

Herausforderungen bei der Durchführung von reproduzierbaren BCI-Messungen

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernd Deutschmann, Graz University of Technology
Institute of Electronics, Austria

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gunter Winkler, Graz University of Technology, Institute of
Electronics, Austria

1 Einleitung

Die Charakterisierung der elektromagnetischen Störfestigkeit ist ein wichtiger Qualifizierungsschritt für elektronische Komponenten in Kraftfahrzeugen. Verschiedene Testmethoden können verwendet werden, um die ungestörte Funktionalität des Systems sicherzustellen. Ein dabei angewandtes wichtiges Messverfahren ist die sogenannte „Bulk Current Injection“ Methode, kurz BCI genannt, welche in der ISO 11452-1 [1] beziehungsweise in ISO 11452-4 beschrieben [2]. Sie ist weit verbreitet und wird häufig von vielen Automobilherstellern in ihren EMV-Spezifikationen zur Charakterisierung elektronischer Geräte gefordert. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der durchgeführte Messvorgang zuverlässig ist und unabhängig davon, wo und wann ein Gerät gemessen wird, die Ergebnisse immer reproduzierbar sind [3]. Dies ist leider nicht immer der Fall, da diese Art der Messung häufig zu Problemen bei der genauen Durchführung und Interpretation des Messaufbaus und der Testprozedur führt [4]. Zahlreiche Untersuchungen wurden dazu schon durchgeführt und in Publikationen veröffentlicht [5], [6]. In [7] zum Beispiel wurden die Effekte von Masserückleitungen sowie das Übersprechen im Kabelbaum während des BCI-Tests experimentell untersucht und es zeigte sich, dass die Testergebnisse erheblich von den unterschiedlichen Bedingungen im Kabelbaum abhängen. P. S. Crovetti zeigte in [8], dass über 100MHz der tatsächliche in den Prüfling eingekoppelte Störstrom erheblich vom Störstrom, der während des im Standard beschriebene Kalibrierungsverfahrens eingestellt wird, abweicht. Solche Diskrepanzen können zu unzuverlässigen Ergebnissen bei BCI-Störfestigkeitstests führen. Daher ist bei der Durchführung des BCI-Tests besondere Vorsicht geboten.

In diesem Beitrag werden die wichtigsten Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit von BCI-Testergebnissen und im speziellen die Einflüsse von geringen Variationen im Testaufbau gezeigt. Anhand von zahlreichen Messungen wurden die Einflüsse folgender Parameter auf das Testergebnis untersucht und ausgewertet:

- Position der zur Störfestigkeitsprüfung verwendeten Koppelzange
- Ausrichtung des Prüflings
- Position des Kabelbaums innerhalb der Koppelzange
- Einfluss der Verwendung einer Strommesszange
- Impedanz der Netz- und Lastnachbildung
- Impedanz des Prüflings zur Bezugsmasseplatte
- Länge und Lage des Kabelbaums
- Material der isolierenden Unterlage

Ein paar wichtige Testergebnisse daraus werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

