

# Optimierung von UWB-Antennen für Bodenradarsysteme mit der Anwendung in der zerstörungsfreien Prüfung

R. MARKLEIN\*, A.A. JAMALI\*\*

\* Ingenieurbüro Dr.-Ing. Marklein, Fuldata

\*\* Universität Kassel

**Kurzfassung.** In diesem Beitrag werden ultrabreitbandige (ultra-wideband: UWB) Antennen zur Anwendung in Bodenradarsystemen zur zerstörungsfreien Prüfung und Materialcharakterisierung untersucht, modelliert, optimiert und getestet. Zur Gruppe der UWB-Antennen gehören unter anderen die „Bow-Tie“- , Vivaldi-, „Butterfly“- , Draht- und TEM-Hornantenne, wobei die letztere Antenne gute Eigenschaften für die Anwendung im Bodenradar besitzt. Dieses Potential wird anhand von numerischen Simulationen der elektromagnetischen Wellenausbreitung im Zeitbereich dokumentiert. Nachteile dieser Antenne sind interne Reflexionen und das Auftreten von Nachschwingern. Diese Effekte konnten durch die Optimierung der Antennenstruktur erheblich reduziert werden. Weiterhin wurde eine Optimierung der TEM-Hornantenne hinsichtlich der Anpassung des Wellenwiderstandes an das zu untersuchende Material durchgeführt. Die Leistungsfähigkeit der optimierten TEM-Hornantenne bei der Anwendung in einem Bodenradarsystem zur Detektion von Objekten im Erdreich oder zur Charakterisierung von geschichteten Materialien wird detailliert untersucht.

René Marklein <sup>1)</sup>, Abdul Aleem Jamali <sup>2)</sup>  
(marklein@ibdim.de, jamali@uni-kassel.de)

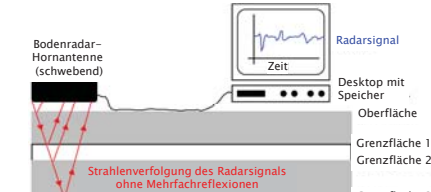
<sup>1)</sup> Ingenieurbüro Dr.-Ing. Marklein, 34233 Fulda

<sup>2)</sup> Universität Kassel, FB 16 Elektrotechnik/Informatik, FG Theorie der Elektrotechnik und Photonik, 34121 Kassel

## Zusammenfassung


In diesem Beitrag wird eine ultrabreitbandige (ultra-wideband, UWB) Antenne zur Anwendung in Bodenradarsystemen zur zerstörungsfreien Prüfung und Materialcharakterisierung untersucht, modelliert, optimiert und getestet. Zur Gruppe der UWB-Antennen gehören unter anderen die V-, „Bow-Tie“-„Butterfly“-„Vivaldi- und „Monocone“-Antenne sowie die TEM-Hornantenne. Letztere besitzt sehr gute Eigenschaften für die Anwendung im Bodenradar. Das Potential der TEM-Hornantenne wird anhand von numerischen Simulationen der elektromagnetischen Wellenausbreitung im Zeitbereich dokumentiert. Nachteile dieser Antenne sind interne Reflexionen und das Auftreten von Nachschwingern. Diese Effekte konnten durch die Optimierung der Antennenstruktur erheblich reduziert werden. Weiterhin wurde die Optimierung der TEM-Hornantenne hinsichtlich der Anpassung des Wellenwiderstandes an das zu untersuchende Material analysiert. Die Leistungsfähigkeit der optimierten TEM-Hornantenne bei der Anwendung in einem Bodenradarsystem zur Detektion von Objekten im Erdreich oder zur Charakterisierung von geschichteten Materialien wird detailliert dokumentiert.

