

Vergleich zwischen drei Störfestigkeitsmessmethoden an KFZ-Unterbaukomponenten

Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid, B.Sc. Nitin Aggarwal, Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Institut für Medizintechnik, O.-v.-G.-Universität Magdeburg, Deutschland

1 Einleitung

Die Störfestigkeit von Kfz-Unterbaukomponenten kann anhand von verschiedenen Messverfahren nach ISO 11452 geprüft werden. Häufig wird die Fernfeldeinkopplung durch Antennen nach [1] über den Kabelbaum der Unterbaukomponente in einer Absorberhalle geprüft. Problematisch sind bei diesem Messverfahren die hohen Kosten für die Anschaffung sowie der Platzbedarf einer Absorberhalle. Alternativ wird für die Prüfung der Störfestigkeit von Kfz-Komponenten gemäß [2] das standardisierte Bulk-Current-Injection (BCI) Messverfahren verwendet, bei der Prüfströme in den Kabelbaum eingekoppelt werden. Das BCI-Messverfahren ist gegenüber der Feldeinkopplung in der Absorberhalle aufgrund der geringeren Beschaffungskosten sowie der Messzeit vorteilhaft. Mit Hilfe dieses Messverfahrens kann der Einfluss von Störungen sowie die Störfestigkeit von Geräten oder Systemen während der Entwicklung schnell und kostengünstig untersucht und bewertet werden [4]. In [5] wurde die Verbesserung der Korrelation zwischen dem BCI- und dem Antennenprüfverfahren für Kfz-Komponenten durch Anpassung von Verstärkerleistung und Position der BCI-Zange diskutiert. In [6] wurden die BCI- und Fernfeldeinkopplungsverfahren verglichen. Das BCI-Messverfahren an Kfz-Komponenten wurde auch mit der kapazitiven Spannungseinkopplung verglichen [7].

Ein zweites Alternativmessverfahren zur Prüfung der Störfestigkeit von Kfz-Komponenten ist der Streifenleiter nach ISO 11452-5 [3]. In [8] wurden die elektrischen Eigenschaften der Streifenleitung und die damit verbundenen Anwendungsgrenzen ermittelt. Die Gleich- und Gegentaktanregung von Kabeln wurde mit der Stripline-Methode und im Absorberraum untersucht und verglichen [9]. Durch die breitbandigen Frequenzbereiche sowie die komplexe Geometrie der Kfz-Komponenten und der zugehörigen Kabelbäume kann die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Prüfverfahren nicht immer sichergestellt werden.

In diesem Beitrag werden die Herausforderungen an die Komplexität und den Aufwand der Kfz-Komponentenmessverfahren betrachtet. Außerdem wird die benötigte Vorwärtsleistung bei den Störfestigkeitstests diskutiert. Folgende Messverfahren wurden betrachtet: Feldeinkopplung in der Absorberhalle der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, BCI-Messverfahren und Streifenleiter.

2 Untersuchung eines realen Objektes (Autoradio)

Ein gebrauchtes Autoradio mit dem dazugehörigen Kabelbaum wurde als Prüfling hergenommen. An dem Autoradio wurde der Strom an der Geräteschnittstelle mit Hilfe einer Stromzange bei allen benannten Messverfahren gemessen.

2.1 Fernfeldeinkopplung

In [1] wird der Messaufbau und das Verfahren zur Prüfung der Störfestigkeit von elektrischen/elektronischen Unterbaugruppen gegen elektromagnetische Strahlung beschrieben (siehe Abb. 1).