2 Das BCI-Messverfahren

Der BCI-Test basiert auf einer Störfestigkeitsprüfung bei der mittels einer Koppelzange RF-Störsignale (mit oder ohne Amplitudenmodulation) induktiv in einen Kabelbaum eingekoppelt werden. Das zu prüfende elektronische System (Device under Test – DUT) wird dabei mit seinem dazugehörigen Kabelbaum definierter Länge auf einem Labortisch, auf dem sich eine Bezugsmasseplatte befindet, gelegt. Dabei ist zu beachten, dass sowohl der Prüfling als auch der Kabelbaum die im ISO 11452-4 Standard vorgeschriebenen Abstände in der Höhe und zur Kante der Bezugsmasseplatte einhalten. Die Koppelzange wirkt dabei als Transformator mit einer Primärwicklung und dem Kabelbaum als Sekundärwicklung. Die bei der Kalibrierung ermittelte frequenzabhängige Vorwärtsleistung, die an die Koppelzange angelegt wird, wird dabei als Referenzparameter für den Test verwendet. Diese kann während der Messung im Frequenzbereich von 1MHz bis 400MHz auf dem kalibrierten Wert gehalten werden (substitution method). Im Gegensatz dazu kann aber auch die Vorwärtsleistung beginnend mit einem Startwert solange erhöht werden bis der Prüfling eine Fehlfunktion aufweist, der mitgemessene in den Kabelbaum induzierte Strom das angegebene Prüfniveau erreicht hat oder eine vorher definierte maximale Vorwärtsleistung erreicht wurde (closed loop method). Bild 1 zeigt den schematischen Messaufbau einer dieser beiden Methoden. Je nach Messmethode sind die Abstände zwischen dem Prüfling (im Bild 1 DUT) und der Koppelzange beziehungsweise der Strommesszange vorgegeben. Am Ende des Kabelbaums wird ein Lastsimulator angeschlossen. Dieses Gerät beinhaltet reale und/oder simulierte periphere Lasten, die erforderlich sind um den Prüfling in einen nominalen oder repräsentativen Betriebsmodus zu bringen. An dieser Stelle befinden sich auch die Netznachbildung (AN) zur Nachbildung der Impedanz der Spannungsversorgung des Prüfling, sowie die Spannungsversorgung.

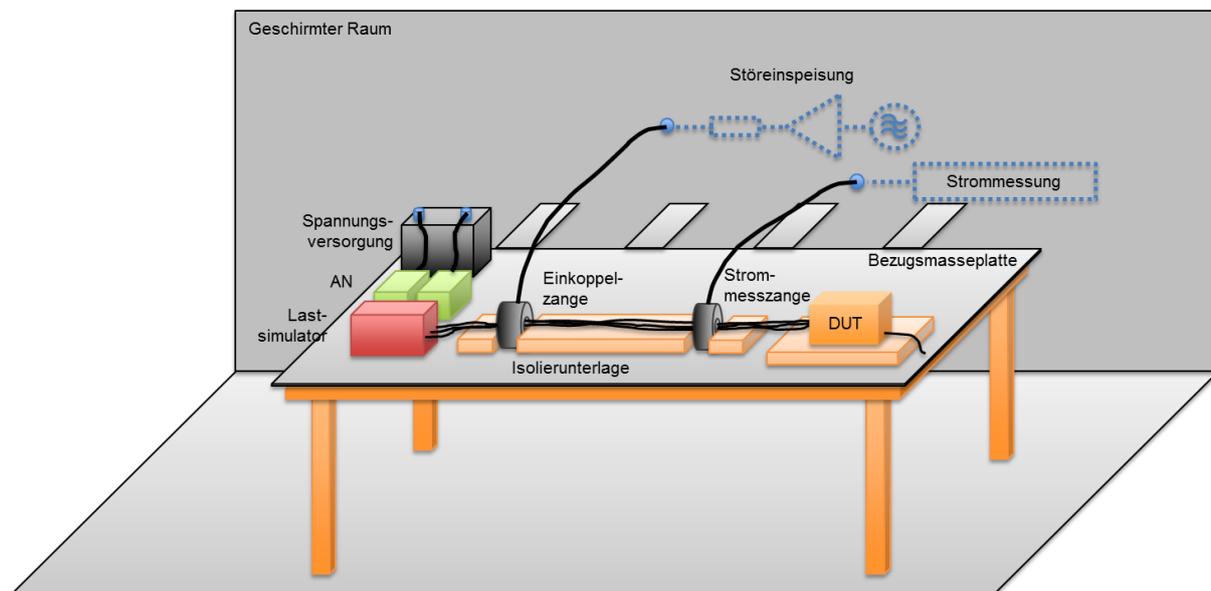


Bild 1: Beispiel für einen BCI-Prüfaufbau (closed loop method)

3 Grundlegende Untersuchungen zur Störbeaufschlagung des Prüflings durch den BCI-Test

3.1 Nachbildung des Prüflings durch einfache Teststrukturen

In einem ersten Versuch wurde untersucht wie groß der reale Strom ist, welcher bei der Einkopplung von RF-Störsignalen in einen Kabelbaum wirklich in den Prüfling fließt. Die Koppelzange wurde dazu wie im Standard beschrieben in eine Kalibriervorrichtung eingespannt. Die Sekundärwicklung der Koppelzange ist dabei rechts und links mit jeweils 50Ohm abgeschlossen. Die notwendige Vorwärtsleistung in Abhängigkeit von der Frequenz wurde dabei für die Einkopplung eines Störstroms von 100mA ermittelt.

