

Referenzprüfling für gestrahlte Störfestigkeitsprüfungen

Dr. Ralf Heinrich, Teseq GmbH, Entwicklung, Berlin
Dipl. Ing. Uwe Karsten, Teseq GmbH, Servicelabor, Berlin
Dr. Hans Georg Krauthäuser, Otto-von-Guericke Universität, Magdeburg

1. Einleitung

Für Vergleichsmessungen ist es erforderlich, ein stabiles und zuverlässiges Prüfobjekt zu haben. Bei der Emissionsmessung kann diese Forderung z.B. mit einem Kammgenerator und zugehöriger Antenne recht gut erfüllt werden. Ein entsprechendes Äquivalent für die Störfestigkeitsprüfung gestaltet sich hingegen schwieriger, da im Ergebnis der Störfestigkeitsprüfung in der Regel nur eine ja/nein bzw. bestanden/nicht bestanden Aussage vorliegt. Hier ist es wünschenswert, die Störfestigkeitsprüfung ebenfalls auf eine Messgröße rückführen zu können. Ferner sind ein Batteriebetrieb, ferngesteuertes Auslesen der Messdaten und ein großer Dynamikbereich von Vorteil.

Auf Grundlage dieser Anforderungen wurde ein Referenzprüfling für vergleichende gestrahlte Störfestigkeitsmessungen entwickelt. Er vereint eine hohe Stabilität und gute Reproduzierbarkeit mit den Vorteilen eines großen Dynamikbereiches, Akkubetrieb und potentialfreier Fernsteuerung, die auch die separate Untersuchung von Zuleitungen ermöglicht. Die Kopplung erfolgt über verschiedene, wählbare Koppereinrichtungen aus Schlitz- und Schleifenstrukturen für bevorzugte elektrische oder gemischte Einkopplung beider Feldkomponenten.

Der Referenzprüfling gewinnt u.a. auch dadurch an Bedeutung, dass es mit der aktuellen Entwicklung der Normung für jede Prüfumgebung eine eigene Störfestigkeits-Grundnorm gibt bzw. geben wird und es den Produktkomitees überlassen ist, eine geeignete Grundnorm für ihr Produkt auszuwählen. Hierbei können Vergleichsmessungen eine zusätzliche Entscheidungshilfe bieten.

Mit dem entwickelten Referenzprüfling wurden verschiedene Störfestigkeitsmessungen in der Modenverwirbelungskammer, GTEM-Zelle und Absorberhalle im Bereich bis 1 GHz durchgeführt.

2. Referenzprüfling

2.1 Grundgerät

Das entwickelte Prüfobjekt basiert auf einem Messempfänger mit angeschlossener Koppereinrichtung. Folgende Überlegungen und Motivationen lagen der Wahl eines Messempfängers als Prüfobjekt für Störfestigkeitsmessungen zugrunde:

- Mit dem Messempfänger kann die angestrebte Stabilität und Reproduzierbarkeit der Messungen in guter Weise erfüllt werden. Er verfügt zudem über eine integrierte Abgleichfunktion mit dem eingebauten Kammgenerator, so dass evtl. Temperaturdrift o.ä. eine untergeordnete Rolle spielen.

- Hinsichtlich seiner Größe liegt der verwendete tragbare Messempfänger in der Größenordnung üblicher realer Prüfobjekte.
- Die angeschlossene Koppereinrichtung bietet die Möglichkeit verschiedene Koppelstrukturen für vorrangig elektrische oder magnetische Kopplung einzustellen. Sie ist mechanisch fest mit dem Empfänger verbunden und führt die eingekoppelten Signale über eine starre HF-Leitung auf den Eingang des Empfängers (s. Abb. 1).
- Der Empfänger arbeitet frequenzselektiv. Er hat eine hohe Dynamik und ein geringes Eigenrauschen. Damit sind sehr kleine Feldstärken messbar, was insbesondere auch für Messungen im Freifeld interessant ist (siehe auch Abschnitt 2.4).
- Der eingebaute Akku macht den Empfänger unabhängig von einer Netzzuleitung, über die zusätzlich Einkopplungen erfolgen können, die u.U. schwer reproduzierbar sein können. Einkopplungen über angeschlossene Leitungen können hingegen definiert über die Koppereinrichtung erfolgen.
- Das Prüfobjekt verfügt über eine serielle optische Schnittstelle, die zur Fernsteuerung des Empfängers und zum Auslesen der Messdaten genutzt werden kann.



