

Vergleichsuntersuchungen zwischen EMV-Laboratorien im Bereich der Störfestigkeitsprüfungen

Simon Scheck, EPCOS AG, EMV-Labor, Regensburg, Deutschland
Christian Paulwitz, EPCOS AG, EMV-Labor, Regensburg, Deutschland
Dr.-Ing. Stefan Weber, EPCOS AG, München

1 Ausgangssituation

Unter dem Aspekt der Sicherstellung der Qualität von Prüfergebnissen sind Vergleiche zwischen Laboratorien zwingend erforderlich. Die Durchführung solcher Vergleichsuntersuchungen in Form von Ringvergleichen oder Eignungsprüfungen ist bei den Prüfungen der Störaussendung jahrelange Praxis, jedoch für den Anwendungsbereich der Störfestigkeitsprüfungen unzureichend entwickelt. Es mangelt an geeigneten Prüflingen und aussagekräftigen Verfahren.

2 Vergleichsuntersuchungen der Störfestigkeit am Beispiel der EN/IEC 61000-4-3

Dieser Teil der EN/IEC 61000 gilt für die Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen oder elektronischen Geräten gegen hochfrequente elektromagnetische Felder. Er legt Prüfpegel und die erforderlichen Prüfverfahren fest.

Für die Berechnung der Messunsicherheit liefern hauptsächlich die Kalibrierung der E-Feldsonde, die Einregelung der Leistung während des Einmessens und der Prüfung sowie die Einhaltung des Abstandes von der Antenne zum Prüfling relevante Beiträge, was zu einer erweiterten Messunsicherheit im Bereich von 2 dB führt. – Anhang J [1]

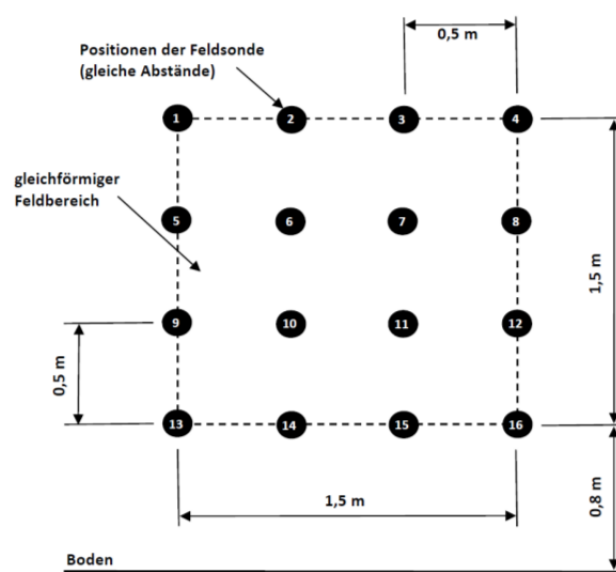


Bild 1: gleichförmiger Bereich nach der EN/IEC 61000-4-3 [1]

Ein weiterer Anteil ist die Abweichung während des Einmessens des gleichförmigen Bereiches, hier ist für 12 der 16 Punkte eine Abweichung von ± 6 dB zulässig. Die restlichen 4 Punkte bleiben unberücksichtigt und können auch außerhalb dieses Bereichs liegen.

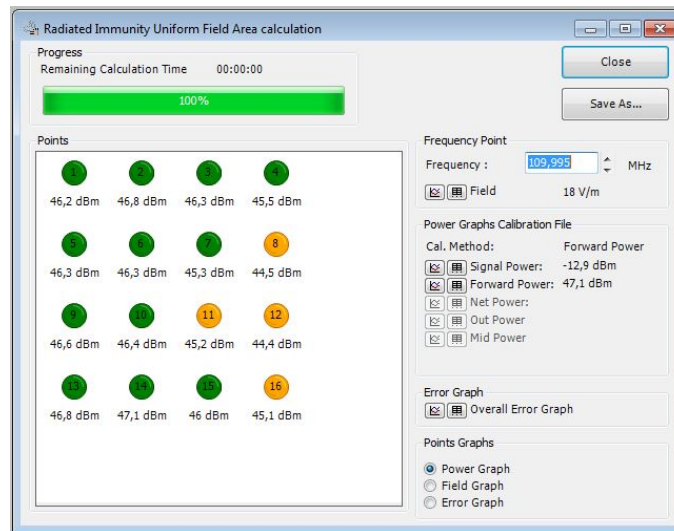


Bild 2: Beispiel für die Berechnung des gleichförmigen Bereichs bei 110 MHz – vertikale Antennenpolarisation [2]