In Anlehnung an die Kalibriervorschrift wurde in einem realen BCI-Messaufbau der Kabelbaum auch an beiden Seiten jeweils über einen 50Ohm Widerstand als Testlast mit der Bezugsmasseplatte des Tisches verbunden. Diese sollen den Prüfling auf der einen Seite und den Lastsimulator auf der anderen Seite des Kabelbaums simulieren.

Die zuvor im Kalibrierverfahren ermittelten Werte für die notwendige Vorwärtsleistung für einen eingekoppelten Strom von 100mA wurden eingestellt. Man könnte nun erwarten, dass auch im Messaufbau die eingestellten 100mA im Kabelbaum fließen.

Im Bild 2 ist das Messergebnis des realen Stromflusses in den Prüfling dargestellt. Wie zu sehen ist, weicht der Strom in weiten Bereichen von 100mA ab. Dies ist durch den realen Messaufbau mit der frequenzabhängigen Impedanz des Kabelbaums zusammen mit der Bezugsmasseplatte erklärbar. Deutlich sind einzelne Resonanzen vor allem im oberen Frequenzbereich zu sehen. Es gibt einzelne Frequenzbereiche bei denen fast kein Strom mehr in den Prüfling, der in diesem Fall durch eine 50Ohm Last nachgebildet wurde, eingekoppelt wird.

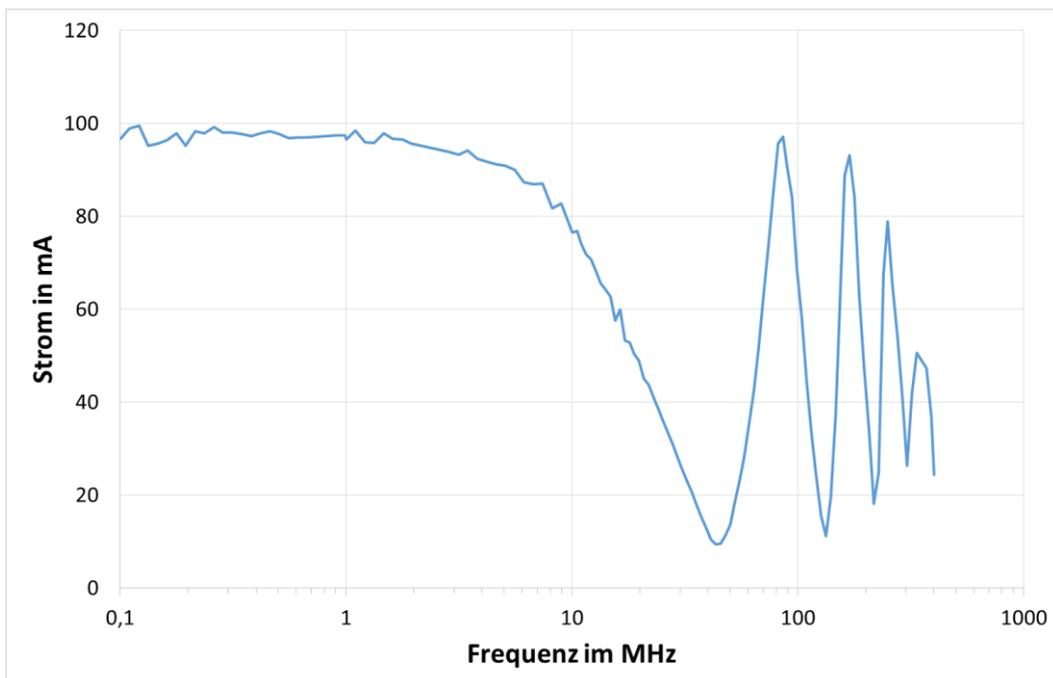


Bild 2: Einkoppelter Strom in den Prüfling (nachgebildet durch einen 50Ohm Widerstand zur Bezugsmasseplatte)

