

# Vergleichende Bewertung verschiedener normativer Störemissionsmessungen an einem Elektrofahrzeug

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

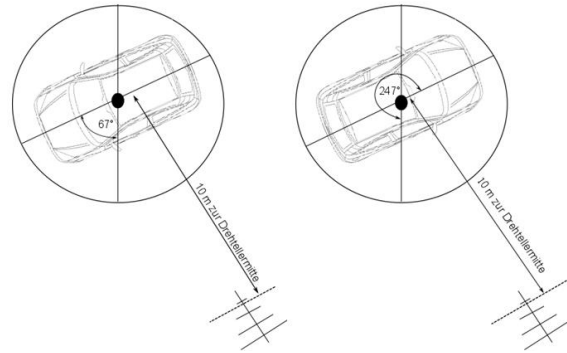
## 1 Einleitung

Steile Taktflanken aufgrund der schnell schaltenden Leistungshalbleiter des Bordwechselrichters, sowie umgesetzte Leistungen im 100-kW-Bereich lassen das Hochvoltbordnetz zu einer hochfrequenten Störemissionsquelle werden [1]. Doch nicht nur während des Fahrbetriebs ist das Elektrofahrzeug Quelle unerwünschter Emissionen, auch während des Ladebetriebs treten elektromagnetische Störungen auf, die bisher nicht betrachtet werden mussten. Hierfür wurden die EMV-Normen für Kraftfahrzeuge um Prüfungen der Störemission [2, 3] während des Ladebetriebes erweitert. In diesem Beitrag werden die Emissionen eines Elektrofahrzeugs während des Lade- und Fahrbetriebs unter dem Gesichtspunkt der Prüfmethode untersucht. Anschließend werden die Einschränkungen bezüglich des Mess-Setups der KFZ-Norm diskutiert. In vielen Messhallen besteht die Notwendigkeit, die Messachse zu ändern, wenn nach [2] gemessen wird. Da Messumgebungen meist nur für eine Achse durch das genormte NSA-Verfahren kalibriert sind, wurden Dämpfungsmessungen aller verwendeten Messachsen mit definierten Antennen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse sind im Beitrag enthalten. Abschließend wurde die Funkstörspannung im Ladebetrieb nach zwei unterschiedlichen Normen [3, 4] gemessen.

## 2 Messung der gestrahlten Emission

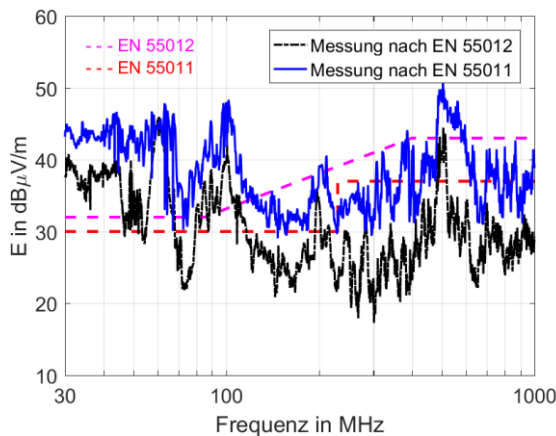
### 2.1 Vergleich nach normierten Messmethoden

Die gestrahlten Emissionen von Kraftfahrzeugen wurden nach [2] gemessen. In dieser Norm ist vorgeschrieben, dass die Störemissionen in 10 m Abstand von der Karosserie in Richtung Referenzpunkt des Fahrzeuges gemessen werden. Dieser befindet sich in der Mitte der vorderen Drehachse des Kraftfahrzeugs. Die Norm sieht jeweils für die Fahrer- und Beifahrerseite einen Messaufpunkt in 3 m Antennenhöhe für vertikale und horizontale Polarisierung vor. Da bei dieser Messung nur 4 Messpositionen vorgesehen sind, wurden die Emissionsmessungen für das Fahrzeug zusätzlich nach Industrienorm [4] durchgeführt. Die Messung der maximalen Funkstörfeldstärke erfolgte durch eine Variation der Antennenhöhe in 11 Schritten (je 30 cm) zwischen 1 m und 4 m und der Drehrichtung des Prüflings zur Antenne in 12 Schritten (je 30°), wodurch die Strahlungscharakteristik für das Gesamtfahrzeug erfasst werden kann. Sowohl für die Messungen nach [2], als auch nach [4], wurde ein Messaufbau gewählt, der dem in der KFZ-Norm [2] ähnelt, jedoch einen Messabstand von 10 m zum Zentrum des Drehtellers aufweist und nicht zur Karosserie. Wobei der Mittelpunkt des Fahrzeuges identisch mit dem Zentrum des Drehtellers ist. In Abb. 1 wird der Messaufbau für die Messung nach [2] und [4] dargestellt. Ein Vergleich der Messergebnisse nach [2] und [4] ist in Abb. 2 zu sehen.