Die „Kalibrierung des Feldes“ – eigentlich das Einmessen der Einstellungen für die Durchführung der Prüfungen – findet im leeren Bereich ohne Prüfling statt, bei nachfolgenden Prüfungen können Veränderungen durch die Anwesenheit des Prüflings selbst erfolgen. Diese Verzerrung des Feldes kann beim Einmessen des gleichförmigen Bereiches nicht berücksichtigt werden und führt zu weiteren Unsicherheiten abhängig von der Geometrie und dem Abstand der Strahlungsquelle.

2.1 Musterprüfling

Neben der kalkulierten Messgeräteunsicherheit und den Unsicherheiten des normativen Verfahrens spielen Unsicherheiten bei der Bewertung des Prüfergebnisses eine weitere Rolle. Es ist Aufgabe des Prüfplans, eine eindeutige Fehlerbeurteilung mit festgelegten Toleranzen sicherzustellen. Messtechnisch erfassbare Größen oder digitale Aussagen (z. B. Fehlermeldungen) sind wünschenswert, aber abhängig vom Prüfling kommen auch Sinneseindrücke (wie z. B. in diesem Fall: Aufleuchten von Dioden) mit einem mehr oder weniger breiten Übergangsbereich zur Anwendung.

Der Musterprüfling besteht aus einem LED-Modul mit vier Bänken. Zwei dieser Bänke leuchten als Funktionskontrolle und zur Referenz dauerhaft, die anderen beiden leuchten in Abhängigkeit des exponierten Feldes. Als Ausfallkriterium wird eine Änderung der nicht leuchtenden LEDs definiert. In der praktischen Anwendung ist der subjektive Übergangsbereich bei diesem Prüfling mit etwa 0,5 V/m hinreichend genau für die Bewertung der Ausfallsschwelle mit dem Ziel von Laborvergleichen.

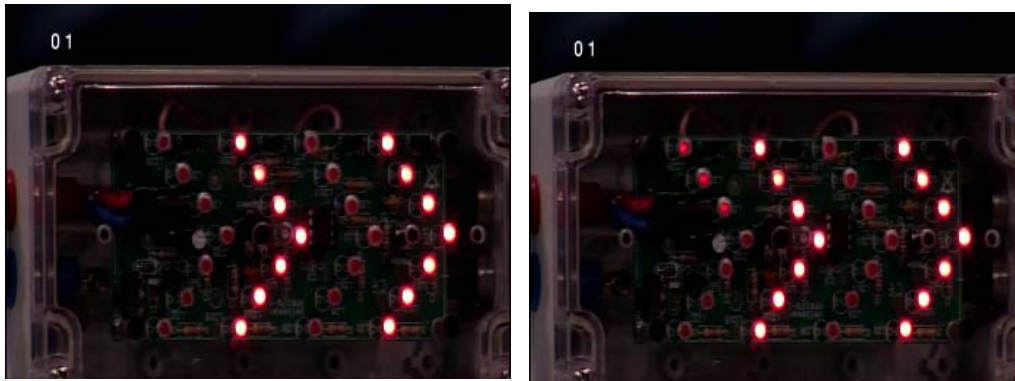


Bild 3: Musterprüfling – links: Ausgangszustand – rechts: Ausfall

Das Testmodul „LED-Pfeil“ liegt auf einem Tisch, es wird nur eine Prüflingsposition dem HF-Feld (Amplitudenmodulation mit einem Sinus von 1 kHz und einer Tiefe von 80 % sowie einer Schrittweite der Trägerfrequenz von 1% mit einer Verweilzeit von 0,5 s) ausgesetzt.

