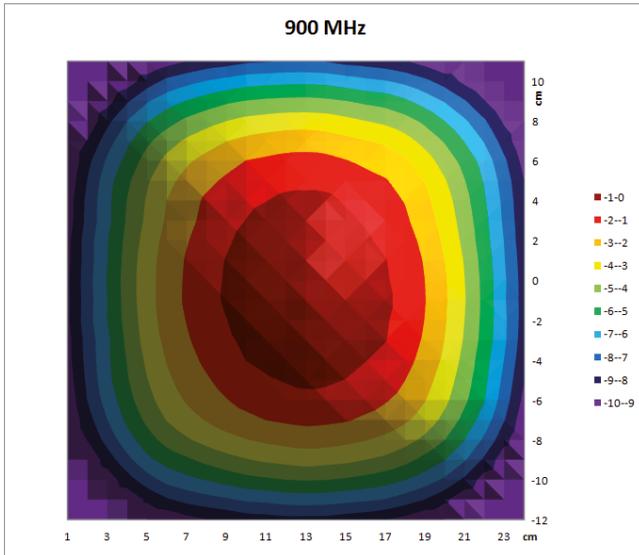


Abbildung 2: Feldhomogenität der kleinen TEM Hornantenne bei 900 MHz in 10 cm Abstand

### 3 Motivation für den Einsatz von TEM Hornantennen

Dem Einsatz von TEM Hornantennen für Störfestigkeitsprüfungen im Nahbereich liegen folgende Überlegungen zu Grunde:

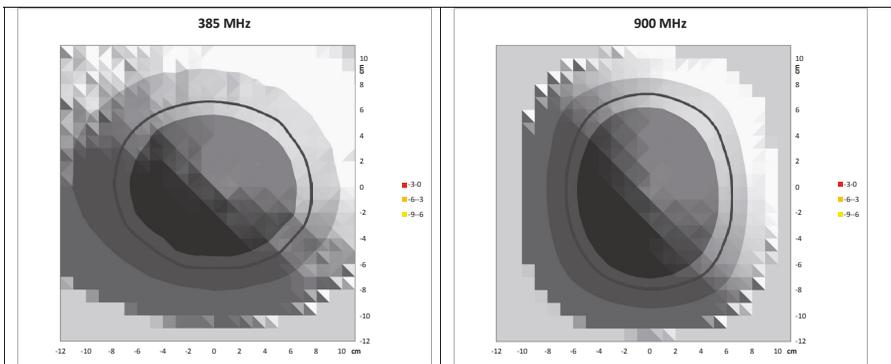
- Lokale Exposition des Prüflings zur gezielten Untersuchung von Nahbereichsphänomenen
- Reproduzierbare PrüfpegelEinstellung mit Hilfe einer kleinen Feldsonde oder eines Scanners in einem bestimmten Abstand im Nahbereich der Antenne, z.B. 5 oder 10 cm.
- Verfahren zur PrüfpegelEinstellung unabhängig von der Bauform, internem Aufbau oder dem Hersteller der Antenne

- Einsatzmöglichkeit im Frequenzbereich von 385 MHz bis 6 GHz, aufgrund des hohen Positionieraufwandes vorzugsweise mit einer Antenne, die den gesamten Frequenzbereich abdeckt
- Homogene Ausleuchtung des Prüflings bzw. des zu untersuchenden lokalen Expositionsbereiches des Prüflings über den gesamten Frequenzbereich und rasche Feldabnahme zu den Seiten
- Gutes Handling bei der praktischen Anwendung im Labor
- Erforderliches zusätzliches Equipment für die Störfestigkeitsprüfung im Nahbereich beschränkt sich auf die TEM Hornantenne, da das vorhandene Equipment für eine gestrahlte Störfestigkeitsprüfung nach IEC 61000-4-3 auch für die Prüfung nach IEC 61000-4-39 nutzbar ist
- Geringe HF Exposition des Prüfpersonals bei manueller Durchführung der Prüfungen durch gerichteten Strahler

## 4 Feldhomogenität von TEM Hornantennen im Vergleich zu anderen Antennen

### 4.1 Frequenzabhängigkeit der Feldhomogenität

Abbildung 3 zeigt die experimentell ermittelte Frequenzabhängigkeit der Feldhomogenität des kleinen TEM Horns in 5 cm Abstand. Das Horn ist über den gesamten Frequenzbereich von 385 MHz bis 6 GHz anwendbar. Im oberen Frequenzbereich von ca. 5-6 GHz ist die homogene Fläche etwas kleiner, es treten jedoch noch keine höheren Moden auf, die die Anwendbarkeit als TEM Hornantenne einschränken oder gar verhindern würden.



