

Automatisiertes Messverfahren zur Bestimmung von Antennendiagrammen in einem TEM Wellenleiter

Dipl.-Ing. Benjamin Menßen, menssen@geml.uni-hannover.de

Dipl.-Ing. Tim Peikert, peikert@geml.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe, garbe@geml.uni-hannover.de

Leibniz Universität Hannover, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik, Appelstr. 9a, 30167 Hannover, Deutschland

Kurzfassung

Das Messen der gestrahlten Störaussendung und das Prüfen der Störfestigkeit sind in TEM-Wellenleitern bisher nicht automatisiert möglich, da kommerziell erhältliche Positionierer aufgrund ihrer Bauweise erhebliche Feldrückwirkung in TEM-Wellenleitern aufweisen. In dieser Arbeit wird eine eigens entwickelte Konstruktion eines Drehtellers präsentiert, deren Motorisierung sich außerhalb des TEM-Wellenleiters befindet. Die Konstruktion und die dazugehörige Automatisierung werden vorgestellt und die Funktionalität wird anhand von ausgewählten Messbeispielen validiert.

1. Einleitung

Das Messen der gestrahlten Störaussendung und das Prüfen der Störfestigkeit wird typischerweise in Voll- oder Halbabstrahlräumen durchgeführt [1], [2]. Für kleinere elektronische Komponenten sind diese Hallen jedoch überdimensioniert, so dass es Bestrebungen gibt, diese Messungen in alternativen Messumgebungen durchzuführen. Eine Alternative, in der definierte Fernfeldbedingungen herrschen, sind TEM Wellenleiter [3].

Die Entwicklung eines automatisierten Messverfahrens in TEM Wellenleitern bringt jedoch einige Schwierigkeiten mit sich. Die Problematik stellt hierbei insbesondere die Automatisierung des Positionierers dar. Aufgrund der reduzierten Größe des Messvolumens führen zusätzlich eingebrachte, insbesondere metallische, Bauteile zur Beeinflussung der elektromagnetischen Eigenschaften des Wellenleiters. Dementsprechend gilt es, Konstruktionen zu vermeiden, die in das Prüfvolumen hineinragen. Aus diesem Grund können lediglich Positionierer in Form eines Drehtellers in Betracht gezogen werden.

Kommerziell erhältliche Drehteller existieren in unterschiedlichen Ausführungen von verschiedenen Produzenten [4] - [6]. Viele Modelle sind für den Einsatz in großen Messhallen ausgelegt, in denen die Motorisierung im Boden versenkt werden kann. Dies würde jedoch zu einer irreversiblen Zerstörung des Wellenleiters führen, was in dieser Arbeit vermieden werden sollte. Andere Modelle sind fest mit ihrer Motorisierung verbunden, so dass sich der Motor innerhalb des Wellenleiters befinden müsste, was zu der unerwünschten Beeinträchtigung des Feldes führen würde. Beide Varianten sind somit nicht zur Verwendung in einem Wellenleiter geeignet.

In dieser Arbeit wurde ein Drehteller entwickelt, der die oben genannten Nachteile nicht besitzt. Dazu wurde die Motorisierung außerhalb des Wellenleiters angebracht, so dass sich lediglich die rotierende Platte im Innern befindet. Darüber hinaus wurde eine weitere

Konstruktion angefertigt, mit der der Prüfling innerhalb des Prüfvolumens eingespannt werden kann und manuell um eine horizontale Achse rotiert werden kann. Somit ist es möglich, halbautomatisiert ein dreidimensionales Antennendiagramm zu messen, was insbesondere bei Frequenzen oberhalb von 1 GHz notwendig aber auch sehr zeitaufwendig werden kann.

2. Konstruktion

Die Konstruktion besteht aus mehreren Teilsystemen. Das System ist unterteilt in den Drehteller innerhalb des Prüfvolumens, dem Antrieb bestehend aus Getriebe, Motor und Ansteuerung unterhalb der GTEM-Zelle und einem PC zur Steuerung des Drehtellers sowie der Ansteuerung des Messequipments und zur Auswertung der Messergebnisse.