Abbildung 1: Messempfänger mit angeschlossener Koppereinrichtung

Der von uns verwendete Messempfänger ist CISPR 16 konform und arbeitet im Frequenzbereich von 9 kHz bis 2,75 GHz. Mit seinem moderaten Gewicht und Volumen (14 kg, 18 l) ist er für die Anwendung als Prüfkörper gut geeignet. Der eingebaute Akku sichert einen netzunabhängigen Betrieb von ca. 3-4 Stunden. Abbildung 1 zeigt den Messempfänger mit angeschlossener Koppereinrichtung.

2.2 Koppelstrukturen

Zur Einkopplung von Signalen wurden mehrere Koppelstrukturen bestehend aus Schleifen und Schlitzen entworfen. Abbildung 2 zeigt die verwendeten Koppelstrukturen. Die verschiedenen Schleifen können wahlweise aktiviert und an den Empfängereingang angeschlossen werden.

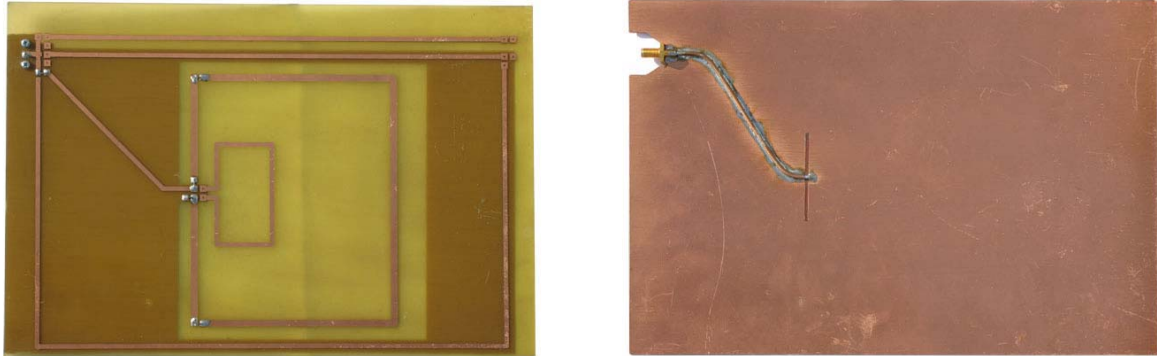


Abbildung 2: Koppelstrukturen für Signaleinkopplung
links: Schleifenstruktur, rechts Schlitzstruktur

Ziel war es zunächst, möglichst gut geeignete Koppelstrukturen für die Anwendung als Prüfkörper im Bereich bis 2,75 GHz zu finden. Bei der Beurteilung spielten insbesondere die Signaleinkopplung und das Auftreten etwaiger Resonanzen eine Rolle. Nach einigen Experimenten haben wir uns für die mittelgroße Schleife und den elektrisch kleinen Schlitz entschieden.

2.3 Anschluss von Zuleitungen

Neben den Koppelstrukturen kann der Messempfänger durch den Anschluss zusätzlicher Leitungen erweitert werden, um damit eine ausgedehnte Koppelstruktur bzw. einen größeren Prüfling zu simulieren. Hierbei haben wir zwischen direkter und indirekter Einkopplung unterschieden.

Bei der direkten Einkopplung war eine zusätzliche Leitung direkt an den Eingang des Messempfängers angeschlossen. Dieser Fall erschien uns allerdings wenig praxisrelevant, da hierbei im Prinzip die gesamte Kopplung über die angeschlossene Leitung erfolgt.

Bei der indirekten Einkopplung wurde ein 2 m langes seriell Fernsteuerkabel an den Empfänger angeschlossen und mit einem CDN abgeschlossen, wie in Abbildung 3 dargestellt. Die Einkopplung erfolgt primär über die Koppelstruktur und zu einem kleinen Teil über die zusätzliche Leitung bzw. den Gehäuseschirm.



Abbildung 3: Empfänger mit angeschlossener Leitung für zusätzliche Kopplung über den Gehäuseschirm

2.4 Betrachtung des Dynamikbereiches

Wie in den nachfolgenden Abbildungen noch gezeigt wird, liegt der typische Empfangspegel des Referenzprüflings für eine Feldstärke von 10 V/m oberhalb von ca. 80 dB μ V, im Bereich ab ca. 230 MHz bei mehr als 100 dB μ V.

Die maximale Eingangsspannung des Empfängers ohne externe Dämpfungsglieder oder Limiter liegt bei 130 dB μ V. Dadurch ergibt sich eine hinreichende Dynamikreserve.