Im nächsten Versuch wurde ein etwas realitätsnäherer Ansatz für die an den Kabelbaum angeschlossene Prüflingsnachbildung gewählt. Der Prüfling wurde durch eine 10x10cm große Kupferplatte, welche eine Leiterplatte mit Groundplane simulieren soll, nachgebildet. Diese wurde in 5cm Höhe entsprechend dem standardisierten Messaufbau isoliert von der Bezugsmasseplatte parallel zu dieser positioniert. Der 50Ohm Widerstand zur Nachbildung des Lastsimulators auf der anderen Seite des Kabelbaums wurde für diesen Versuch nicht verändert.

In Bild 3 ist wiederum das Messergebnis des Stromflusses in den Prüfling gezeigt. Dieses Mal ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Im Frequenzbereich bis ca. 10MHz wird fast kein Strom in den Prüfling eingekoppelt. Dafür sind aber speziell im oberen Frequenzbereich zahlreiche Resonanzen zu sehen, bei denen der Strom deutlich über den erwarteten 100mA liegt. Diese Resonanzen hängen in erster Linie von den parasitären Streukapazitäten, die durch die Kupferplatte mit der Bezugsmasseplatte gebildet werden, ab.

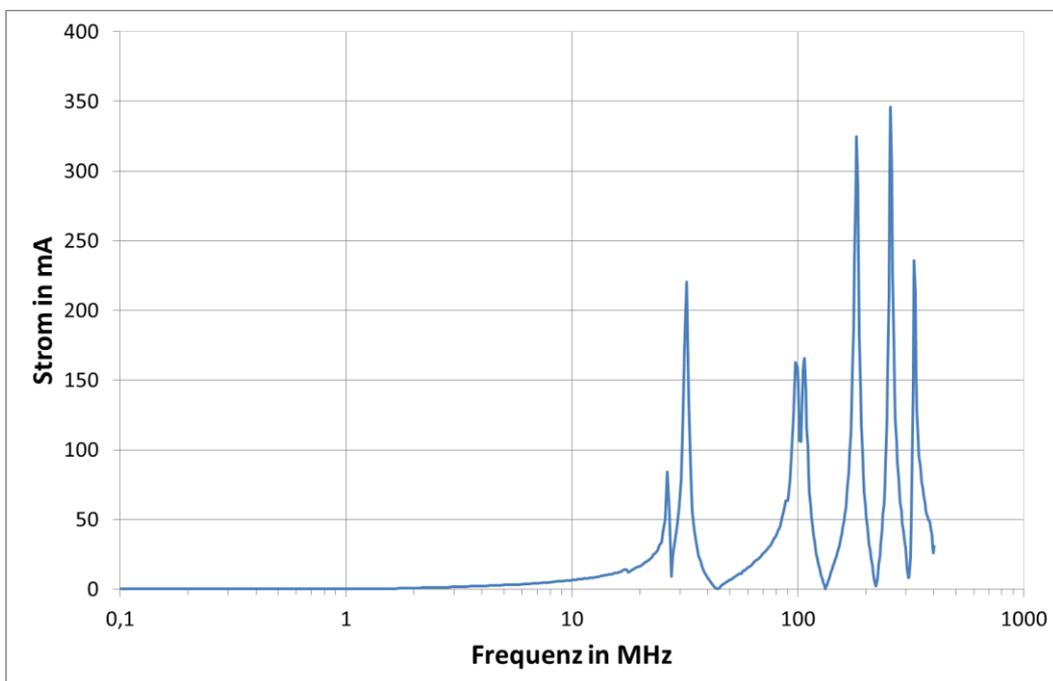


Bild 3: Einkoppelter Strom in den Prüfling (nachgebildet durch eine 10x10cm große Kupferplatte parallel zur Bezugsmasseplatte)

3.2 Einfluss der Ausrichtung des Prüflings

Wenn sich also die Größe des Prüflings und dessen Ausrichtung zur Bezugsmasseplatte verändert, werden sich dementsprechend auch die Resonanzen und die in den Prüfling eingekoppelten Ströme verändern.