2.1. Motorisierung und Drehteller

In der GTEM-Zelle befindet sich der Drehteller (s. Abb. 1), bestehend aus einer 8 mm dicken Platte aus PVC ($\epsilon_r = 3$) Hartschaum, die einen Durchmesser von 600 mm hat. Der Drehteller ist über eine Hohlwelle aus Edelstahl mit dem außen angebrachten Antrieb (s. Abb. 2) verbunden. Die Hohlwelle selbst hat einen Radius von 25 mm, ist 500 mm lang und besitzt eine Wanddicke von 1,5 mm. Die Hohlwelle wird mittels eines Schneckengetriebes über den Getriebemotor angetrieben. Diese Kombination sorgt wegen seines geringen Schlupfs für einen vernachlässigbaren Winkelfehler. Über einen zweiten PVC Teller unterhalb des Antriebes wird mit der darauf angebrachten Dekoderscheibe und einer Gabellichtschranke die Winkelstellung des Drehtellers detektiert. Die Dekoderscheibe hat eine Winkelauflösung von einem Grad und die Gabellichtschranke besitzt zwei Signalausgänge, die zueinander invertiert sind. Der verwendete Getriebemotor wird über ein USB-Multifunktions-DAQ (Data Aquisition) U6 der Firma LabJack [7] mit einem PWM-Servoverstärker angesteuert. Mit dem DAQ werden auch die Ausgangssignale der Gabellichtschranke erfasst.

Die Gesamtsteuerung wird über einen PC und der entwickelten Matlab GUI realisiert. Mit der GUI wird die Position des Drehtellers geregelt und das verwendete Messequipment gesteuert, welches ein Signalgenerator, Pulsgenerator, Oszilloskop, Spektrum- oder Netzwerkanalysator sein kann.



Abbildung 1: Drehteller aus PVC



Abbildung 2: Elektromotor unterhalb des GTEM-Zellenbodens

2.2. Manueller Positionierer

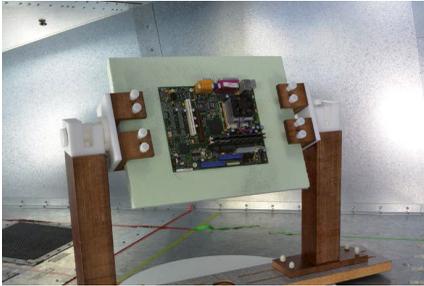


Abbildung 3: Manueller Positionierer mit eingespanntem Mainboard eines Desktop PCs

Darüber hinaus wurde zum Drehteller (s. Abb. 1) in der GTEM-Zelle, eine weitere Konstruktion (s. Abb. 3) angefertigt, mit der der Prüfling innerhalb des Prüfvolumens eingespannt und manuell um eine horizontale Achse rotiert werden kann. Somit ist es möglich, halb automatisiert ein dreidimensionales Antennendiagramm zu messen oder eine Störfestigkeitsuntersuchung für jeden Einfallswinkel durchzuführen. Der Positionierer selbst ist frei von metallischen Werkstoffen und wurde größtenteils aus Holz und zum Teil aus PEEK (Polyetheretherketone) gefertigt. Der Positionierer besteht aus drei Teilen, einem festen Brett auf dem die beiden Halter variabel befestigt werden können. Die beiden Halter sind in Abb. 3 links und rechts zu sehen, die eine Styropor-Platte und das zu untersuchende DUT in der Mitte halten. Damit können im Prüfvolumen DUTs unterschiedlicher Größe untersucht werden. Die Drehhalterung auf den beiden Haltern sind aus PEEK gefertigt sowie die jeweils acht Schrauben zum Fixieren des DUTs. Über eine weitere Schraube lässt sich die Drehhalterung gegenüber ungewünschter Winkeländerungen fixieren.

Die beiden Halter sind variabel befestigt werden können. Die beiden Halter sind in Abb. 3 links und rechts zu sehen, die eine Styropor-Platte und das zu untersuchende DUT in der Mitte halten. Damit können im Prüfvolumen DUTs unterschiedlicher Größe untersucht werden. Die Drehhalterung auf den beiden Haltern sind aus PEEK gefertigt sowie die jeweils acht Schrauben zum Fixieren des DUTs. Über eine weitere Schraube lässt sich die Drehhalterung gegenüber ungewünschter Winkeländerungen fixieren.