Automodell: <http://cad-markt.de/>

**Abbildung 1:** Messaufbau nach [2] und [4]



**Abbildung 2:** Vergleich der Messergebnisse nach [2] und [4]

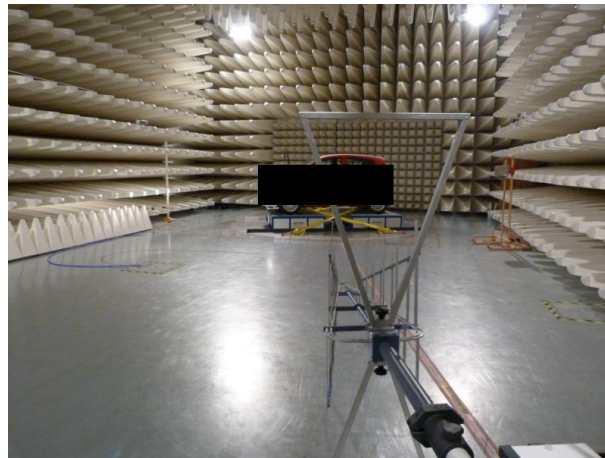
Die Störemissionsmessung wurde unter folgenden Bedingungen durchgeführt: Das Abblendlicht, der Warnblinker, die Scheibenwischer, die Zündung und der Motor sind angeschaltet. Das Fahrzeug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 40 km/h auf einem Rollenprüfstand der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Die in Abb. 2 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass nach [4] über das gesamte Spektrum höhere Emissionen gemessen werden können. In Einzelfällen, wie bei 386 MHz (4m, 210°, vertikale Polarisation: 37° Abweichung von der Beifahrerseite) und 630MHz (2,8m, 180°, vertikal: 67° Abweichung von der Beifahrerseite), beträgt die Überhöhung zu [2] ca. 20 dB. Grund hierfür sind die 264 Messpositionen nach [4] gegenüber vier Messpositionen nach [2]. Es zeigt sich, dass das Fahrzeug im Frequenzbereich von 55 MHz bis 65 MHz die maximale Störemission nach [2] auf der Fahrerseite in drei Meter Höhe aufweist, welche in der Messung nach [4] enthalten ist.

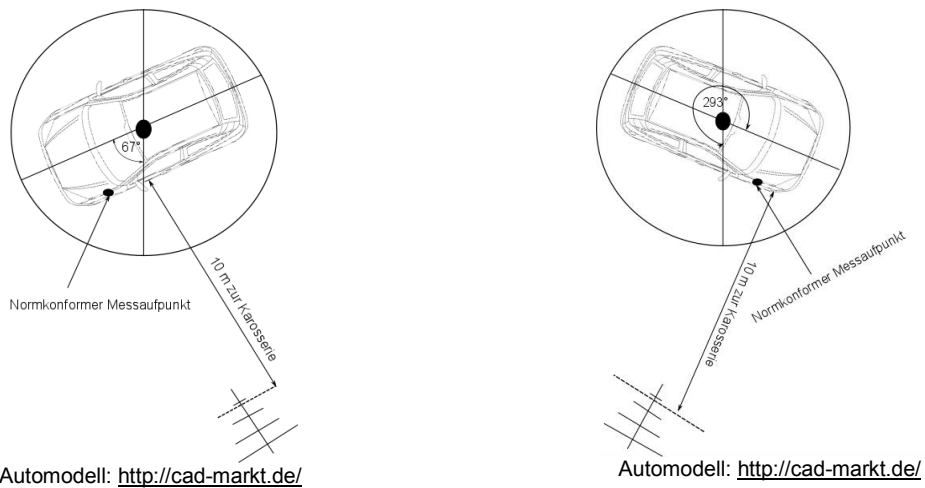
## 2.2 Einschränkungen des Mess-Setups nach KFZ-Norm

Der Messplatz der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ist nur für eine Messachse nach [5] normiert. Die Ermittlung der Messplatzdämpfung (NSA) erfolgt auf Grund des hohen Zeitaufwands für die meisten Absorberhallen nur für eine Messachse. Die bisherigen Messungen erfolgten entlang dieser Achse. Durch den festen Platz des Rollenprüfstandes können die Kriterien nach [2] bezüglich der Referenzpunkte mit nur einer Messachse nicht erfüllt werden. Um dieses Problem zu umgehen, wurden Messachsen verwendet, die nicht nach [5] normiert sind, siehe Abb. 4 und Abb. 5. Im Folgenden erhalten die einzelnen Mess-Setups eine

Bezeichnung aus einem Buchstaben und einer Zahl. Für jeden Messaufbau wurde ein Antennenabstand von 10 m zur Karosserie gewählt.