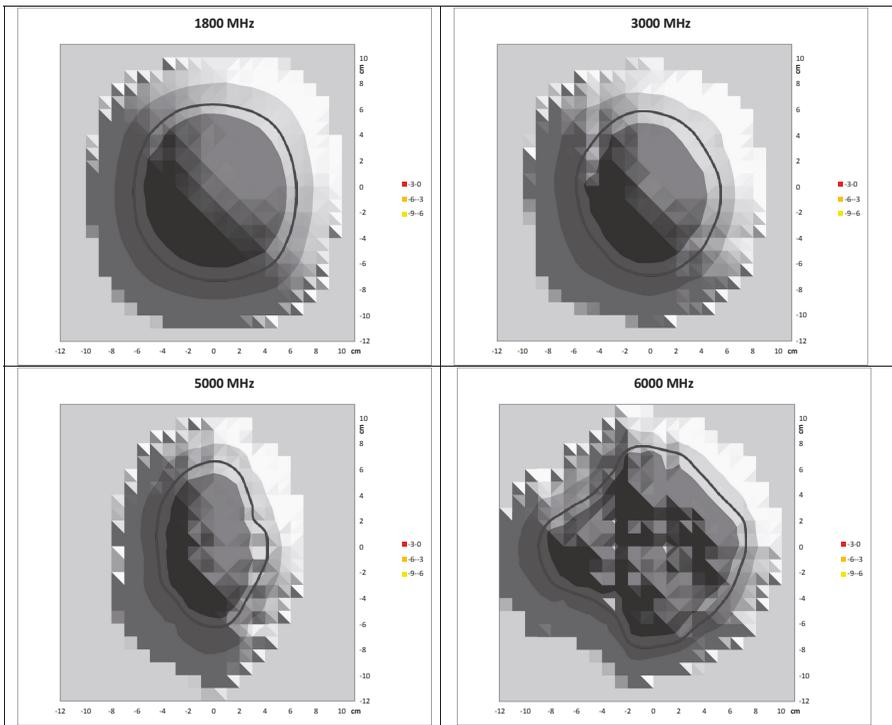


Abbildung 3: Frequenzabhängigkeit der Feldhomogenität in 5 cm Abstand. (Die -4 dB-Isolinie ist jeweils in blau eingetragen)

#### 4.2 Abhängigkeit der Feldhomogenität von der Größe der TEM Hornantenne

Abbildung 4 zeigt den Vergleich zwischen der kleinen und großen TEM-Hornantenne. Die große TEM Hornantenne hat naturgemäß eine größere homogene Fläche, lässt sich dafür aber nur bis ca. 3 GHz anwenden.

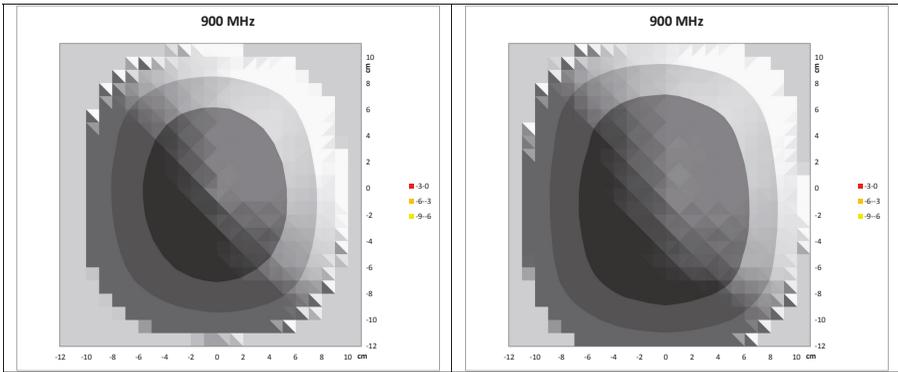


Abbildung 4: Vergleich zwischen der kleinen (links) und der großen TEM-Hornantenne (rechts) bei 900 MHz in 5 cm Abstand

### 4.3 Abhängigkeit vom Abstand zum Prüfling

Mit zunehmendem Abstand vom Prüfling wird die homogene Fläche größer. Man kann also eine ähnlich große homogene Fläche mit der kleinen Hornantenne in größerem Abstand (und mehr Speiseleistung) erreichen, wie mit der größeren TEM Hornantenne.