2.3. Automatisierung

Schließlich wurde eine Software entwickelt, um die Ansteuerung des Motors durchzuführen. Dazu bietet der DAQ eine serielle Schnittstelle, die mit Hilfe von Matlab angesprochen wird. Gleichzeitig kann Matlab dazu verwendet werden, um Messequipment wie z.B. Os-

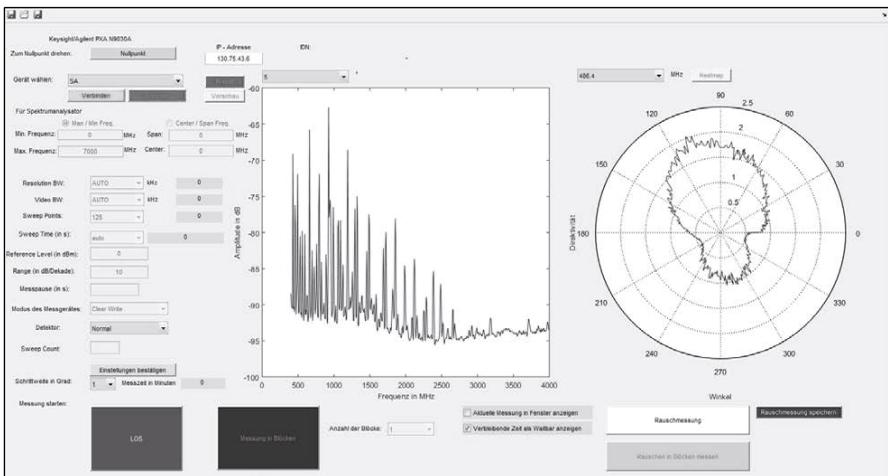


Abbildung 4: GUI Oberfläche für ein Spektrumanalysator

zilloskop, Spektrum- und Netzwerkanalysatoren anzusprechen und die Daten automatisiert auszulesen und auszuwerten. All dies ist in einer GUI implementiert. Über die GUI lassen sich die Winkelschrittauflösung des Drehtellers von 1 bis 180 Grad, die Drehgeschwindigkeit in drei Stufen und die Zeit der Pause innerhalb einer Winkelposition einstellen.

In Abb. 4 ist exemplarisch die Bedienoberfläche für ein Spektrumanalysator dargestellt. Beim Spektrumanalysator kann der Modus zwischen RTSA (Real Time Spectrum Analyser) und SA (Spectrum Analyser) und anderen Modi gewählt werden. Die verschiedenen Filter RBW (Resolution Bandwidth) und VBW (Video Bandwidth) konfiguriert, der Frequenzbereich über Start und Stop oder Center und Span, Anzahl der Sweep Points, Referenz Level, der Detektor und weitere Einstellungen eingestellt werden.

Des Weiteren besitzt die GUI zwei Diagramme Darstellung und Auswertung der Messdaten nach Beendigung einer Messung. Zum einen kann das Amplitudenspektrum bei einem bestimmten Azimutwinkel und zum anderen kann die Direktivität bei einer bestimmten Frequenz in einem Polardiagramm dargestellt werden. Schließlich können die Messdaten in einer Datei gespeichert werden.

3. Messbeispiele

In den folgenden Abschnitten werden einige Messbeispiele vorgestellt, mit denen die Funktionalität der entwickelten Automatisierung zur Messung von Antennendiagrammen in einem TEM-Wellenleiter präsentiert werden kann.

3.1. Hornantenne

Das erste Messbeispiel behandelt trivialerweise die Messung des Antennendiagramms einer handelsüblichen Antenne. Dazu wurde ein Hornstrahler in den manuellen Positionierer eingespannt. Durch automatisierte Rotation des Drehtellers und schrittweises, manuelles Drehen des Positionierers konnte ein dreidimensionales Antennendiagramm bestimmt werden. Als Messgerät wurde in diesem Fall ein Vektornetzwerkanalysator verwendet, um die Transmission zu messen. Das Ergebnis ist in Abb. 5 als dreidimensionales Antennendiagramm zu sehen. Es zeigt, dass die zu erwartende Charakteristik eines Hornstrahlers mit der vorgestellten Konstruktion bestimmt werden konnte.