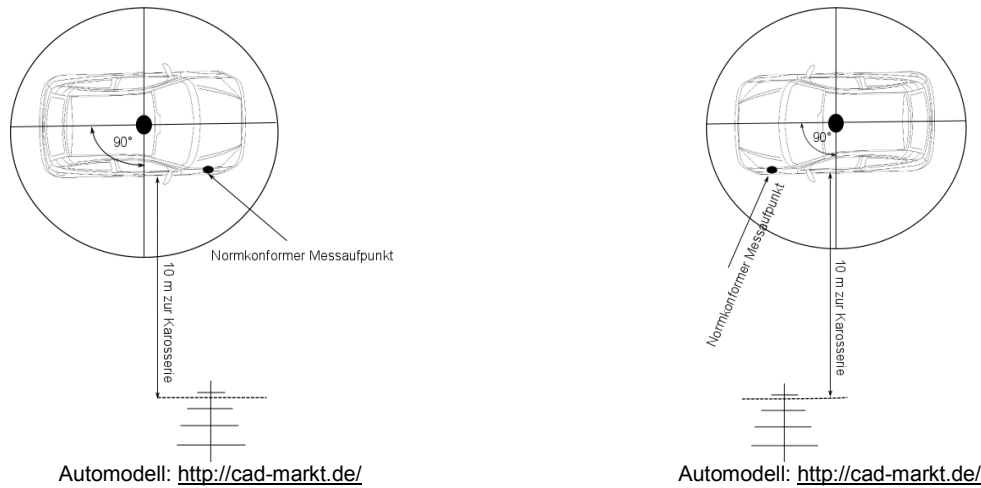
**Abbildung 3:** Messaufbau M3 nach [2] mit normgerechtem Messaufpunkt



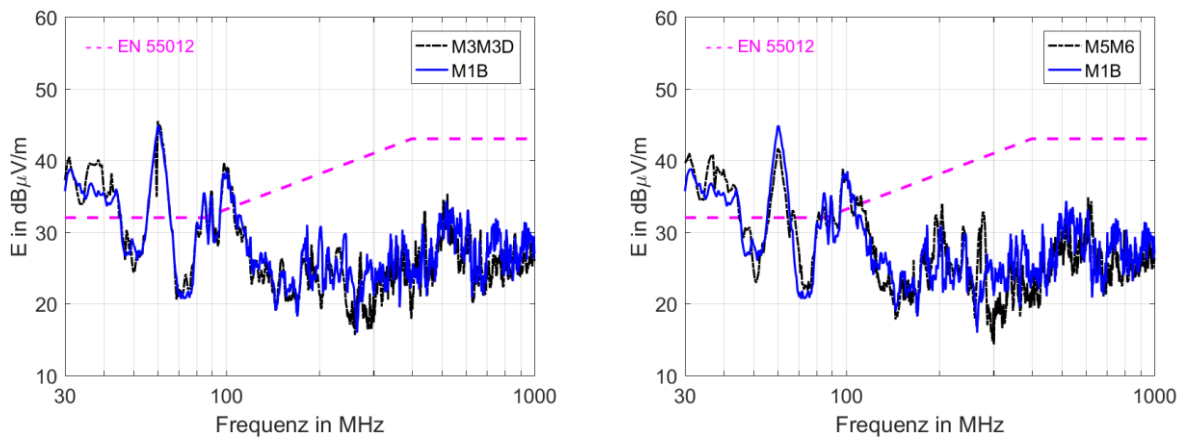
**Abbildung 4:** Messaufbau M3 bei 67° (links) und Messaufbau M3D bei 293° (rechts)

Für den in Abb. 4 dargestellten Messaufbau M3 wurde eine Messachse parallel zur NSA-Achse gewählt, um die Emissionen auf der Fahrerseite zu messen. Die Emissionen der Beifahrerseite wurden über eine Antennenposition in der gegenüberliegenden Ecke gemessen.

Bei dem in Abb. 5 dargestellten Messaufbau steht die Messantenne orthogonal zur rückwärtigen Absorberhallenwand. Für eine Referenzmessung M1B wurde die Antenne entlang der normierten Messachse nach hinten verschoben, so dass ein Messabstand von 10 m zur Karosserie entstand.



**Abbildung 5:** Messaufbau M5 bei 270° (links), und M6 bei 270° (rechts)



**Abbildung 6:** Vergleich der Messergebnisse für Position M3M3D (links) und M5M6 (rechts) mit M1B

In Abb. 6 **Abbildung 6** ist zu sehen, dass die Abweichungen zur Referenzachse, bis auf einzelne Ausnahmen, sehr gering sind. Beide Testpositionen weisen die stärksten Abweichungen zur Referenzachse im Frequenzbereich um 300 MHz auf. Die Emissionen von Messposition M3M3D haben einen Einbruch bei 60 MHz. Bei 40 MHz weisen die Emissionen von M3M3D eine Überhöhung gegenüber der Referenzmessung auf. Um die Ursache der Abweichungen auf den Prüfling oder den Messaufbau zurückführen zu können, wurden Messungen mit definierten Antennen vorgenommen.