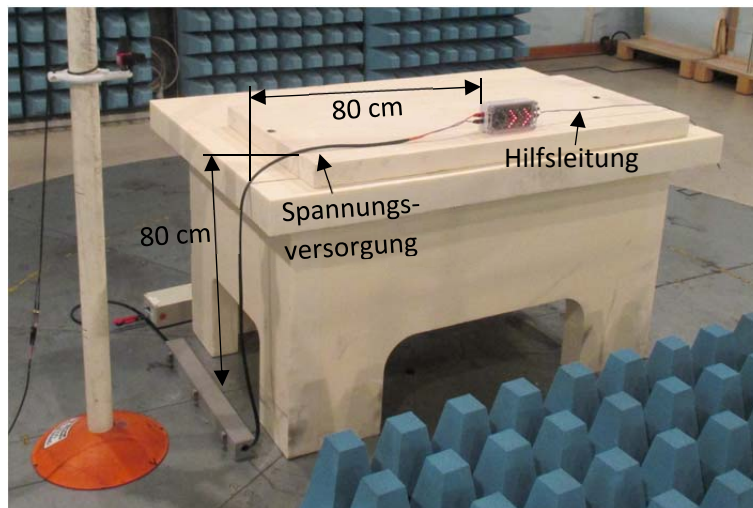


Bild 4: Musterprüfling – Aufbau im Feld als Tischgerät

Die Versorgungsleitung wird vom Testmodul weg zunächst 0,8 m horizontal auf dem Tisch (0,8 m Höhe) geführt und dann 0,8 m senkrecht zum Boden, wo sie direkt durch ein CMAD (common mode absorbing device) zur DC-Quelle geführt wird. Ferner ist noch eine weitere Leitung an dem Prüfling angeschlossen, die ohne Abschluss auf dem Tisch liegt. Die Fehlerbewertung erfolgt nach dem Leuchten der initial nicht leuchtenden LEDs, wobei die Intensität des LED-Lichts nicht bewertet wird. Ein Ausfall liegt vor, wenn mindestens eine LED (leichtes Leuchten) oder alle LEDs leuchten. Die Tests werden jeweils bei horizontaler und vertikaler Antennenpolarisation durchgeführt.

Zuerst wird über den gesamten Frequenzbereich von 80 MHz bis 1 GHz mit einer Prüfschärfe von 10 V/m gefahren, um das Frequenzband zu ermitteln, in dem der Prüfling ausfällt, sowie der Prüfpegel am Anfang und am Ende des Ausfallbandes (0,5-V/m-Schritte sind ausreichend genau).

Anschließend wird bei drei Einzelfrequenzen 83 MHz – 110 MHz und 200 MHz der Prüfpegel ermittelt, ab dem der Prüfling Reaktionen zeigt. Dies erfolgt bis zu einer maximalen Feldstärke von 20 V/m in ebenfalls 0,5-V/m-Schritten. Falls die maximal mögliche Prüfschärfe des Labors niedriger ist, ist dies anzugeben.

Mit diesem Prüfling werden die Reaktionsschwellen der elektrischen Feldstärke erfasst und die kritischen Frequenzbereiche ermittelt. Diese Schwellen lassen sich aufgrund verschiedener Reaktion des Prüflings differenzieren und quantifizieren. Dadurch lassen sich die Ergebnisse verschiedener Laboratorien bewerten und können untereinander verglichen werden.

3 Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen der Störfestigkeitsprüfung am Beispiel der EN/IEC 61000-4-3

3.1 Messungen in verschiedenen Konstellationen in demselben Labor

Die Vergleichsuntersuchungen in verschiedenen Konstellationen beinhalten die Prüfung im vorher beschriebenen Aufbau als Tischgerät in 80 cm Höhe als Referenz.

Als nächstes kam ein zweiter Aufbau zum Einsatz. Dieser ist ebenfalls eingemessen und wird verwendet, um eine Feldstärke von 20 V/m zu erreichen. Er unterscheidet sich im eingesetzten Verstärker mitsamt dem Richtkoppler und dem Abstand zwischen Prüfling und der Antennenspitze von 3 m bzw. 2,6 m.