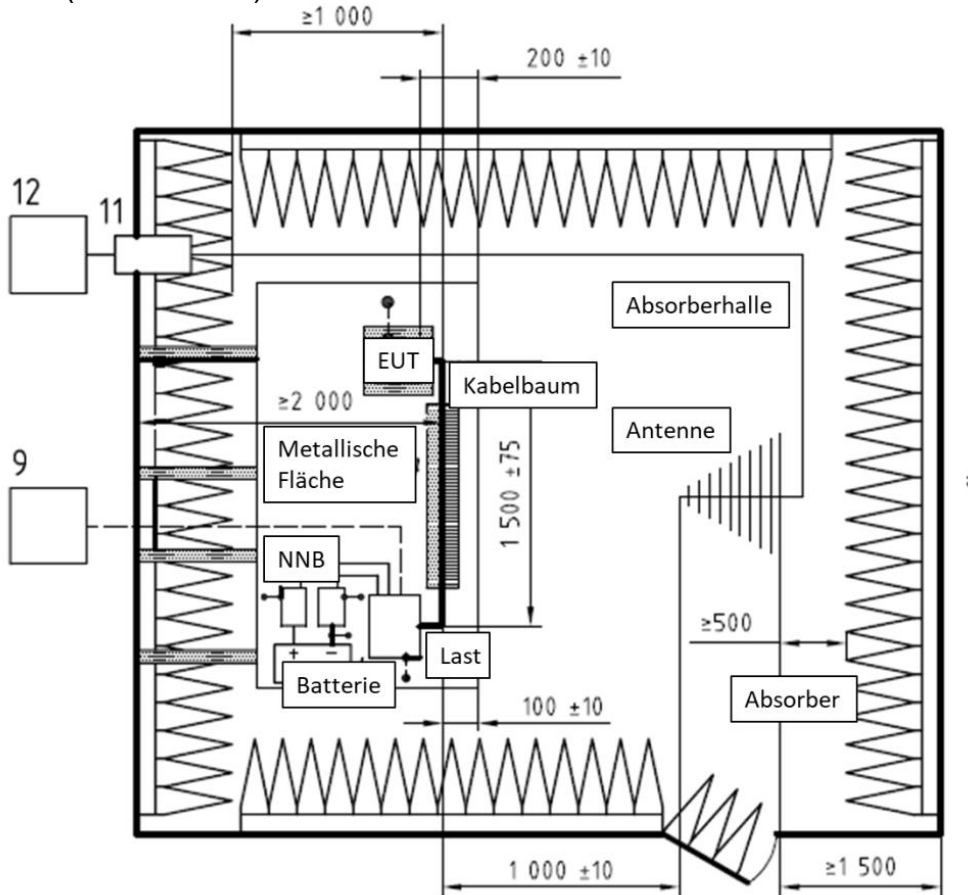


Abb. 1: Messaufbau für die Störfestigkeit nach [1]

Gemäß [1] soll der Prüfling auf eine metallische Grundplatte (min. 1 m × 2 m) in einer Höhe von 900 ± 100 mm über dem Boden installiert werden. Diese Platte soll mit der Bodenplatte verbunden werden. Die Stromversorgungskabel des Prüflings sollen über Netznachbildungen an die Stromversorgung angeschlossen werden. Die Länge des Kabelbaums des Prüflings soll parallel zur Vorderkante der Grundplatte 1500 ± 75 mm betragen. Die Gesamtlänge des Verbindungskabels zwischen dem Prüfling und dem Lastsimulator darf 2000 mm nicht überschreiten. Der Abstand zwischen Kabelbaum und Antenne muss 1000 ± 10 mm betragen.

Das Autoradio wurde auf einer geerdeten Bezugsplatte platziert und durch eine Autobatterie über zwei Kfz-Netznachbildungen versorgt. Der Prüfling wurde mit Hilfe von zwei Antennen und passenden Verstärkern von 20 MHz bis 1 GHz mit einem Prüflevel von 100 V/m (Testlevel IV) in der 10 m-Absorberhalle der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg bestrahlt. Die Antennenhöhe betrug 110 mm. Für den Frequenzbereich 20 MHz – 100 MHz wurde die Antenne R&S HK5000 und der Verstärker BTA0122-3000 der Firma Bonn Elektronik und für den Frequenzbereich 100 MHz – 1 GHz die Antenne AR AT1080 und der Verstärker AR 1000W1000E verwendet. Das Feld wurde in der Ebene, in der sich der Kabelbaum befindet, kalibriert. Der Strom an der Schnittstelle des Autoradios wurde mit der Stromsonde FCC F-2000 gemessen. Die Stromsonde war mit Hilfe eines dämpfungsarmen Kabels mit dem Empfänger im Messraum verbunden.

Dieses Kabel wurde mit 12 Klappferriten für unterschiedliche Frequenzbereiche entkoppelt. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen den Messaufbau für die Prüfung der Störfestigkeit des Autoradios gegen elektromagnetische Felder in horizontaler und vertikaler Polarisation für die beiden Frequenzbereiche.