Die ISO 11452 definiert nur die Positionierung des Prüflings (Höhe über und Abstände zu den Kanten der Bezugsmasseplatte) nicht aber dessen Ausrichtung. Für die Durchführung von reproduzierbaren BCI-Tests ist es daher besonders wichtig, dass der Prüfling immer dieselbe Ausrichtung aufweist. Diese sollte auch in den Testreports dokumentiert werden.

Zur Verdeutlichung der Unterschiede wurde in einem weiteren Versuch der Prüfling (10x10cm große Kupferplatte) senkrecht zur Bezugsmasseplatte positioniert. Dies soll eine andere Gebrauchslage des Prüflings während des Tests darstellen. Die Unterschiede in den Messergebnissen des Stromes sind in Bild 4 dargestellt. Deutlich sind die Verschiebungen der Resonanzstellen und die Unterschiede in der Amplitude des Stromes in den Prüfling erkennbar. Bei 260MHz zum Beispiel beträgt der Unterschied in der Stromamplitude ca. 20mA.

Zusätzlich wurde die Kupferplatte auch durch ein 10cm langes Drahtstück, welches wiederum parallel zur Bezugsmasseplatte positioniert wurde, ersetzt. Dieses dient zur Nachbildung einer einfachen Leiterplatte ohne flächiger Groundplane. Aufgrund der deutlich geringeren Streukapazitäten ergeben sich in diesem Fall sehr große Unterschiede im Vergleich zu den beiden anderen Versuchen. Dies verdeutlicht welchen Einfluss die Ausrichtung des Prüflings auf die Resonanzstellen und somit auf die Störeinwirkung und das finale EMV-Prüfergebnis des Prüflings haben kann.

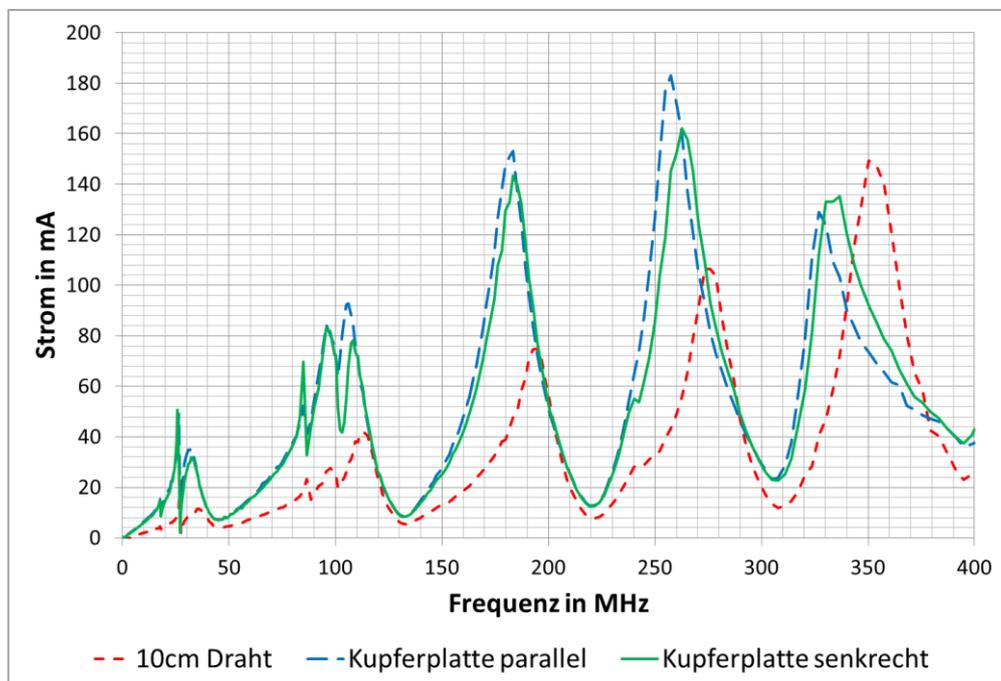


Bild 4: Unterschiede des eingekoppelten Stromes in den Prüfling (nachgebildet durch eine 10x10cm große Kupferplatte parallel und senkrecht zur Bezugsmasseplatte, sowie durch ein 10cm langes Drahtstück)