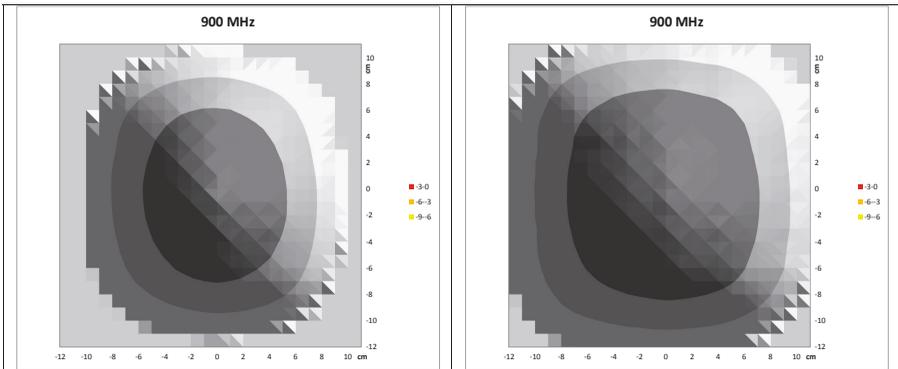


Abbildung 5: Vergleich der homogenen Fläche der kleinen Hornantenne in 5 cm (links) bzw. 10 cm Abstand (rechts) bei 900 MHz

### 4.4 Vergleich mit anderen Hornantennen

Das TEM Horn generiert in seinem Nutzfrequenzbereich eine reine TEM-Welle. Bei anderen Hornantennen bildet sich diese Charakteristik erst mit zunehmendem Abstand von der Apertur der Hornantenne aus. Daher kann es im unmittelbaren Nahbereich vor der Apertur der Antenne, was der Anwendungsbereich der IEC 61000-4-39 ist, zu einer

stark inhomogenen Feldverteilung kommen, siehe exemplarische Messergebnisse einer Hornantenne in Abbildung 6.

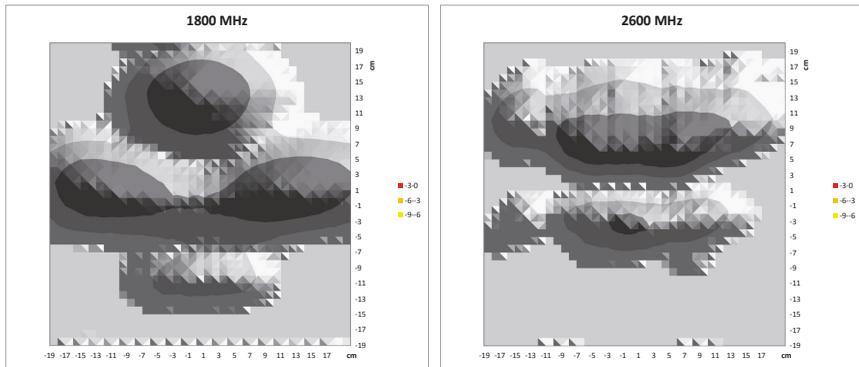
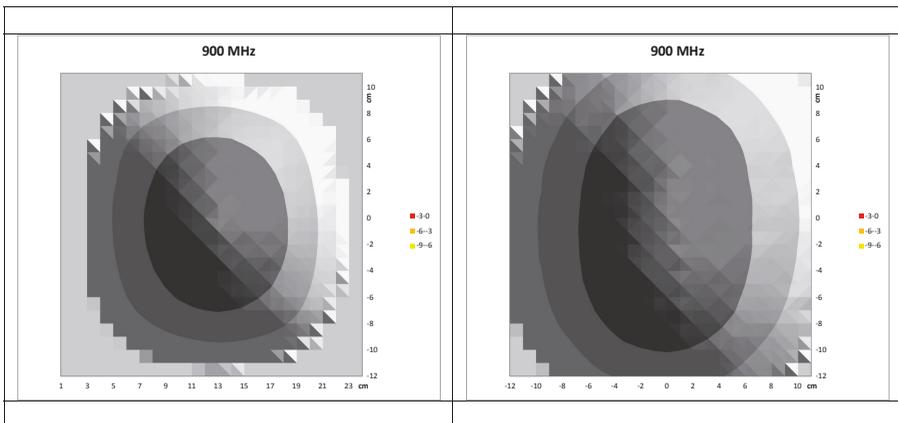


Abbildung 6: Beispiele für die inhomogene Feldverteilung vor der Apertur einer Hornantenne in 5 cm Abstand bei 1800 MHz und 2600 MHz

#### 4.5 Vergleich mit Schmetterlingsantenne

Bei der Schmetterlingsantenne, die für Störfestigkeitsprüfungen im Automobilbereich eingesetzt wird, ist die Feldhomogenität stark frequenzabhängig. An der unteren Grenze des Anwendungsbereiches bei ca. 400 MHz sind die Feldstärkemaxima auf beide Flügel der Antenne aufgeteilt. Diese wandern dann in Richtung Zentrum der Antenne, wie in Abbildung 7 für die Frequenz von 900 MHz beispielhaft dargestellt ist. Zu höheren Frequenzen in Richtung 2,4 GHz spaltet sich die Feldverteilung wieder in mehrere Maxima.