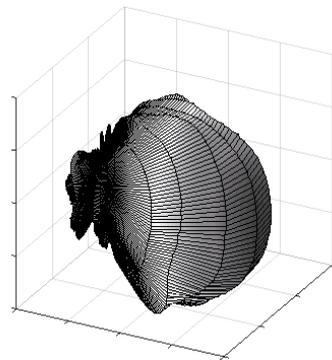


Abbildung 5: Antennendiagramm eines Hornstrahlers bei 2 GHz

3.2. Kühlkörper

Im zweiten Messbeispiel wurden die Antenneneigenschaften von handelsüblichen Kühlkörpern untersucht. Ziel der Untersuchung war die Störwirkung eines passiven Kühlkörpers auf die darunter liegende elektronische Schaltung zu untersuchen. Dazu wurden vorab die Richtcharakteristiken unterschiedlicher Kühlkörperstrukturen aufgenommen. In Abb. 7 ist ein Beispiel für die dreidimensionale Richtcharakteristik eines Fächerkühlers (s.

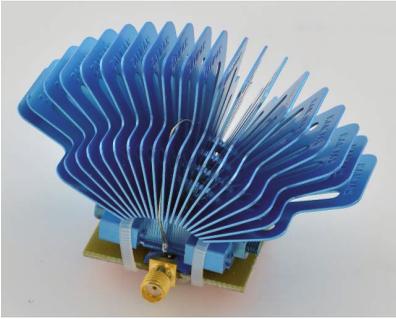


Abbildung 6: Fächerkühler

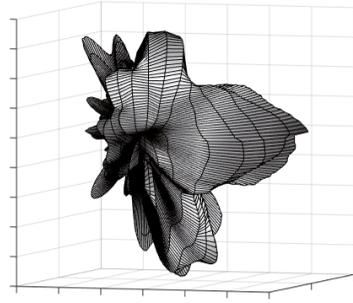


Abbildung 7: Heatmap einer Richtcharakteristik

Abb. 6) dargestellt. Als Vergleich zu dem verwendeten Fächerkühler in Abb. 6 sollte die Richtcharakteristik mit einem Hornstrahler verglichen werden. Diese Überlegung rührt von der ähnlichen Struktur des Kühlers zu einer Hornantenne. Ein Vergleich der Ergebnisse in Abb. 7 mit der dreidimensionalen Charakteristik in Abb. 5 zeigt, dass die Hauptkeule wie erwartet von den Fächern ausgeht. Der Fächerkühler besitzt somit eine ausgeprägte Hauptstrahlrichtung, wodurch ein Einfluss auf die Störfestigkeit der sich darunter befindenden Schaltung zu erwarten ist.

3.3. Mobiltelefon

In einem weiteren Beispiel wurde die Abstrahlungscharakteristik des WLANs eines Mobiltelefons untersucht. Hierzu wurde am Port der GTEM-Zelle über den Eingang eines Richtkopplers ein WLAN Netz in der Zelle aufgebaut und über den rückwirkenden Port des Richtkopplers das abgestrahlte Spektrum des Mobiltelefons aufgenommen. Das Spektrum wurde mit 140 MHz in Echtzeit für einen Winkelbereich von 0 bis 360 Grad aufgenommen. Solch ein ähnlicher Messaufbau wurde in der Arbeit von Hamann et al. [8] präsentiert und zur Messung der hier vorgestellten Abstrahlungscharakteristiken der Mobiltelefone angepasst. Der angepasste schematische Messaufbau ist in Abb. 9 dargestellt. Durch den verwendeten Richtkoppler wird das Wi-Fi Signal über den Hauptzweig in die

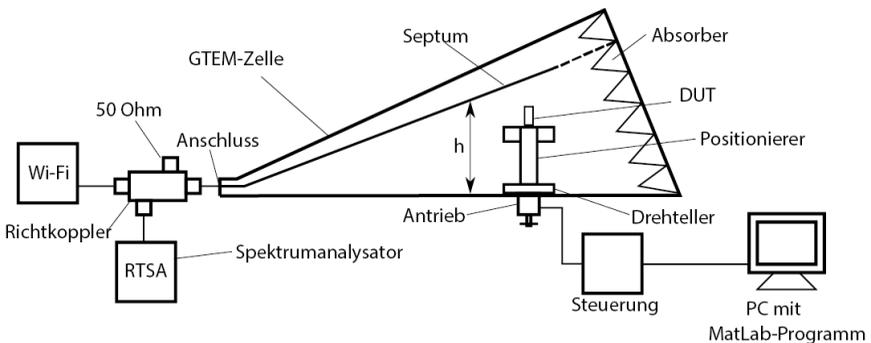


Abbildung 8: Schematischer Messaufbau zur Messung

GTEM-Zelle gespeist. Das Spektrum des rücklaufenden Signals, welches vom Mobiltelefon aus geht, kann über den kreuzgekoppelten Zweig direkt mit dem Spektrumanalysator aufgenommen werden. Da aus Sicht des rücklaufenden Signals, der kreuzgekoppelte Ausgang gegenüber dem Eingangssignal des Wi-Fi Senders isoliert ist, werden die Messergebnisse dadurch nicht verfälscht. Die Messergebnisse liefern somit nur die Abstrahlcharakteristik des Mobiltelefons.