Die Rauschgrenze des Empfängers (AV-Rauschen) liegt ab 30 MHz bei ca. -3 dB μ V für 120 kHz Bandbreite. Bezogen auf den Übertragungsfaktor unserer schleifenförmigen Koppelstruktur entspricht das Eigenrauschen des Empfängers einer minimalen Feldstärke von ca. 700 μ V/m (57 dB μ V/m) bzw. ca. 70 μ V/m (37 dB μ V/m) für den Bereich ab 230 MHz.

Nach EN 55022 Klasse A liegt die maximal zulässige Emission bei 40/47 dB μ V/m bezogen auf 10 m Messentfernung. Damit liegt die Rauschgrenze des Referenzprüflings im Bereich ab 230 MHz mindestens 10 dB unter dem maximal zulässigen Störpegel, der für eine Vergleichsmessung im Freifeld erzeugt werden könnte. Im Bereich unterhalb von 230 MHz könnte man mit der Reduktion auf 3 m Messentfernung und 9 kHz Bandbreite jeweils noch einmal ca. 10 dB Empfindlichkeit gewinnen, so dass auch hier eine hinreichende Dynamik zur Verfügung stünde. Die 9 kHz Bandbreite hätte zudem den Vorteil einer besseren Unterdrückung von Umgebungsstörungen.

3. Erprobung und Anwendung

3.1 Vergleichsmessungen in der Absorberhalle

Mit dem Referenzprüfling wurden Störfestigkeitsmessungen in verschiedenen Prüfumgebungen bei einer Feldstärke von 10 V/m durchgeführt. Als Koppelstruktur wurde die mittelgroße Schleife verwendet. Abbildung 4 zeigt den Vergleich der Messergebnisse in zwei verschiedenen Absorberhallen (K: Absorberhalle mit

ausgelegten Bodenabsorbern 21 m x 18 m x 9 m, S: Vollabsorberhalle 5 m x 10 m x 5 m).

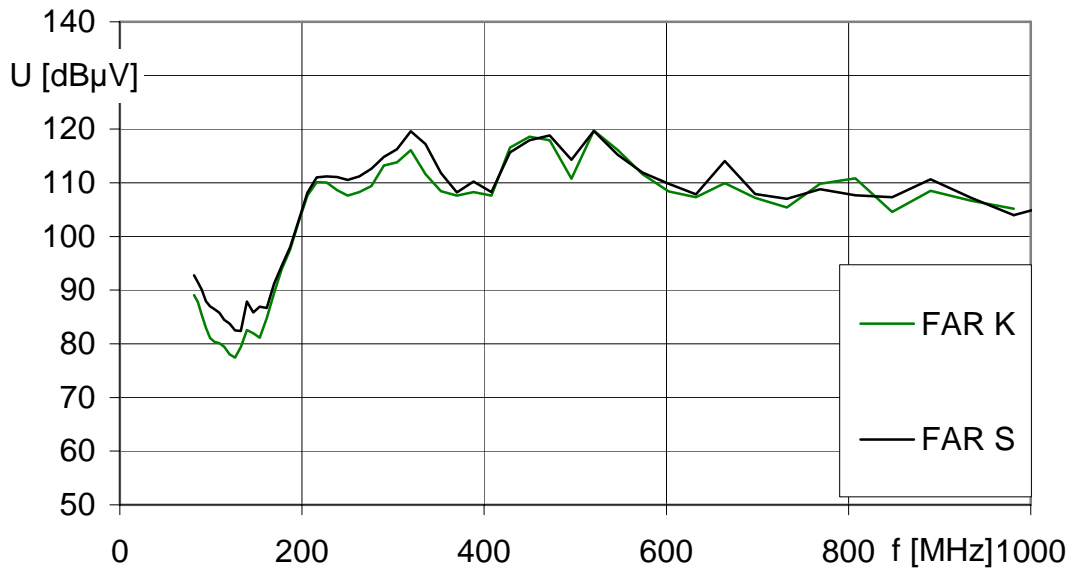


Abbildung 4: Vergleich der Absorberhallen K und S
Prüfling mit Schleifenstruktur, 10 V/m

3.2 Vergleichsmessungen in der Modenverwirbelungskammer

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse in verschiedenen Modenverwirbelungskammern (MVK). Die MVK RC1 hat eine Größe von 2,5 m x 4 m x 2,4 m. Die MVK RC2 wurde mit zwei verschiedenen Rührern betrieben und ist 7 m x 3 m x 2,5 m groß. Die MVK RC M hat eine Größe von 7,90 m x 6,5 m x 3,45 m.