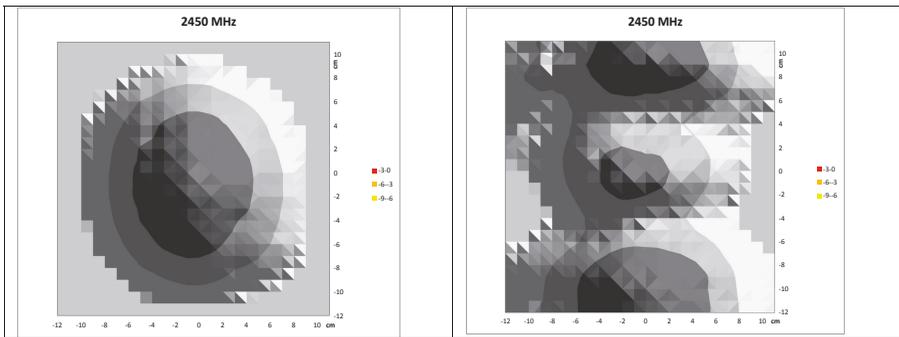


Abbildung 7: Feldhomogenität der TEM Hornantenne (links) im Vergleich zur Schmetterlingsantenne (rechts) in 5 cm Abstand bei 900 MHz und 2450 MHz

## 5 Praktische Erprobung

Die praktische Erprobung erfolgt anhand eines Prüflings, über den schon in einem früheren Beitrag [3] im Rahmen von Untersuchungen zum möglichen Einsatz von Modenverwirbelungskammern für Störfestigkeitsprüfungen im Nahbereich berichtet wurde. Die bekannten Störphänomene können in vergleichbarer Art und Weise reproduziert werden. Bei der Erprobung wird weiterhin festgestellt, dass bei diesem Prüfling eine größere TEM Hornantenne auch nachteilig sein kann, wenn sensitive Stellen, denen unterschiedliche Störphänomene zugerechnet werden können, räumlich nahe beieinander liegen. Es kann zur Überlagerung oder gar Überdeckung (bei sensitiven Stellen mit höheren Störfestigkeitspegeln) von Störphänomenen kommen. Diese Eigenschaft ist aber eher der Philosophie des Normentwurfs [1] als der Implementierung in Form der TEM Hornantenne geschuldet.



Abbildung 8: Prüfaufbau zur Erprobung der TEM Hornantenne

## 6 Zusammenfassung

Mit den hier vorgestellten Untersuchungen konnte die prinzipielle Realisierbarkeit und Anwendbarkeit von TEM-Hornantennen für den Normentwurf der IEC 61000-4-39 nachgewiesen werden. Die praktische Umsetzung und Optimierung hängt von verschiedenen Parametern ab. Eine größere Antenne erscheint zunächst vorteilhaft, da mit einer größeren homogenen Fläche die Prüfzeit reduziert werden kann. Nachteilig ist allerdings die geringere Bandbreite, so dass im Bereich bis 6 GHz mit mehreren Antennen gearbeitet werden muss. Weiterhin ist zu beachten, dass die Größe des sinnvollen Expositionsbereiches stark prüflingsabhängig ist und z.B. durch eine unregelmäßige Bauform des Prüflings oder durch die gleichzeitige Anregung verschiedener lokaler Störphänomene durch zu großen Expositionsbereich gekennzeichnet sein kann.

Die Vergleichsmessungen zeigen, dass Breitband-Hornantennen und Standard Gain Hornantennen im Nahbereich vor der Apertur eine stark inhomogene Feldverteilung haben können und damit u.U. nicht die Anforderungen der IEC 61000-4-39 erfüllen.

## Referenzen

- [1] 77B/736/CD: IEC 61000-4-39 - ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) – Part 4-39:Testing and measurement techniques – Radiated fields in close proximity immunity test, 2015-07-24
  
- [2] Chriss A. Grosvenor; Robert T. Johnk; David R. Novotny; Nino Canales; Benjamin Davis; Jason Veneman: TEM Horn Antenna Design Principles, Technical Note (NIST TN) – 1544, January 23, 2007
  
- [3] R. Heinrich, R. Sitzmann, S. Kirchner, J. Schommer: Untersuchungen zur Störfestigkeit von Geräten im Nahbereich von Mobiltelefonen, EMV2012, 7.-9.2.2012