Bei der Wiederholung des Tests in der Konstellation mit 2,6 m Antennenabstand erfolgte eine Änderung der Höhe des Prüflings von 80 cm auf 130 cm über der Bezugsmassefläche.

Weiterhin wurde im Aufbau mit 3 m Antennenabstand der Prüfling um 180 ° gedreht, um die Strukturen, in welche das Prüffeld einkoppeln kann, in einen anderen Bereich des gleichförmigen Bereichs zu bringen.

Letztlich kam ein anderer Prüftisch – Holz statt Hartschaum – bei einem Antennenabstand von 2,6 m zur Einsatz.

Die Ausfallschwellen konnten in diesen verschiedenen Setups ermittelt werden. In den folgenden Diagrammen sind diese Schwellen der elektrischen Feldstärke sowie die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Wert in dB zu ersehen.

Betrachtet man beispielsweise die Differenz der Ausfallschwellen mit vertikaler Antennenpolarisation in zwei verschiedenen Aufbauten, ergibt sich je nach Frequenz ein Unterschied von maximal 4 dB. Die wesentliche aufbautechnische Änderung liegt hier im Abstand zwischen der Antenne und dem Prüfling. Da bei den hier betrachteten Frequenzen mit beiden Antennenabständen keine Fernfeldbedingungen gegeben sind, können sowohl die Platzierung als auch die Verwendung einer anderen Antenne mit anderem Richtdiagramm zu Unterschieden durch Wechselwirkungen führen.

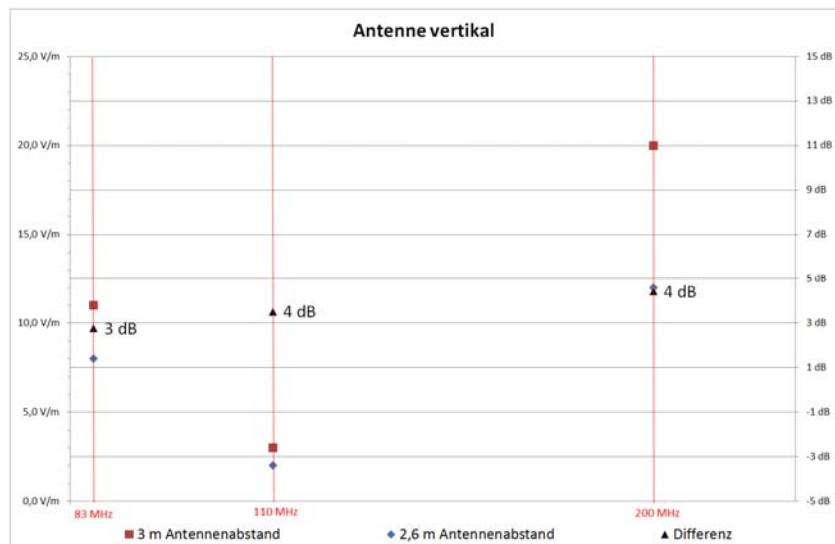


Bild 5: Vergleich bei horizontaler Antennenpolarisation mit unterschiedlichen Abständen

Bei der Betrachtung der Feldstärken bei gleichem Messaufbau, jedoch einer Anordnung des Prüflings auf 80 cm über der Groundplane zu 130 cm, liegen die einkoppelnden Strukturen des Prüflings nicht auf einem Punkt des Feldes, sondern in mehreren Feldern des gleichförmigen Bereiches mit verschiedenen Feldpunkten. Hieraus ergibt sich ein Unterschied von maximal 5 dB. Mögliche Gründe liegen darin, dass die Diskretisierung des 1,5 m x 1,5 m großen Bereiches durch 16 bzw. 12 Einzelpunkte, welche der praktischen Umsetzung der „Kalibrierung des Feldes“ geschuldet ist, nur endlich erfolgen kann. Darüber hinaus befinden sich andere Strukturen, besonders die Versorgungsleitung, unterschiedlich bzw. über verschiedene Einkoppelstrecken im Feld.

