

Jens Werner, Achim Enders

Neues Verfahren

zur Kalibrierung von Hochfrequenz-Feldsensoren

Am Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) der Technischen Universität Braunschweig wird gegenwärtig ein grundlegend neues Verfahren zur Kalibrierung von HF-Feldsensoren entwickelt, das auch bei den Mobilfunkfrequenzen höhere Messgenauigkeiten als bisher bekannt ermöglichen soll.

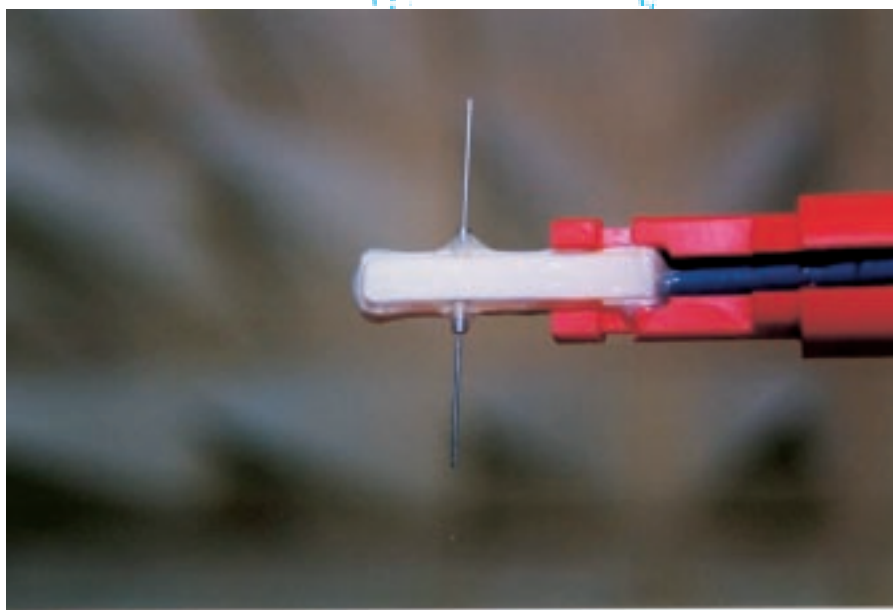


Bild 1: Elektrooptischer Sensor mit verlängerten Dipolarmen

Das neue Verfahren verwendet als Wellenleiter eine offene Zweidrahtleitung, wobei analog zu etablierten Verfahren in geschlossenen transversale elektromagnetische Zellen (TEM)-Zellen (Bild von TEM-Zelle) aus der zugeführten HF-Leistung und der Wellenleitergeometrie die Feldstärken berechnet werden. Die Verwendung der offenen Zweidrahtstruktur ergibt nun entscheidende Vorteile:

- Sie erlaubt die Überlagerung von zunächst unbekanntem, zum Zwecke der Kalibrierung gestrahlten und leitungsgeführten Feldern. So wird eine Meßbrückenschaltung für hochfrequente Felder ermöglicht, in der die Verkopplung von Feldsensor und Wellenleiter meßtechnisch bestimmt werden kann - eine Fehlerquelle, die bisher nur unzulänglich quantifizierbar war.

- Geschlossene TEM-Wellenleiter zeigen schon bei relativ niedrigen Frequenzen Hohlraumresonanzen. Die Zweidrahtleitung erlaubt auch oberhalb von 2 GHz die Erzeugung einer reinen TEM-Mode zur Sensorkalibrierung.

- Gestrahlte Felder können im Frequenzbereich bis 3,5 GHz absolut kalibriert werden, bei Bedarf durch Positionsänderung der Zweidrahtleitung auch über größere Flächen oder Volumina.

Bild 1 erläutert das neue Verfahren: Die Zweidrahtleitung als Felderzeuger wird über ein Symmetriernetzwerk L gespeist, am Leitungsende ist sie mit einem symmetrischen Abschluß versehen. In der Referenzebene wird der Sensor positioniert. Das Zweitor zwischen dem koaxialen Anschluß des Symmetriernetzwerkes L und der Referenzebene wird als L' bezeichnet.