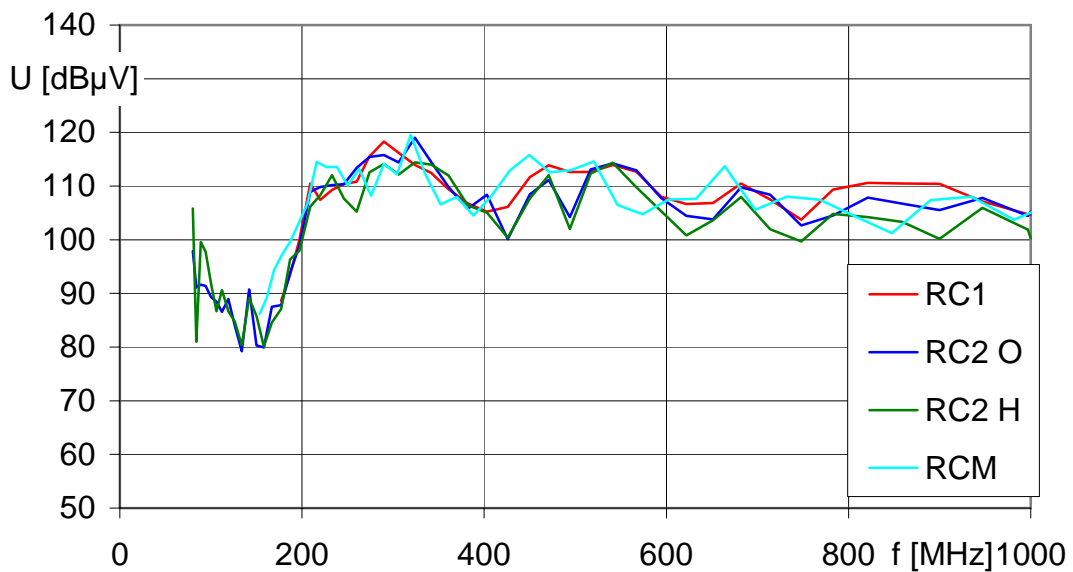


Abbildung 5: Vergleich der Modenverwirbelungskammern
Prüfling mit Schleifenstruktur, 10 V/m

3.3 Vergleichsmessungen in der GTEM-Zelle

Der Referenzprüfling wurde auch in einer GTEM-Zelle (GTEM 1750) erprobt. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse im Vergleich mit der Vollabsorberhalle (5 m x 10 m x 5 m) und Modenverwirbelungskammer RC2 O.

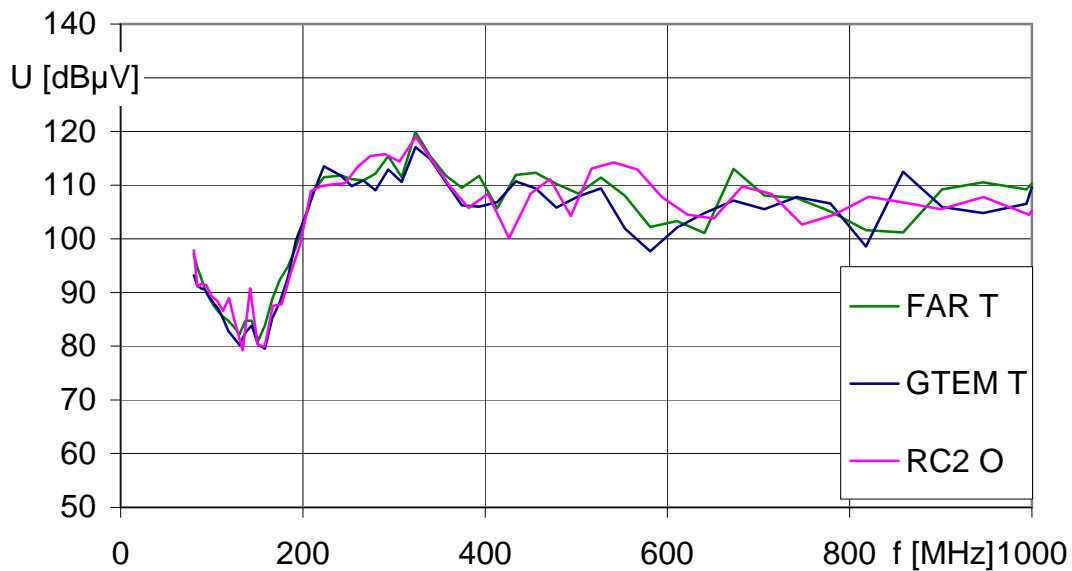


Abbildung 6: Ergebnisse in einer GTEM 1750 im Vergleich mit der Modenverwirbelungskammer RC2 O und der Vollabsorberkammer, Prüfling mit Schleifenstruktur, 10 V/m