3.3 Einfluss der Position der Kabel innerhalb der Einkoppelzange

In weiteren Versuchen wurde der Einfluss der Position des Kabelbaums innerhalb der Einkoppelzange untersucht. Auch in diesem Fall gibt der Standard keine eindeutige Auskunft darüber wie die einzelnen Leitungen des Kabelbaums genau verlegt werden sollen. Der Kabelbaum wurde für diese Untersuchung durch eine verdrehte Zweidrahtleitung nachgebildet und dabei für jeden Versuch an einem von drei verschiedenen Positionen innerhalb der Einkoppelzange platziert. Im ersten Fall befand sich der Kabelbaum genau in der Mitte der Einkoppelzange (Orientierung 1), in den

beiden anderen Fällen einmal an der rechten und einmal an der linken Innenseite der Koppelzange (Orientierung 2 und 3). Bild 5 zeigt dazu die verschiedenen Anordnungen.



Bild 5: Position des Kabelbaums innerhalb der Einkoppelzange

In Bild 6 sind die Messergebnisse des in den Prüfling eingekoppelten Stromes in Abhängigkeit zu den drei Positionen dargestellt. Im unteren Frequenzbereich hat die Positionierung der Kabel innerhalb der Koppelzange noch keine großen Einflüsse. Bei Frequenzen über 250MHz gibt es aber doch recht große Unterschiede des in den Prüfling eingekoppelten Stromes von bis zu 100mA. Befinden sich die Kabel zentral in der Mitte der Koppelzange (Orientierung 1), so ergeben sich die höchsten Amplituden des eingekoppelten Stromes und somit im realen Fall auch die höchsten Störbeeinflussungen des Prüflings. Befinden sich die Kabel aber am Rande der Innenseite der Koppelzange auf der gegenüberliegenden Seite des Steckers (Orientierung 3), bei dem das Störsignal in die Koppelzange eingekoppelt wird, so ergeben sich die geringsten Störströme in einen Prüfling.

Um den ungünstigsten Fall zu testen, sollten sich die empfindlichen Leitungen des Kabelbaums also in der Mitte der Einkoppelzange befinden.

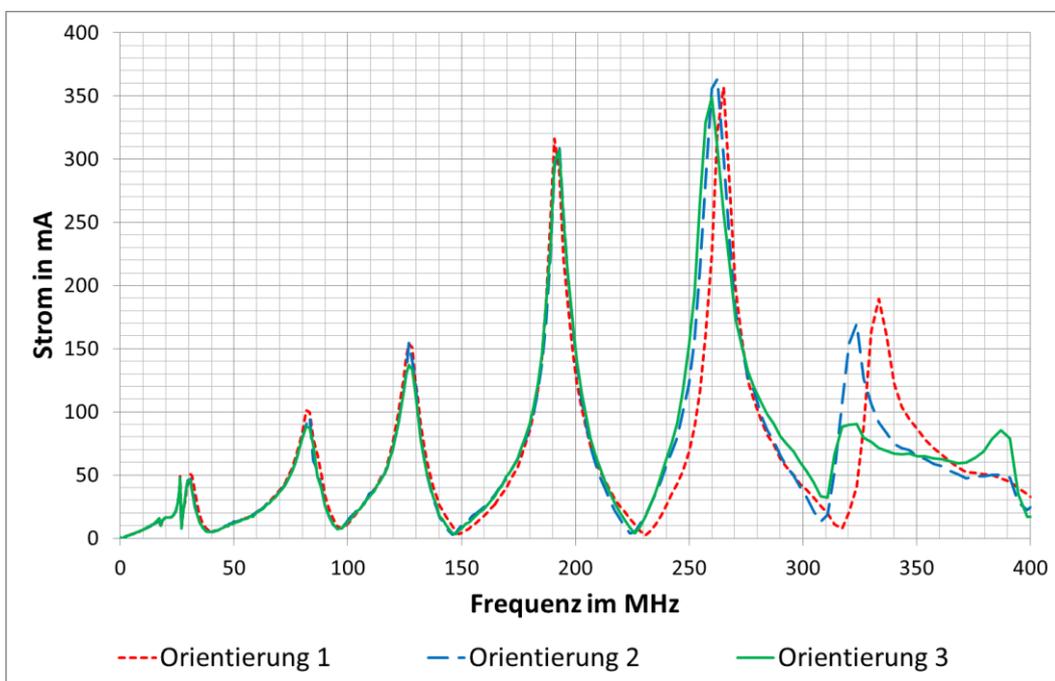


Bild 6: Unterschiede des eingekoppelten Stromes in den Prüfling (nachgebildet durch eine 10x10cm große Kupferplatte parallel zur Bezugsmasseplatte) durch den Einfluss der Positionierung des Kabelbaums innerhalb der Einkoppelzange