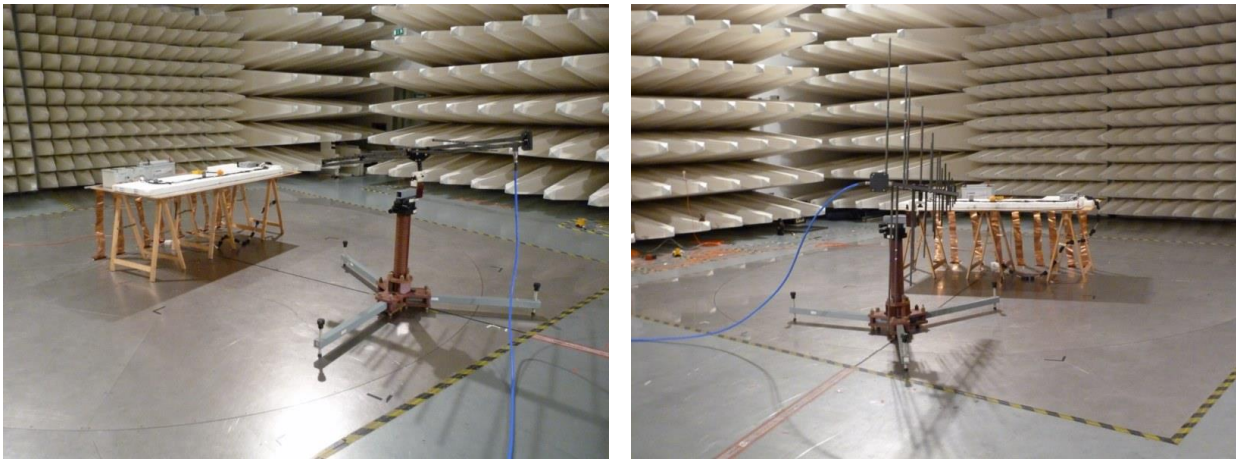


Abb. 2: Messaufbau für die Störfestigkeit des Autoradios nach [1], Frequenzbereich 100 MHz – 1 GHz

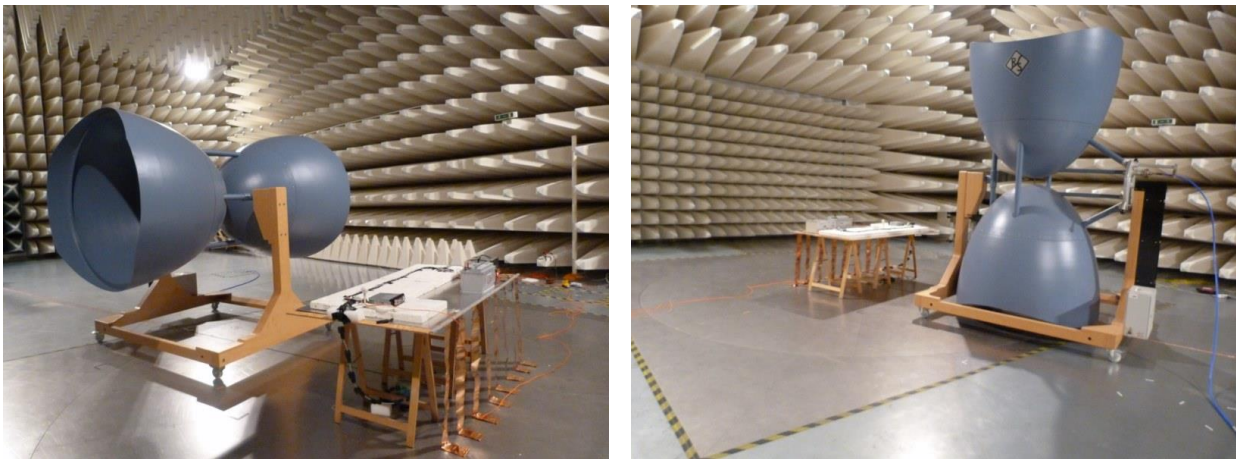


Abb. 3: Messaufbau für die Störfestigkeit des Autoradios nach [1], Frequenzbereich 20 MHz – 100 MHz

2.2 BCI-Messverfahren

Das BCI-Messverfahren wird häufig verwendet, um die Störfestigkeit elektrischer/elektronischer Systeme gegenüber externen Störungen zu überprüfen. Die Norm ISO 11452-4 [2] legt das BCI-Messverfahren zum Prüfen der Störfestigkeit von Unterbaugruppen in der Automobilindustrie fest. In Abb. 4 ist ein allgemeiner Messaufbau schematisch dargestellt. Gemäß der Norm basiert die BCI-Testmethode auf der Einspeisung hochfrequenter Ströme in den Kabelbaum mit Hilfe einer Koppelzange. Immunitätstests werden durchgeführt, indem der Pegel und die Frequenz des eingespeisten Testsignals variiert werden, auf die das zu testende Gerät mit einer Fehlfunktion reagiert.

Gemäß [2] soll die Mindestgröße der Grundplatte 1000 mm × 1500 mm betragen und in einer Höhe von 900±100 mm über dem Boden positioniert werden. Der Prüfling ist auf einem nichtleitenden Material 50±5 mm über der Grundebene anzuordnen. Die Injektionszange ist in den Abständen 150 mm, 450 mm und 750 mm vom Anschluss des Prüflings anzubringen.