## Bodenradar



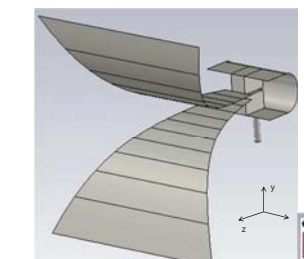
**Funktionsprinzip des Bodenradar-Verfahrens: monostatische Reflexionsmessung**

Radarsignal  
Zeit  
Desktop mit Speicher  
Oberfläche  
Grenzfläche 1  
Grenzfläche 2  
Grenzfläche 3  
Strahlenverfolgung des Radarsignals ohne Mehrfachreflexionen

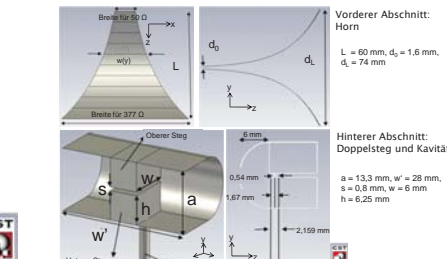


**Bodenradar-Hornantennen (schwebend)**  
Quelle: BASI, www.basi.de

## TEM-Hornantenne



**TEM-Hornantenne** ( $f_1 = 10,5$  GHz,  $B_{3dB} = 9,23$  GHz)

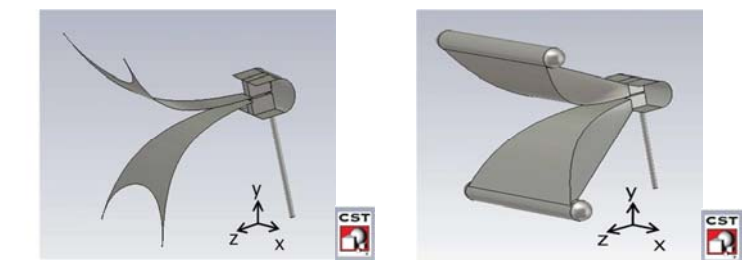


**Design Parameter der TEM-Hornantenne**

Vorderer Abschnitt: Horn  
 $L = 60$  mm,  $d_1 = 1,6$  mm,  $d_2 = 74$  mm

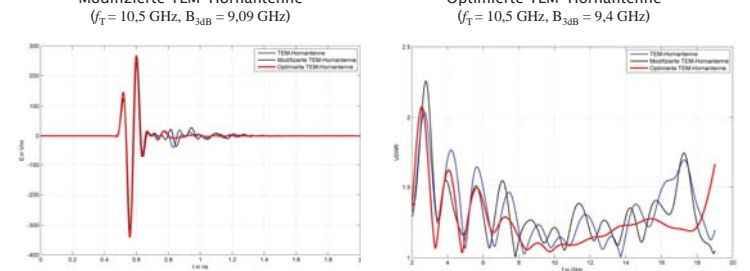
Hinterer Abschnitt: Doppelsteg und Kavität  
 $a = 13,3$  mm,  $w = 28$  mm,  $s = 0,8$  mm,  $w = 6$  mm,  $h = 6,25$  mm

## Optimierung der TEM-Hornantenne



**Modifizierte TEM-Hornantenne**  
( $f_1 = 10,5$  GHz,  $B_{3dB} = 9,09$  GHz)

**Optimierte TEM-Hornantenne**  
( $f_1 = 10,5$  GHz,  $B_{3dB} = 9,4$  GHz)



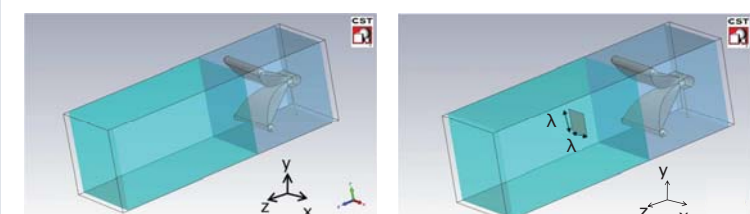
**Vergleich der abgestrahlten Antennensignale im Nahfeld auf der Antennenachse**