3.4 Anschluss von zusätzlichen Leitungen

Um mit Hilfe angeschlossener Leitungen eine zusätzliche Kopplung über das Gehäuse des Referenzprüflings zu erzielen wurde an den seriellen Fernsteuereingang des Empfängers ein 2 m langes RS232 Kabel angeschlossen. Das Kabel war mit einem CDN bzw. mit einer Absorberzange (AMZ) abgeschlossen. Störfestigkeitsmessungen wurden in der GTEM-Zelle und in der Absorberhalle durchgeführt. In Abbildung 7 ist ein exemplarischer Messaufbau mit angeschlossener Leitung und CDN in der GTEM-Zelle dokumentiert.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Messergebnisse in der GTEM-Zelle und in der Absorberhalle. Die von uns gewählte Leitungsanordnung hatte offenbar nur geringen Einfluss. Die Kopplung erfolgt anscheinend fast ausschließlich über die Koppelstruktur. Das konnte bei weiterführenden Experimenten mit direkt angeschlossenen Leitungen bestätigt werden, bei denen sich sehr deutliche Unterschiede mit starken Resonanzeffekten in Abhängigkeit von der Länge der angeschlossenen Leitung ergaben. Für die weitere praktische Anwendung des Referenzprüflings ist hier noch ein geeigneter Kompromiss zwischen beiden Extremen zu finden.

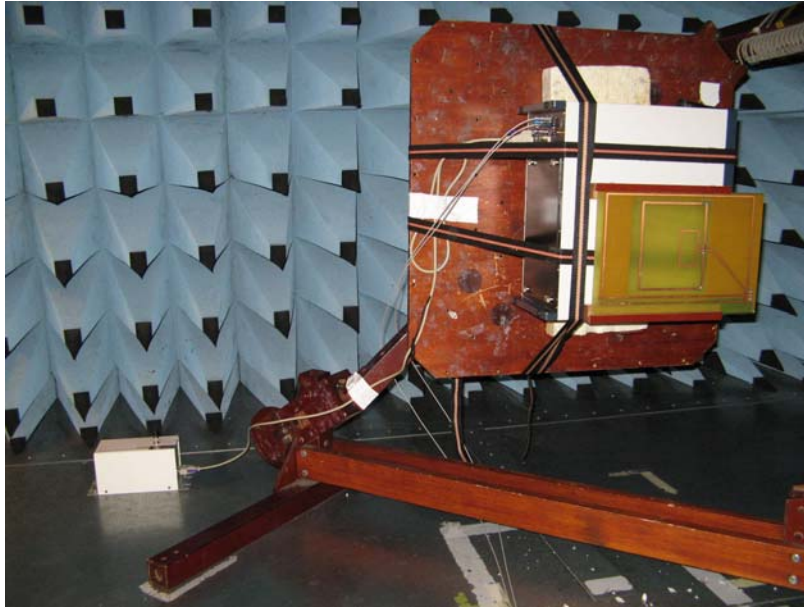


Abbildung 7: Messaufbau in der GTEM-Zelle, Prüfling mit angeschlossener Leitung und CDN