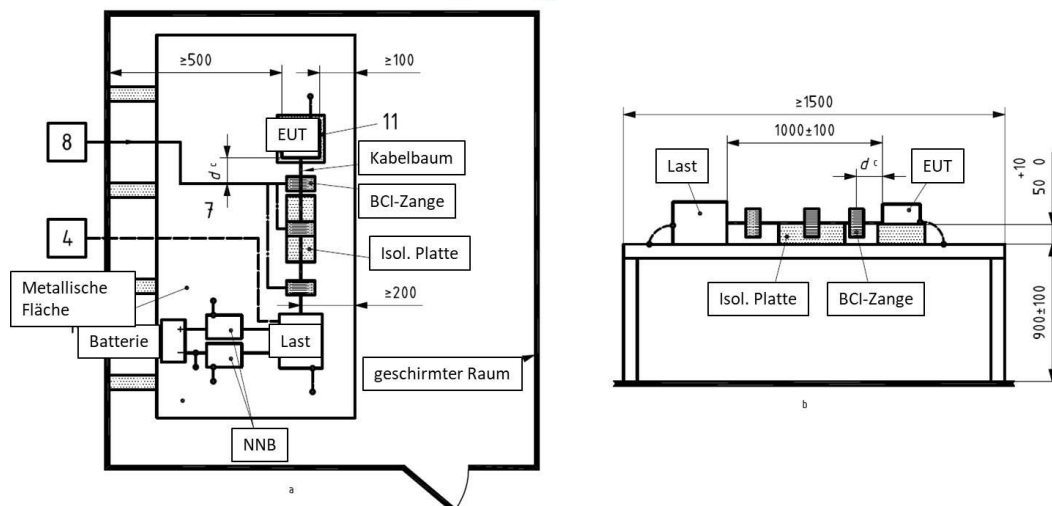


Abb. 4: Messaufbau für das BCI-Messverfahren nach [2]

Abb. 5 zeigt den Messaufbau für das BCI-Verfahren am Prüfling Autoradio. Die Stromzange FCC F-140 wurde für die Einspeisung und die Sonde FCC F-2000 für die Strommessung an der Geräteschnittstelle verwendet. Die Einspeisezange wurde mit dem Generator NSG 4070 der Firma Teseq über ein dämpfungsarmes Kabel verbunden. Es wurde der Prüflevel III im Frequenzbereich von 1 MHz – 400 MHz verwendet.

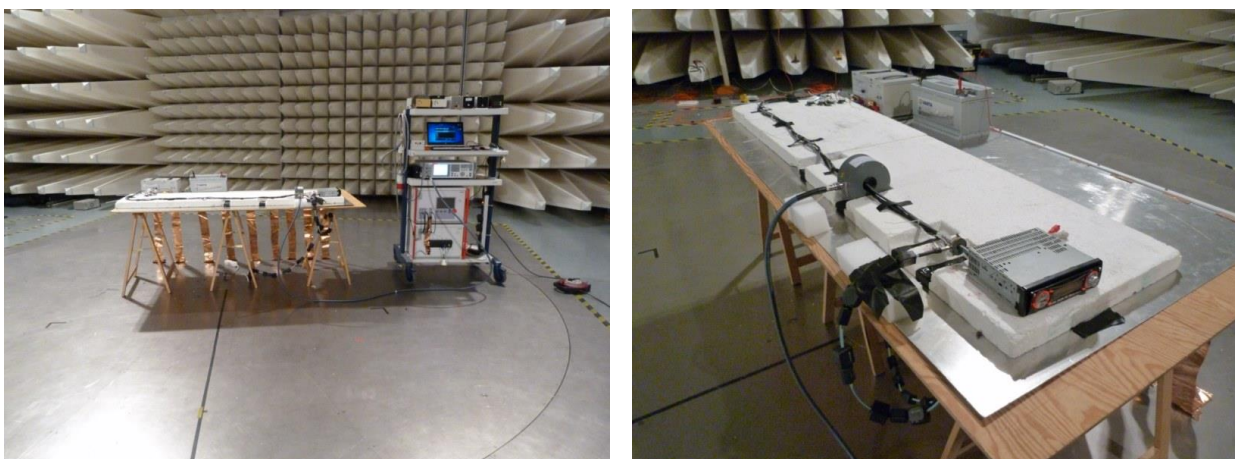


Abb. 5: Messaufbau für BCI auf den Kabelbaum des Autoradios nach [2]

2.3 Streifenleiter-Messverfahren

Der Streifenleiter bietet die Möglichkeit, Störfestigkeits- und Störaussendungsmessungen durchzuführen. Diese Methode wird in der EMV hauptsächlich im Kfz-Bereich angewendet. Der Aufbau eines Streifenleiters basiert auf den geometrischen Maßen der Leiterstruktur. Abhängig von der Wellenimpedanz des Leiters stehen die Höhe und die Breite des Septums in einem bestimmten Verhältnis. Im Prüfvolumen kann davon ausgegangen werden, dass die Feldstärke über einen gewissen Frequenzbereich homogen ist. Abb. 6 zeigt den Messaufbau für das Streifenleiter-Messverfahren nach der Norm ISO 11452-5 [3].