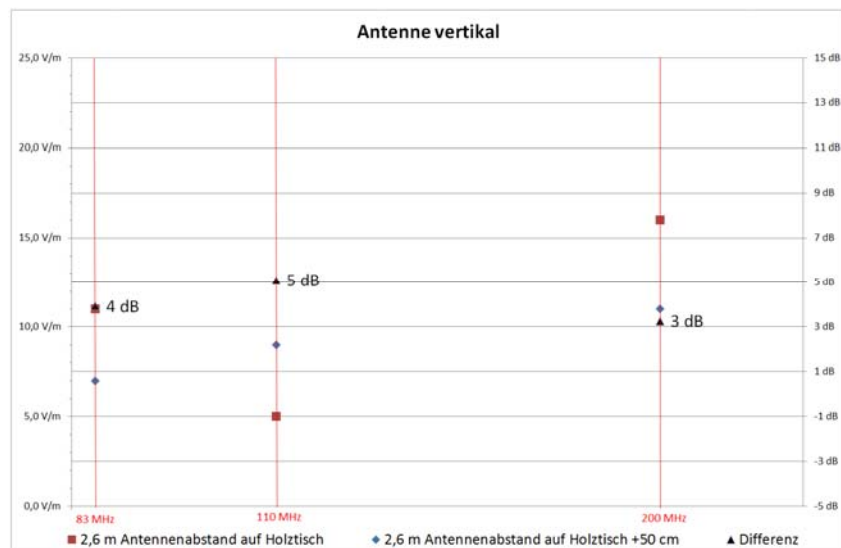


Bild 6: Vergleich bei vertikaler Antennenpolarisation in 80 cm und 130 cm Höhe

Gemäß den normativen Vorgaben sind Tischgeräte in einer Höhe von 80 cm über der Groundplane anzuordnen. Ein möglicher zulässiger Freiheitsgrad liegt in der Orientierung des Prüflings. Vergleicht man die Anordnung des Prüflings auf 80 cm Höhe nach links bzw. nach rechts orientiert, so ergibt sich eine maximale Abweichung von 2 dB.

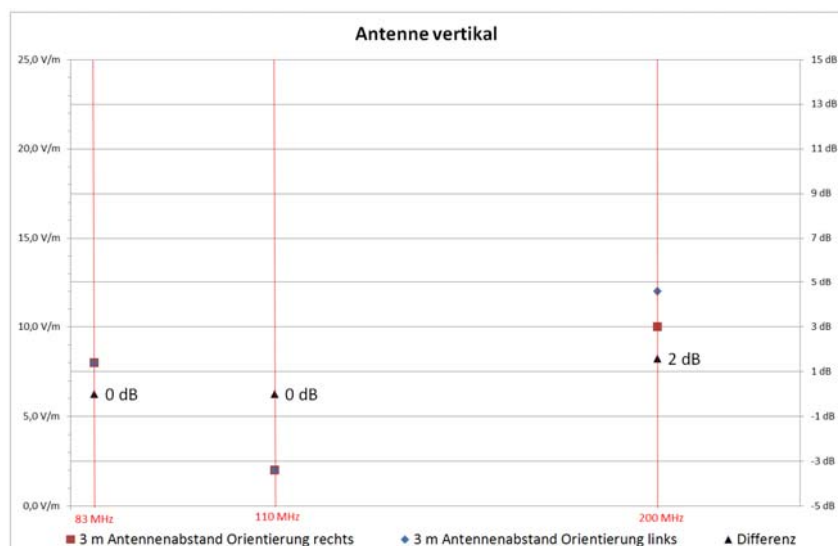


Bild 7: Vergleich bei vertikaler Antennenpolarisation mit unterschiedlichen Orientierungen des Prüflings

Der letzte Vergleich zeigt den Unterschied zwischen verschiedenen Materialien des Tisches, auf dem der Prüfling platziert wird. Hier wurden ein Hartschaum- und ein Holztisch verwendet. Aus dieser Untersuchung ergibt sich eine maximale Abweichung von 4 dB. Laut der EN/IEC 61000-4-3 sollten Tische oder Unterlagen aus Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante (niedriger Permittivität), wie z. B. steifes Polystyren, verwendet werden, da solche aus Holz oder glasfaserverstärktem Kunststoff wegen möglicher Reflexionen zu einer Störung des Feldes und zur Verschlechterung der Gleichförmigkeit des Feldes führen können.