In der ersten Messung wurde das Mobiltelefon stehend mit dem Display zum Port der GTEM-Zelle ausgerichtet und um seine stehende Achse rotiert. Ein Beispiel für die Abstrahlcharakteristik des Mobiltelefons in einem Frequenzbereich von 2370 bis 2510 MHz ist in Abb. 9 zu sehen. In diesem Beispiel ist die Suche des Mobiltelefons nach einem WLAN Netz abgebildet. Daraus lässt sich zum einen die abgestrahlte Leistung in Abhängigkeit des Winkels und die Leistungserhöhung bei den elf Kanälen erkennen.

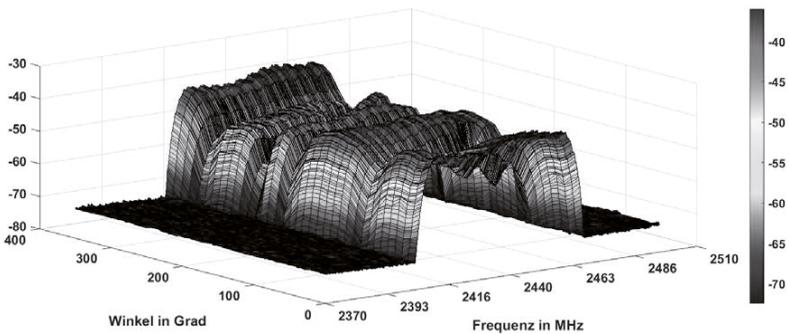


Abbildung 9: Abstrahlcharakteristik des WLANs eines Mobiltelefons

In einer weiteren Messung ist ein Vergleich zwischen den beiden Modi Wi-Fi Suche und aktiver Verbindung zu sehen. Im Modus der Suche einer WLAN-Verbindung ist in Abb. 10 zu erkennen, dass der komplette Frequenzbereich des ISM-Bands verwendet wird, während bei einer aktiven Verbindung nur der verwendete Kanal mit seiner Kanalbandbreite im Spektrum aktiv ist (s. Abb. 11).

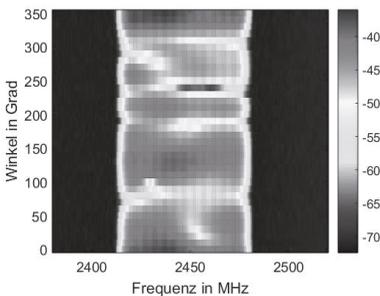


Abbildung 10: Wi-Fi Suche

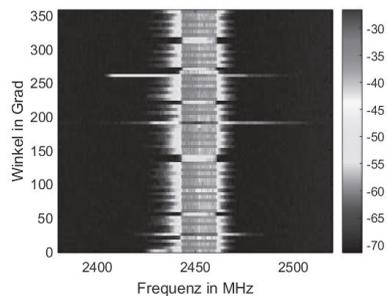


Abbildung 11: Wi-Fi aktive Verbindung

3.4. Computer Mainboard

In den vorherigen Beispielen wurden jeweils Antennendiagramme von bewusst strahlenden Objekten vorgestellt; d.h. einerseits von Antennen oder, im Fall des Mobiltelefons, ein Kommunikationskanal, der für die Funktion des Geräts vorgesehen ist.

Im Gegensatz dazu sollte als letztes Messbeispiel die Messung der Störaussendung eines Computer Mainboards vorgestellt werden (s. Abb. 10). Dieses Mainboard ist repräsentativ für elektronische Objekte, für die keine Funkkommunikation vorgesehen ist. Nichtsdestotrotz emittieren diese Objekte elektromagnetische Felder, da die Leitungsstrukturen als komplexe Antennenstrukturen anzusehen sind. Um Konformität mit den bekannten EMV-Richtlinien aufzuweisen müssen sie getestet werden [1]-[3]. Aufgrund ihrer Komplexität ist die Richtung der maximalen Störaussendung jedoch nicht vorhersehbar. Aus diesem Grund ist es notwendig die Störaussendung in verschiedene Richtungen zu messen bzw., im Extremfall, ein komplettes Antennendiagramm des Prüflings zu bestimmen.