Zur Prüfung der Störfestigkeit des Autoradios wurde der Streifenleiter in der Absorberhalle der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg verwendet. Der Tisch besteht im Wesentlichen aus einer leitenden Grundplatte (Massefläche), dem Septum und zwei

inhomogenen Koaxialleitern, die zur Anpassung der Wellenimpedanzen der zwei Systeme dienen. Die Messgeräte basieren auf einer Wellenimpedanz von 50Ω . Der Streifenleiter hingegen hat eine Wellenimpedanz von 90Ω , was gewisse Vorteile für die Feldeigenschaften bewirkt.

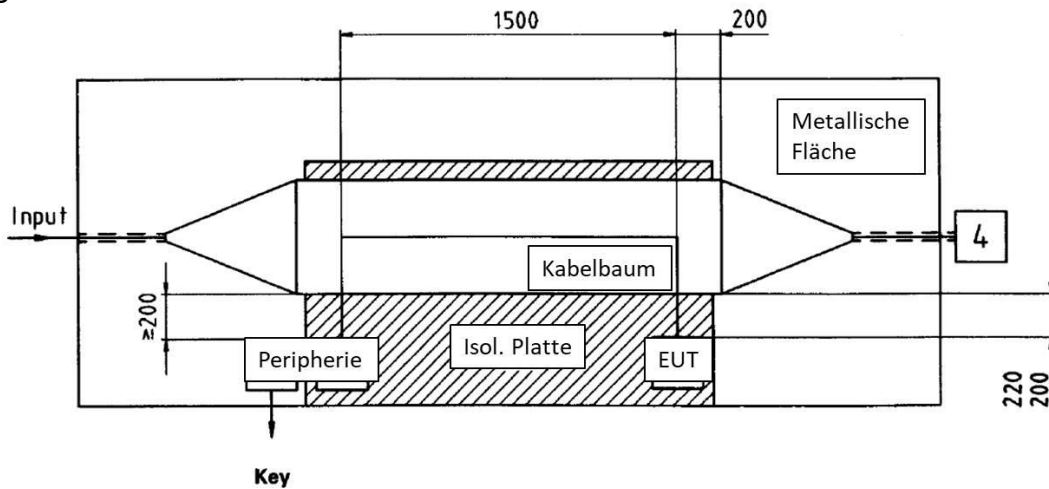


Abb. 6: Messaufbau für das Streifenleiter-Messverfahren nach [3]

Der Verstärker BTA0122-3000 für den Frequenzbereich $1 \text{ MHz} - 100 \text{ MHz}$ und der Verstärker AR 1000W1000E für den Frequenzbereich $100 \text{ MHz} - 1 \text{ GHz}$ sowie der Signalgenerator R&S SMB100A und die Feldsonde Narda EMC300 wurden verwendet. Der Kabelbaum wurde im Frequenzbereich von $1 \text{ MHz} - 1 \text{ GHz}$ mit 200 V/m und 400 V/m beaufschlagt.

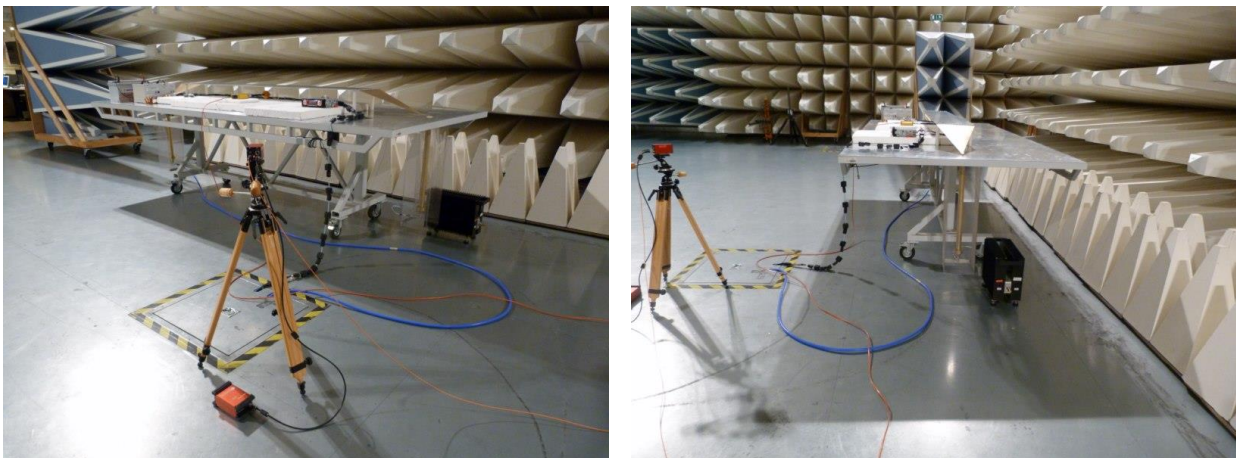


Abb. 7: Messaufbau für das Streifenleiter-Messverfahren des Autoradios nach [3]