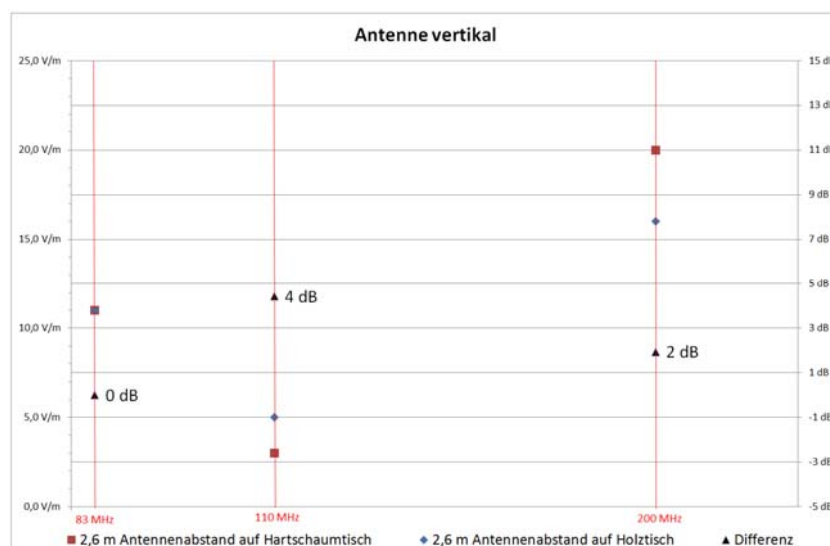


Bild 8: Vergleich bei vertikaler Antennenpolarisation mit unterschiedlichen Tischen

Bewegt man sich im Rahmen der Norm, d. h. eine Prüflingshöhe vom 80 cm mit einem geeigneten Tisch, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung und Vergleichbarkeit mit diesem Musterprüfling.

3.2 Messungen in verschiedenen Laboratorien

Beim Vergleich der Ausfallschwellen mit beiden Antennenpolarisationen in verschiedenen Laboratorien ergibt sich ein Unterschied von maximal 4 dB bzw. 6 dB. Die Gründe dieses Unterschiedes rühren nicht zuletzt von den unterschiedlichen Prüfaufbauten her, welche alle der vorher betrachteten Aspekte beinhalten können.

Bei dem relativ großen Unterschied von 6 dB ist der absolute Wert der Ausfallschwellen zu betrachten. Mit Werten von 1 V/m zu 2 V/m ist das Verhältnis sehr hoch, jedoch liegt die absolute Differenz im Bereich der Auflösung von 0,5 V/m und auch sehr nahe an der Schwelle der subjektiven Wahrnehmung.

Mit diesen Unterschieden ergab sich eine gute Übereinstimmung, was die Eignung des Musterprüflings für Vergleichsmessungen belegt.