**Vergleich des Spannungsstehwellenverhältnisses (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)**

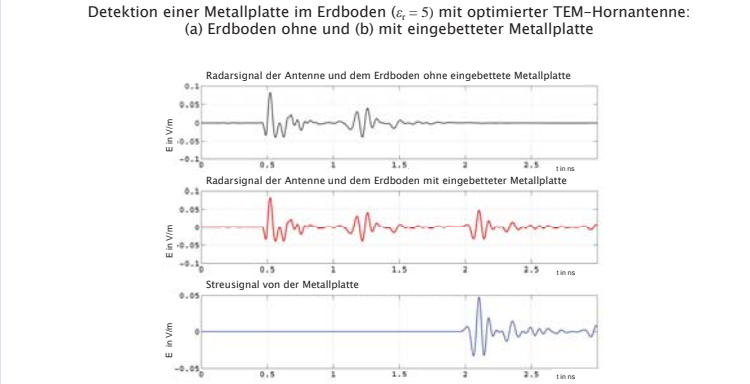
## Schlussfolgerung

Es wurde das Design und die Optimierung einer ultrabreitbandigen TEM-Hornantenne für Bodenradaranwendungen präsentiert. Die verschiedenen Antennendesigns wurden in Bezug auf ihr transientes Verhalten und des Spannungsstehwellenverhältnisses (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) untersucht und gegenübergestellt. Die optimierte TEM-Hornantenne zeigt wesentlich verbesserte Eigenschaften. Mit der optimierten TEM-Hornantenne wurden dann verschiedene Bodenradaranwendungen modelliert, wie beispielsweise: die Detektion einer im Erdboden eingebetteten Metallplatte und die Charakterisierung verschiedener mehrschichtiger Modelle für eine Beton- und Holzdeckenkonstruktion.

## Anwendung: Detektion einer Metallplatte



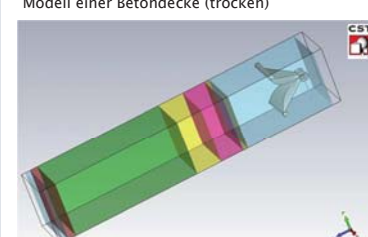
**Detektion einer Metallplatte im Erdboden ( $\epsilon_r = 5$ ) mit optimierter TEM-Hornantenne:**  
(a) Erdboden ohne und (b) mit eingebetteter Metallplatte



**Bestimmung des Streusignals durch Subtraktion der Radarsignale für den Fall ohne und mit eingebetteter Metallplatte**

## Anwendung: Geschichteter Bodenaufbau

**Modell einer Betondecke (trocken)**



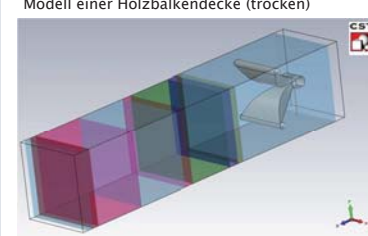
**Reflektiertes Radarsignal von der geschichteten Betondecke**

**Reflexion von der Hornantenne**

**Streusignal von der geschichteten Betondecke**

Schicht	Schichtdicke d in cm	Relative Permittivität $\epsilon_r$	Elektrische Leitfähigkeit $\sigma_e$ in S/m
Bodenbelag	1	2	0,001363
Estrich	4,5	4	0,004089
Dämmschicht	5	2	0,001363
Betondecke	25	5	0,027259
Deckenputz	1,5	2,5	0,001363

**Modell einer Holzbalkendecke (trocken)**



**Reflektiertes Radarsignal von der geschichteten Holzbauweise**

**Reflexion von der Hornantenne**

**Streusignal von der geschichteten Holzbauweise**

Schicht	Schichtdicke d in cm	Relative Permittivität $\epsilon_r$	Elektrische Leitfähigkeit $\sigma_e$ in S/m
Bodenbelag (Parkett)	1	2	0,001363
Trockenschüttung (Sand)	8	3	0,002726
Betonenschicht	8	5	0,027259
Trennlage (Holz)	1,5	2	0,027259
Luft	7	1	
Trennlage (Holz)	1,5	2	0,027259
Deckenputz	1	2,5	0,001363