2.4 Vergleich der Messergebnisse

Um die drei vorgestellten Messverfahren miteinander zu vergleichen, wurde der Strom an derselben Stelle der Radio-Schnittstelle für die benannten Frequenzbereiche, gemessen mit Hilfe der gleichen Geräte und Einstellungen, bewertet. Es wurde einmal über alle Leitungen gemessen und zusätzlich über alle Signalleitungen ohne die Stromversorgungsleitungen. Abb. 8 und Abb. 9 zeigen den gemessenen Strom bei den drei Messverfahren für den Frequenzbereich von $20 \text{ MHz} - 1 \text{ GHz}$ (Ausnahme: BCI-Verfahren bis 400 MHz). Die rosafarbene Linie stellt das Maximum des Stromes von allen 3 Positionen der Einspeisezange dar. Die blaue Kurve zeigt den maximalen Strom aus der vertikalen und horizontalen Polarisierung der Sendeantenne. Den Diagrammen ist zu

entnehmen, dass beim Streifenleitertest fast im gesamten Frequenzbereich die höchste Stromamplitude an der Geräteschnittstelle auftritt. Für 400 V/m Feldstärkepegel ist im höheren Frequenzbereich die Stromstärke doppelt so hoch wie für 200 V/m. Die Kabelbaumresonanzen sind bei allen Verfahren deutlich erkennbar.

Bei allen drei Verfahren wurde auch die notwendige Wirkleistung am Ausgang des Verstärkers für den jeweiligen Prüfschärfegrad gemessen. Es wurde festgestellt, dass die benötigte Wirkleistung für die Feldeinkopplung bis zu 150 mal höher ist als für den Streifenleiter. Beim BCI-Verfahren muss bis zu 14 mal weniger Leistung als für den Streifenleiter aufgewendet werden, um eine ähnliche Stromamplitude zu erreichen (siehe Abb. 10).

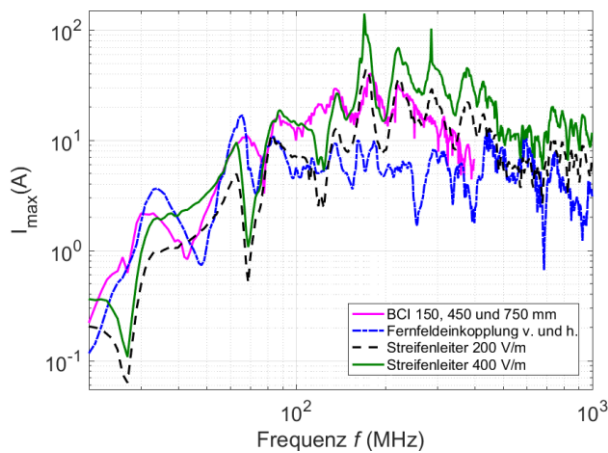


Abb. 8: Gemessener Strom an der Geräteschnittstelle des Radios, gesamter Kabelbaum

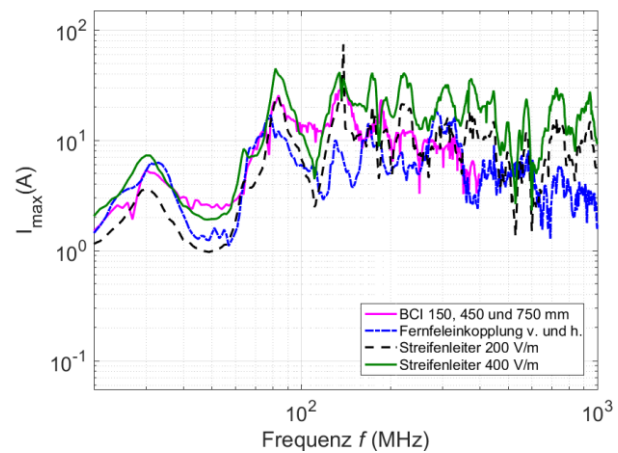


Abb. 9: Gemessener Strom an der Geräteschnittstelle des Radios, nur Signalleitungen

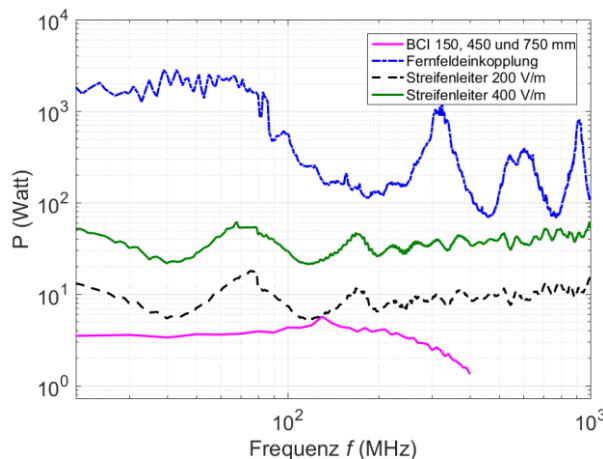


Abb. 10: Notwendige Leistung für den jeweiligen Prüfschärfegrad der drei Messverfahren

Vergleicht man die gemessenen Stromstärken von allen drei Verfahren sowie die dafür benötigte Leistung, wird ersichtlich, dass der Prüfling im Streifenleiter am stärksten gestresst wird, und dabei weniger als 60 W Wirkleistung benötigt wird. Dieses Verfahren stellt sich als geeignetes Verfahren für den betrachteten Frequenzbereich heraus, besonders in der Entwicklungsphase der Geräte oder Systeme. Trotzdem verzichten Autohersteller in ihren Werksnormen auf dieses Messverfahren oder geben es als alternatives Messverfahren an.