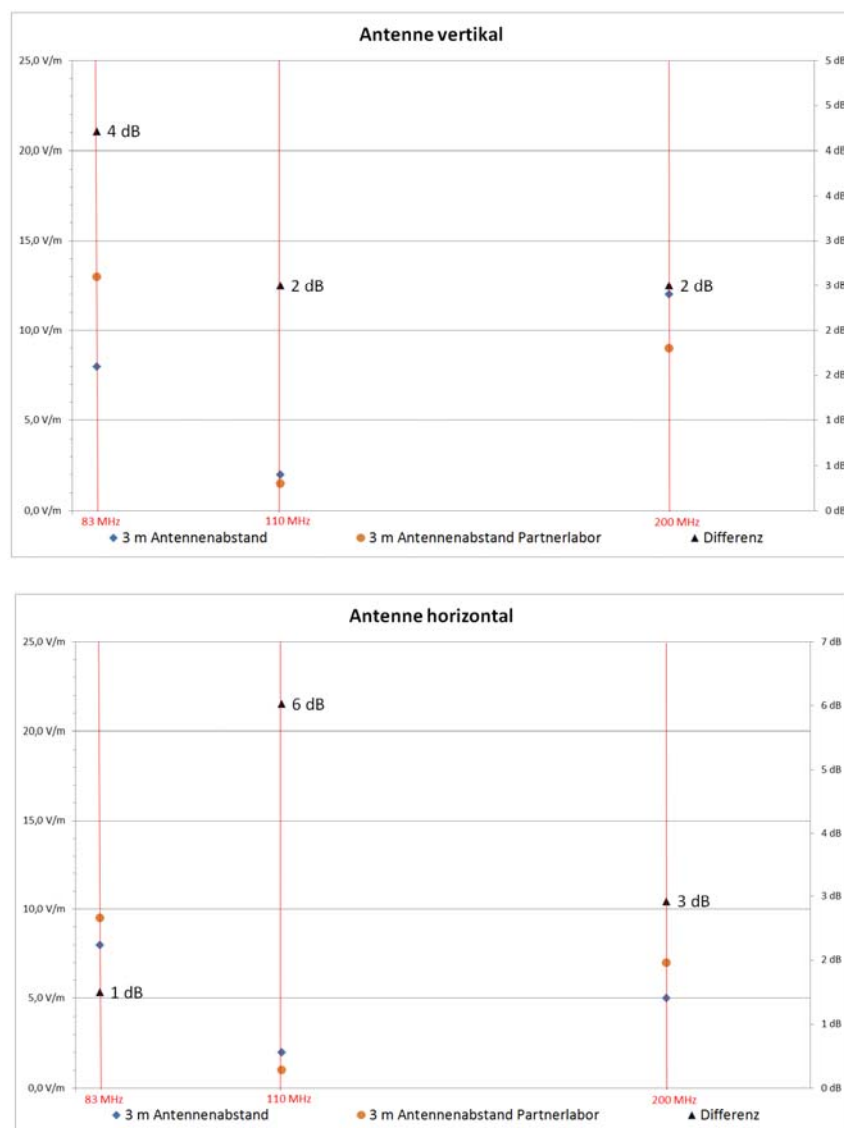


Bild 9 und 10: Messwerte und Unterschiede in verschiedenen Laboratorien

4 Zusammenfassung

Aus den hier untersuchten unterschiedlichen Aufbauten kann folgendes zusammengefasst werden:

- Die verschiedenen Prüflingshöhen haben einen wesentlichen Einfluss, dies erklärt sich durch die unterschiedliche Anordnung im Feld, wodurch sich auch die Länge der beeinflussten Strukturen verändert.
- Bereits bei 110 MHz war die Ausführung des Tisches relevant.
- Die Rückkopplung zur Antenne (hier: unterschiedliche Abstände zwischen Prüfling und Antenne), welche durch verschiedene Antennentypen beeinflusst wird, hat ebenfalls erheblichen Einfluss.
- Der Vergleich zwischen den Laboratorien war sehr gut, sofern ausreichend hohe Ausfallsschwellen erreicht wurden.

Um eine breitere Datenbasis zu erhalten, werden für künftige Vergleichsuntersuchungen weitere Laboratorien mit einbezogen.

Mit dem hier vorgestellten Musterprüfling ist ein Vergleich verschiedener Laboratorien möglich und kann zur Planung und Auswertung solcher Vergleichsuntersuchungen verwendet werden.

Literaturangaben

- [1] EN 61000-4-3 (2006) +A1 (2008) +A2 (2010)
harmonisierten Europäischen Norm
Deutsche Fassung DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847-4-3) (2011)
*Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3:
Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente
elektromagnetische Felder*
- [2] Radimation, Integral EMI/EMC measurement software
Version 2016.2.8, Device driver system 2017.2.3.1152
DARE!! Instruments, Vijzelmolenlaan 7, 3447 GX, Woerden