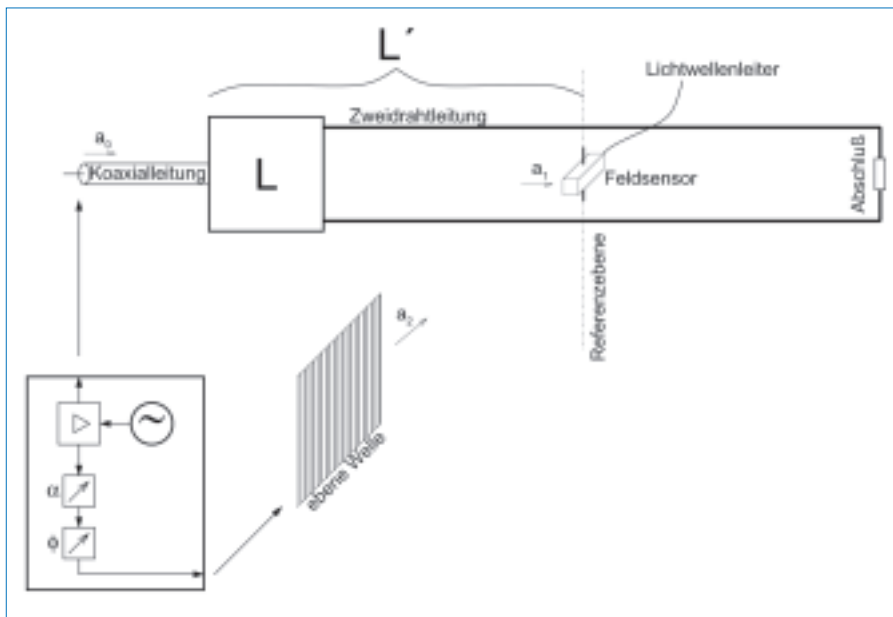


Bild 2: Meßaufbau zur Überlagerung von leitungsgeführter und gestrahlter Welle

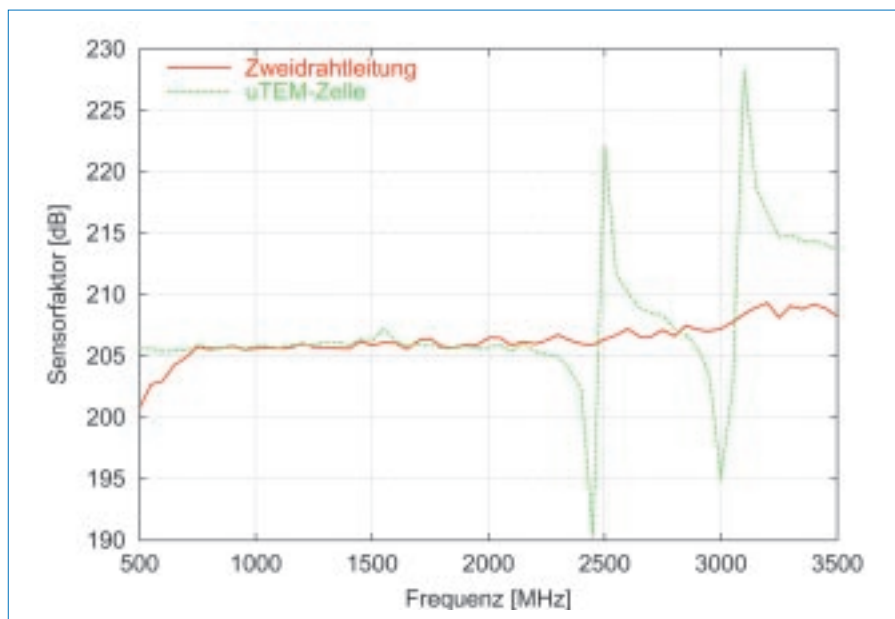


Bild 3: Vergleichende Messung in µTEM-Zelle und Zweidrahtleitung

Die Streuparameter dieses Zweitores L' lassen sich mit Hilfe eines vektoriellen Netzwerkanalysators bestimmen und werden benötigt, um aus der koaxial zugeführten Leistung einer Welle a_0 die vorlaufende Welle a_1 in der Referenzebene der Zweidrahtleitung zu berechnen. Die Bestimmung dieser Streuparameter ist unter Anwendung moderner Kalibrierverfahren auf analytisch exaktem Wege möglich. Schließlich kann aus der Leistung in der Referenzebene sowie der Leitungsgeometrie die elektrische Feldstärke berechnet werden.

Um die Verkopplung zwischen Feldsensor und Wellenleiter zu ermitteln, wird das gestrahlte ebene Wellenfeld a_2 verwendet, welches man phasensynchron zur leitungsgeführten Welle erzeugt. Der elektrische Feldvektor ist dabei senkrecht zur Leitung und parallel zum Sensor polarisiert. Amplitude und Phasenlage des gestrahlten Feldes werden so justiert, daß sich am Ort des Sensors leitungsgeführte und gestrahlte Welle auslöschen. Nach Abschalten der Speisung der Zweidrahtleitung und Beibehalten des gestrahlten Feldes liefert der Feldsensor zunächst den gleichen Pegel wie zuvor mit Leitungswelle, aber ohne gestrahltes Feld. Nun wird die Zweidrahtleitung komplett entfernt, während das gestrahlte Feld unverändert bleibt. Eine Änderung des Detektorpegels am Ausgang des Feldsensors stellt nun ein direktes Maß für die Verkopplung zwischen Feldsensor und Felderzeuger dar, welches mit diesem Verfahren bestimmt werden kann und damit erstmalig die meßtechnische Rückführbarkeit gestrahlter Feldgrößen auf leitungsgeführte ermöglicht. Gleichzeitig wird mit der beschriebenen Vorgehensweise das gestrahlte Feld kalibriert.