3.4 Einfluss der isolierenden Prüflings- und Kabelbaumunterlage

Gemäß der ISO 11452 werden der Prüfling und der Kabelbaum auf einem nicht leitenden Material mit niedriger relativer Permittivität in einer Höhe von $50 \pm 5 \text{ mm}$ über der Bezugsmasseplatte des Tisches platziert. Der Standard schreibt hierzu eine Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r \leq 1,4$ des Isoliermaterials vor. Aber welchen Einfluss auf die Störfestigkeitsprüfung hat eigentlich eine Abweichung von diesem Wert? Um dieser Frage auf den Grund zu gehen wurden im folgenden Versuch drei verschiedene Isolierunterlagen verwendet und deren Einfluss auf den in den Prüfling eingekoppelten Strom untersucht.

- Holz (Multiplex beech birch, $\epsilon_r=2-5$)
- Polystyrol (Styropor® BASF, $\epsilon_r=1,03$)
- Luft ($\epsilon_r=1$)

Bild 7 zeigt dazu die entsprechenden Messergebnisse. Im Vergleich zu Luft als idealer Isolierstoff unterscheiden sich die eingespeisten Stromamplituden und Resonanzfrequenzen bei Verwendung einer Unterlage aus Polystyrol nicht wesentlich. Es gibt jedoch einen großen Unterschied, wenn ein Holzaufbau als Unterlage verwendet wird. Wie in Bild 7 zu sehen ist, verschieben sich die Resonanzfrequenzen sehr stark und auch die eingekoppelten Stromamplituden sind signifikant niedriger. Würde als Beispiel bei Verwendung von Polystyrol im Frequenzbereich um die 230 MHz fast kein Strom in den Prüfling eingekoppelt, so ergäbe sich bei einem Austausch auf Holz als Unterlage ein eingekoppelter Störstrom von ca. 240 mA.