Vergleicht man die Stromverläufe in Abb. 8 und Abb. 9, stellt man fest, dass sie abhängig von den Leitungen sind, die die Strommesszange umschloss. Man kann vermuten, dass

die Stromverläufe nur für diesen Prüfling (Autoradio) gelten und nicht verallgemeinert werden können. Aus diesem Grund wurde zusätzlich ein einfacher passiver Prüfling in Form einer 50 W Leuchte untersucht. Die Zuleitung der Leuchte hatte die gleiche Länge wie der Kabelstrang am Autoradio.

3 Untersuchung eines passiven Prüflings (Leuchte)

Für eine deutlichere Bewertung der Messergebnisse wurde der Strom an der Leuchte bei allen betrachteten Verfahren gemessen. Dargestellt sind nur die Messaufbauten für das BCI- und das Streifenleiterverfahren (siehe Abb. 11 und 12).

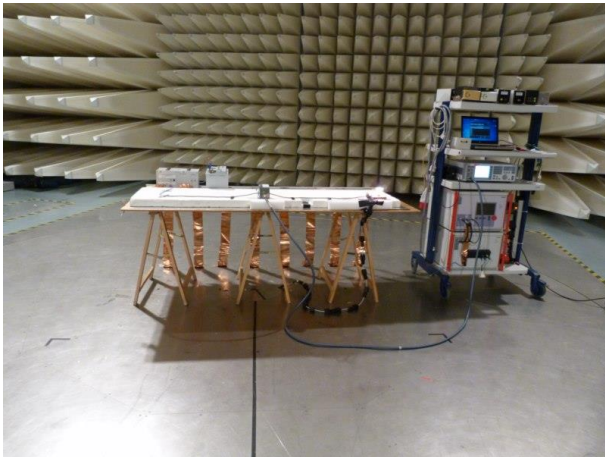


Abb. 11: Messaufbau für das BCI-Messverfahren mit der Leuchte nach [2]

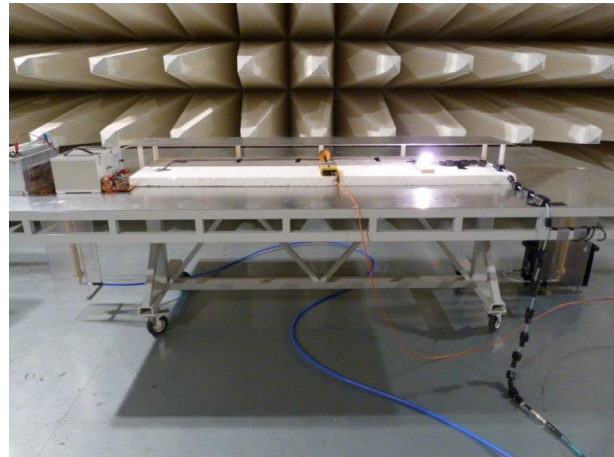


Abb. 12: Messaufbau für das Streifenleiter-Messverfahren mit der Leuchte nach [3]