Am Institut für EMV wird ein elektrooptisches Sensorsystem verwendet, welches Messungen nach Betrag und Phase bei hoher Empfindlichkeit erlaubt. Bild 2 zeigt einen einzelnen Sensorkopf; die nur 8 mm langen Dipolarme wurden hier zur Steige-

rung der Empfindlichkeit verlängert. Der Sensor ist mit einem Gel überzogen, so daß er auch für Messungen in physiologischen Kochsalzlösungen verwendet werden kann.

Der gezeigte Sensor wurde ohne aufgesteckte Verlängerung der Dipolararme jeweils in einer sogenannten μ TEM-Zelle, wie sie auch als primäres Feldstärkenormal in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) verwendet wird, sowie in einer Zweidrahtleitung vermessen. Es wurde jeweils der Sensorfaktor als logarithmiertes Verhältnis von theoretischer Feldstärke zu gemessenem Detektorpegel aufgetragen:

Für beide Felderzeuger wurde die theoretische Feldstärke aus der eingespeisten Leistung sowie der Geometrie des Wellenleiters berechnet.

Bild 3 zeigt den Vergleich beider Messungen im Frequenzbereich von 0,5 bis 3,5 GHz. Im Bereich von 750 MHz bis 2200 MHz zeigen beide Kurven eine sehr gute Übereinstimmung. Die Abweichung unterhalb von 750 MHz ist auf die Bandpaßcharakteristik des verwendeten Symmetriernetzwerkes L zurückzuführen. Bei 1550 MHz zeigt die μ TEM-Zelle ihre erste ausgeprägte Resonanz, weitere Resonanzen sind bei 2,5 GHz und 3 GHz deutlich zu erkennen. Die Messung in der Zweidrahtleitung dagegen zeigt den glatten Frequenzgang des elektrooptischen Sensors, der erst oberhalb von 3 GHz etwas ansteigt, da sich die Frequenz der 3dB-Bandbreite des Sensorsystems nähert.

Die durchgeführten Messungen belegen die Anwendbarkeit dieses Verfahrens. Künftige Untersuchungen zielen auf die Erweiterung zur Kalibrierung magnetischer Feldsonden sowie auf die Analyse der erreichbaren Systemgenauigkeit.

Dipl.-Ing. Jens Werner, Prof. Dr. Achim Enders, TU Braunschweig, Institut für EMV, Schleinitzstr. 23, 38106 Braunschweig, Tel. 0531/391-7723, Fax 0531/391-7724, E-mail: emv@tu-bs.de



Bild 4: Eingesetzte TEM-Zelle (450 MHz) bei biologischen In-Vitro-Experimenten (TU Braunschweig)

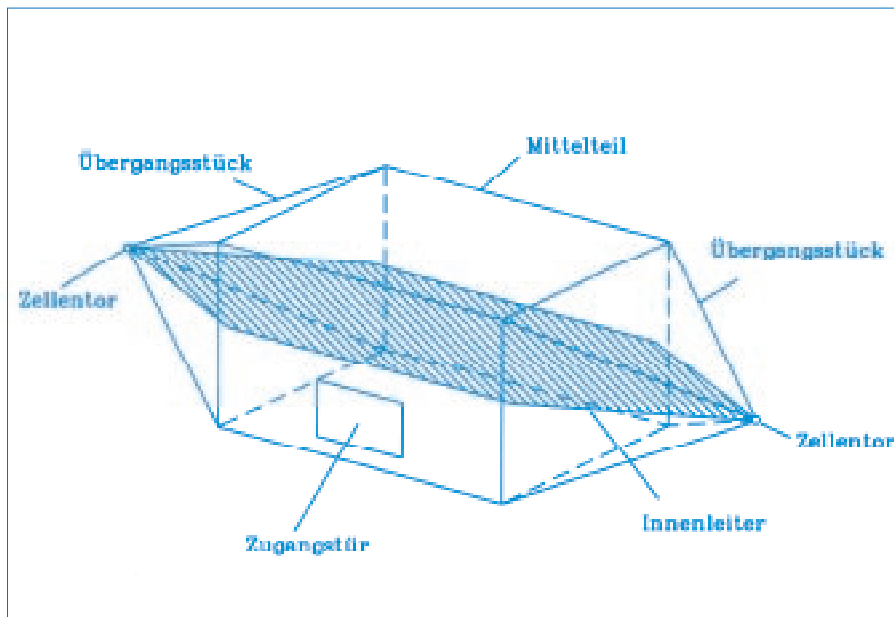


Bild 5: Schematische Zeichnung einer TEM-Zelle