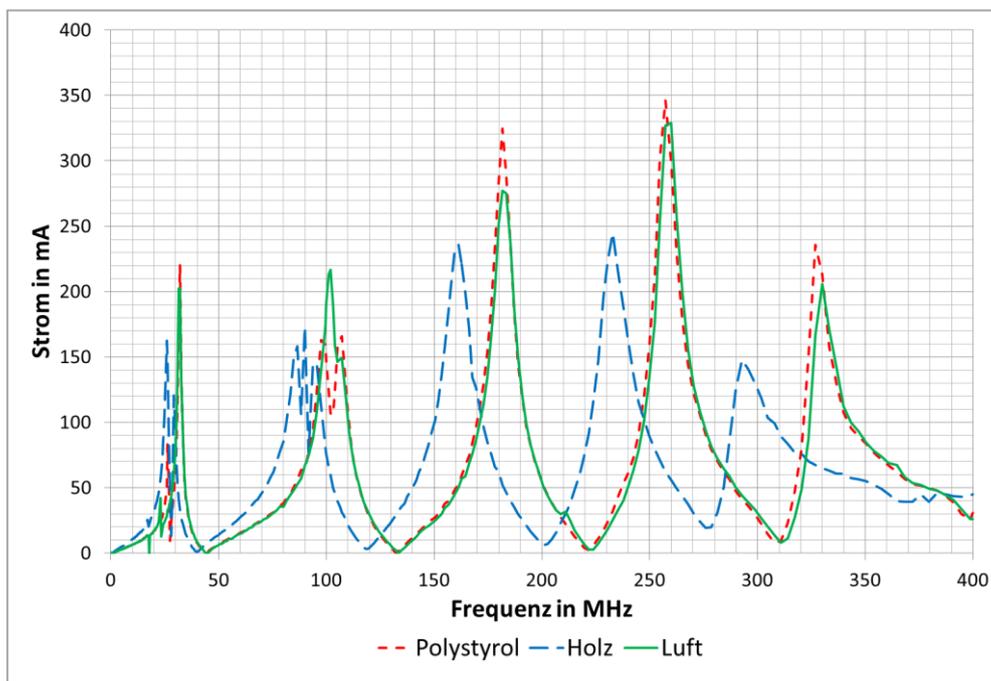


Bild 7: Unterschiede des eingekoppelten Stromes in den Prüfling (nachgebildet durch eine 10x10cm große Kupferplatte parallel zur Bezugsmasseplatte) durch den Einfluss der isolierenden Prüflings- und Kabelbaumunterlage

4 Zusammenfassung

Die elektromagnetische Störfestigkeitsprüfung von elektronischen Komponenten in Kraftfahrzeugen wird sehr oft basierend auf der im ISO11452-4 Standard beschriebenen Bulk Current Injection Methode durchgeführt. Bei dieser EMV Prüfung gibt es allerdings immer wieder Schwierigkeiten reproduzierbare Testergebnisse von ein und demselben Prüfling zu erlangen, vor allem wenn Tests bei unterschiedlichen EMV-Prüfzentren durchgeführt werden. Dies liegt unter anderem daran, dass es schwierig ist das Testsetup, wie zum Beispiel die Verlegung des Kabelbaumes, reproduzierbar aufzubauen. Zusätzlich sind im Standard einige Parameter des Messaufbaues, welche einen großen Einfluss auf das finale Testergebnis eines Prüflings haben können, nicht ausreichend definiert. Zum Beispiel gibt es keine klaren Vorgaben zur Ausrichtung des Prüflings in Bezug auf die Bezugsmasseplatte oder zur Positionierung des Kabelbaums innerhalb der Einkoppelzange. In einer Messreihe wurde eingehend untersucht welchen Einfluss geringe Variationen im Testaufbau des BCI-Testsetups haben können und warum es bei der Durchführung der BCI-Tests zu unterschiedlichen Messergebnissen kommen kann.

Literatur

- [1] ISO 11452-1: Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy — Part 1: General principles and terminology
- [2] ISO 11452-4: Road vehicles - Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated EM energy, Part 4: Bulk Current Injection
- [3] R. Schertlen, et al., "Einfluss der Bordnetznachbildung auf Störfestigkeitsmessverfahren (z.B. BCI) oberhalb 100 MHz", Proc. Int. Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV 2018), pp. 465-472, Düsseldorf, 20.– 22.02.2018, DOI: <https://doi.org/10.15488/4377>
- [4] S. Razavi, A. Zeichner, S. Frei, "Erhöhung der Korrelation zwischen BCI- und Antennenprüfverfahren durch Bestimmung von Abschlussimpedanzen mittels potenzialfreier Messung mit Stromsensoren", Proc. Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV 2016), pp. 147-156, Düsseldorf, 23.– 25.02.2016, DOI: <https://doi.org/10.15488/5263>
- [5] M. F. Sultan, "Modelling of a Bulk Current Injection Setup for Susceptibility Threshold Measurements", Proc. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 1-8, 1986, DOI: 10.1109/ISEMC.1986.7568237
- [6] P.A. Jennings, R.J. Ball, "Risk assessment for BCI testing", IEE Colloquium on Achieving an Acceptable Confidence Level in EMC Measurements, June 1991, London, UK
- [7] L. Jinlong G. Zeng, J. Shanyi, T. Heqing, M. Shiping, "An experimental analysis of the effects of wiring harness during bulk current injection (BCI) test", Proc. IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing), 28-31 Oct. 2017, DOI: 10.1109/EMC-B.2017.8260476, Beijing, China
- [8] P. S. Crovetti, F. Fiori, "A critical assessment of the closed-loop Bulk Current Injection immunity test performed in compliance with ISO 11452-4", Proc. 2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, DOI: 10.1109/ISEMC.2010.5711267, 25-30 July 2010, Fort Lauderdale, FL, USA