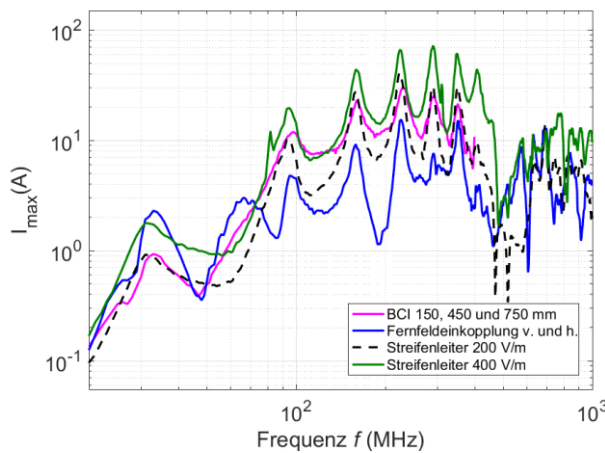


Abb. 13: Gemessener Strom an der Leuchte, Leitungen „Plus“ & „Minus“

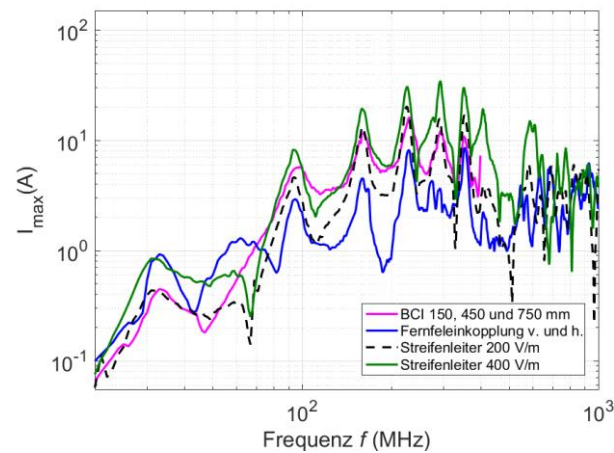


Abb. 14: Gemessener Strom an der Leuchte, Leitung „Plus“

Gemessen wurde der Strom einmal auf Plus- und Minusleitung zusammen und einmal nur auf der Plusleitung (siehe Abb. 13 und 14). Die Stromverläufe inklusive der Resonanzen sind ähnlich denen für das Autoradio. Die Amplituden sind etwas niedriger, da die Impedanz der Leuchte höher ist als die Impedanz der Schnittstelleneingänge am Autoradio.

4 Zusammenfassung

Die Störfestigkeit eines realen Objektes „Autoradio“ wurde anhand von drei Messverfahren (Fernfeldeinkopplung, BCI und Streifenleiter) geprüft. Der Strom an der Geräteschnittstelle wurde ermittelt. Es wurde festgestellt, dass bei der Einkopplung über den Streifenleiter fast im gesamten Frequenzbereich die höchste Stromamplitude an der Geräteschnittstelle auftritt, während für einen Großteil des Frequenzbereiches die niedrigste Stromstärke bei der Fernfeldeinkopplung registriert wurde. Trotzdem ist die benötigte Leistung dafür bis zu 150 mal höher als für den Streifenleiter. Die benötigte Leistung für das BCI-Verfahren ist bis zu 14 mal geringer als für den Streifenleiter für eine vergleichbare Stromamplitude. Es wird deutlich, dass das Streifenleiter-Verfahren die härtere Prüfung für ein Gerät darstellt, wobei eine Leistung von weniger als 60 W für 400 V/m benötigt wird. Dieses Verfahren ist damit ein geeignetes Messverfahren für Kfz.

Um die Abhängigkeit der Stromamplitude von der Eingangsimpedanz des Prüflings zu ermitteln, wurde zusätzlich ein einfacher passiver Prüfling (ohm'sche Last) untersucht. Es wurden die 3 genannten Verfahren mit den gleichen Leistungspegeln angewandt. Dabei zeigte sich, dass der gemessene Stromstärkepegel für BCI- und Streifenleiter-Verfahren in der gleichen Größenordnung liegt. Abweichend ist auch hier der niedrige Pegel bei der Feldeinkopplung.

5 Literatur

- [1] ISO 11452-2: Straßenfahrzeuge - Elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie - Prüfverfahren für Komponenten - Teil 2: Absorberraum
- [2] ISO 11452-4: Straßenfahrzeuge - Komponentenprüfungen, Methoden für die Bestimmung elektrischer Störungen durch kurzweilige elektromagnetische Energieabstrahlungen - Teil 4: Methode zur Anregung des Kabelbaumes
- [3] ISO 11452-5: Straßenfahrzeuge - Komponentenprüfverfahren für elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie - Teil 5: Streifenleitung
- [4] S. Pignari und F. G. Canavaro, „On the equivalence between radiation and injection in BCI testing“, IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., Mai 1997, S. 179-182
- [5] S. Razavi, S. Miropolsky und S. Frei, „Verbesserung der Korrelation zwischen dem BCI- und dem Antennenprüfverfahren für Kfz-Komponenten durch Anpassung von Verstärkerleistung und Position der BCI-Zange“, EMV-Konferenz Düsseldorf, März 2014
- [6] F. Grassi, G. Spadacini, F. Marliani und S. A. Pignari, „Use of Double Bulk Current Injection for Susceptibility Testing of Avionics,“ IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 50, August 2008, S. 524-535
- [7] J.-R. K. Kuvedu-Libla, Testmethoden und ihre Komplexität in der Kraftfahrzeugs-technik“, EMV-Konferenz Düsseldorf, Februar 2012
- [8] M. Al-Hamid, R. Vick, M. Krüger, P. Wollmann, „Application Limits of a Stripline for Immunity Tests on Road Vehicle components“, EMC Europe Dresden, August 2015
- [9] P. Reiser, „Untersuchung der Common-Mode und Differential-Mode Abstrahlung von Kabeln mit der Stripline-Methode und im Absorberraum“, EMV-Konferenz Düsseldorf, Februar 2016