Mit der hier vorgestellten Konstruktion konnte ein solches Antennendiagramm bestimmt werden. Hierzu wurde das Mainboard wie in Abb. 3 in den manuellen Positionierer eingespannt. Nun konnte in verschiedenen Schnittebenen eine zweidimensionale Messung durchgeführt werden und anschließend mittels Datenverarbeitung ein dreidimensionales Diagramm erzeugt werden.

Beispielhaft wurde ein Ergebnis in Abb. 11 dargestellt. Es verdeutlicht die Komplexität des Antennendiagramms eines unbeabsichtigt strahlenden Objekts, da es viele Richtungen mit lokalen Maxima besitzt. Die Bestimmung des absoluten Maximums ist dementsprechend nicht trivial.



Abbildung 12: Mainboard eines Desktop PCs

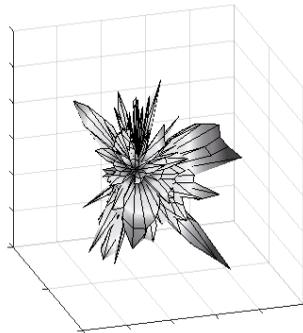


Abbildung 13: Antennendiagramm eines Mainboards bei 1,2 GHz

4. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde eine Automatisierung zum Messen von Antennendiagrammen in einem TEM Wellenleiter entwickelt. Diese unterscheidet sich von kommerziell erhältlichen Produkten in erster Linie dadurch, dass sich die Motorisierung außerhalb des Wellenleiters befindet, so dass seine elektromagnetischen Eigenschaften nicht beeinflusst werden. Lediglich der Drehteller befindet sich im Innern des Wellenleiters. Aus diesem Grund wurde Wert darauf gelegt, dass dieser aus einem Material mit einer geringen Primitivität besteht, um das Feld möglichst wenig zu beeinflussen. Durch eine zusätzliche Konstruktion ist es möglich den Prüfling manuell um eine horizontale Achse zu drehen, so dass dreidimensionale Antennendiagramme gemessen werden können. Die Ansteuerung des Motors erfolgt über ein USB-Multifunktions-DAQ mittels seriellen Befehlen mit Hilfe von Matlab. Außerdem können unterschiedliche Messinstrumente über Matlab angesprochen werden, um sie zu steuern und die Messdaten auszulesen.

Anschließend wurden in dieser Arbeit verschiedene Messbeispiele vorgestellt, um die Funktionalität der entwickelten Konstruktion zu präsentieren. Dazu wurden zunächst die gemessenen Antennendiagramme von bewusst strahlenden Objekten vorgestellt. Die Beispiele waren ein Hornstrahler, ein Fächerkühler und die WLAN-Übertragung eines Mobiltelefons. Schließlich wurde als Beispiel eines unbeabsichtigt strahlenden Objektes das Messergebnis eines Mainboards aus einem Desktop-PC präsentiert.

Literaturangaben

- [1] "Prüf- und Messverfahren – Messung der gestrahlten Störaussendung und Prüfung der Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen in Vollabsorberräumen (FAR)", DIN EN 61000-4-22, 2011.
- [2] „Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit - Messung der gestrahlten Störaussendung“, DIN EN 55016-2-3, 2011
- [3] „Prüf- und Messverfahren - Messung der Störaussendung und Störfestigkeit in transversal-elektromagnetischen (TEM-)Wellenleitern“, DIN EN 61000-4-20, 2011
- [4] ETS Lindgren, Online: <http://www.ets-lindgren.com>
- [5] Teseq, Online: <http://www.teseq.com>
- [6] Innco Systems GmbH, Online: <http://www.innco-systems.de/en/>
- [7] LabJack Corporation, Online: <http://www.labjack.com/>
- [8] Hamann, D.; Battermann, S.; Mleccko, M.; Garbe, H., "Prediction of radiated emission for complex systems under Realistic Operating Conditions," in *Electromagnetic Compatibility (EMC), 2013 IEEE International Symposium on* , pp.757-762, 5-9 Aug. 2013