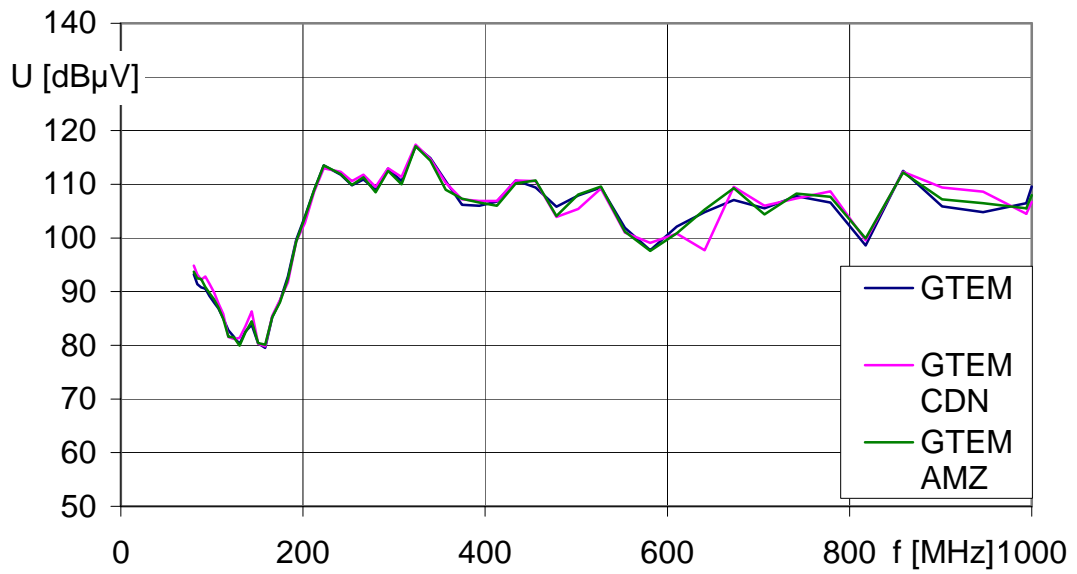


Abbildung 8: Störfestigkeit in der GTEM-Zelle, Prüfling mit angeschlossener Leitung und CDN bzw. Absorberzange

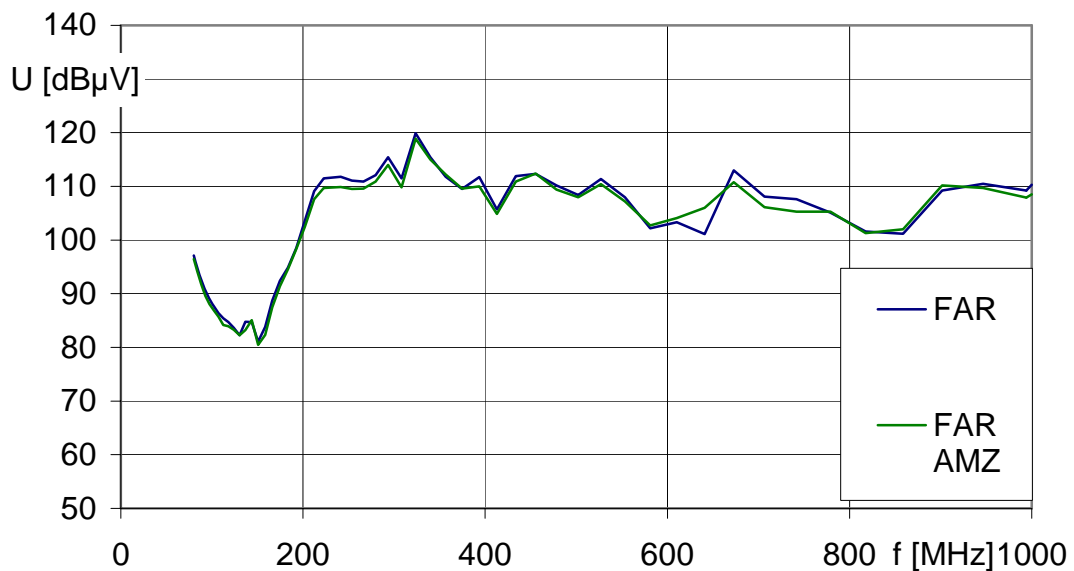


Abbildung 9: Störfestigkeit in der Absorberhalle, Prüfling mit angeschlossener Leitung und Absorberzange

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Referenzprüfling und der damit verbundenen Rückführung der Störfestigkeit auf eine Messgröße lassen sich die verschiedenen Prüfumgebungen wie z.B. Absorberhalle, Modenverwirbelungskammer oder GTEM-Zelle messtechnisch charakterisieren. Durch den Anschluss von zusätzlichen Leitungen können auch praxisnahe, ausgedehnte Prüfobjekte mit Zuleitungen reproduzierbar nachgebildet werden. Erste Vergleichsergebnisse verschiedener Prüfumgebungen sind in diesem Beitrag vorgestellt.

Schwerpunkte der Weiterarbeit werden vor allem auf der weiteren Anwendung des Referenzprüflings liegen. Weiterhin sind eine Optimierung und numerische Charakterisierung des Prüflings zum Vergleich von Messergebnissen mit Simulationen geplant.

5. Danksagung

Teile dieser Arbeit entstanden mit Unterstützung der DFG im Rahmen des Projekts FOR417-T5.