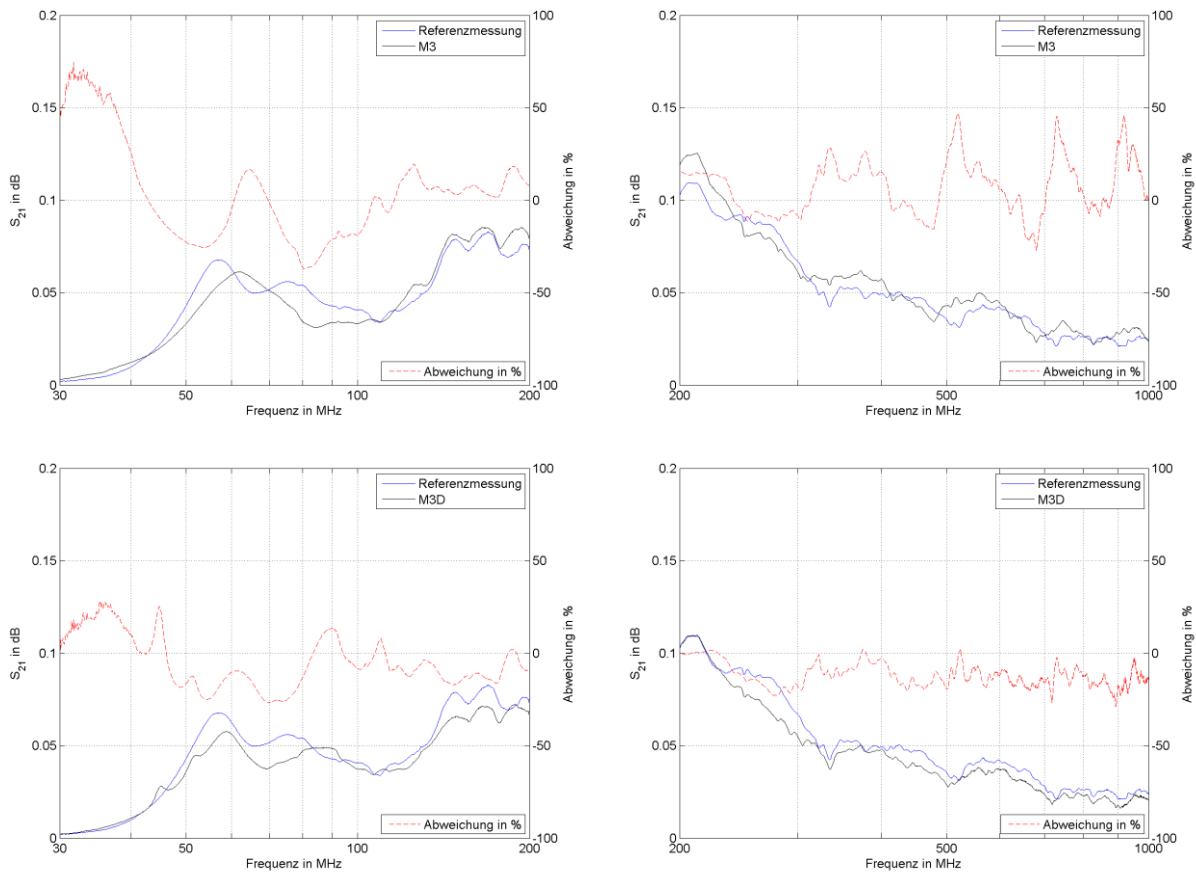
### 2.3 Untersuchung der Mess-Setups mit definierten Antennen

Als Ersatz für den Prüfling wurde, für die jeweiligen Frequenzbereiche, eine bikonische und eine logperiodische Antenne mit definiertem Pegel verwendet, siehe Abb. 7. Die Sendeantenne befindet sich in der Mitte des Drehtellers (Referenzmessung) oder im Referenzpunkt des Fahrzeuges für die Fahrer- und die Beifahrerseite. Die Empfangsantenne befindet sich für jede verwendete Messachse in 3 m Höhe. Für die Position M3 gibt es bei der Messung über den gesamten Frequenzbereich sehr hohe Abweichungen zur Referenzposition, wie in Abb. 8 (oben) gesehen werden kann. Bei Position M3D (Abb. 8 unten) fallen die Abweichungen deutlich geringer aus. Da die beiden Positionen zusammengehören,

ist dieser Messaufbau ungeeignet für eine normgerechte Auswertung der Störemissionen.



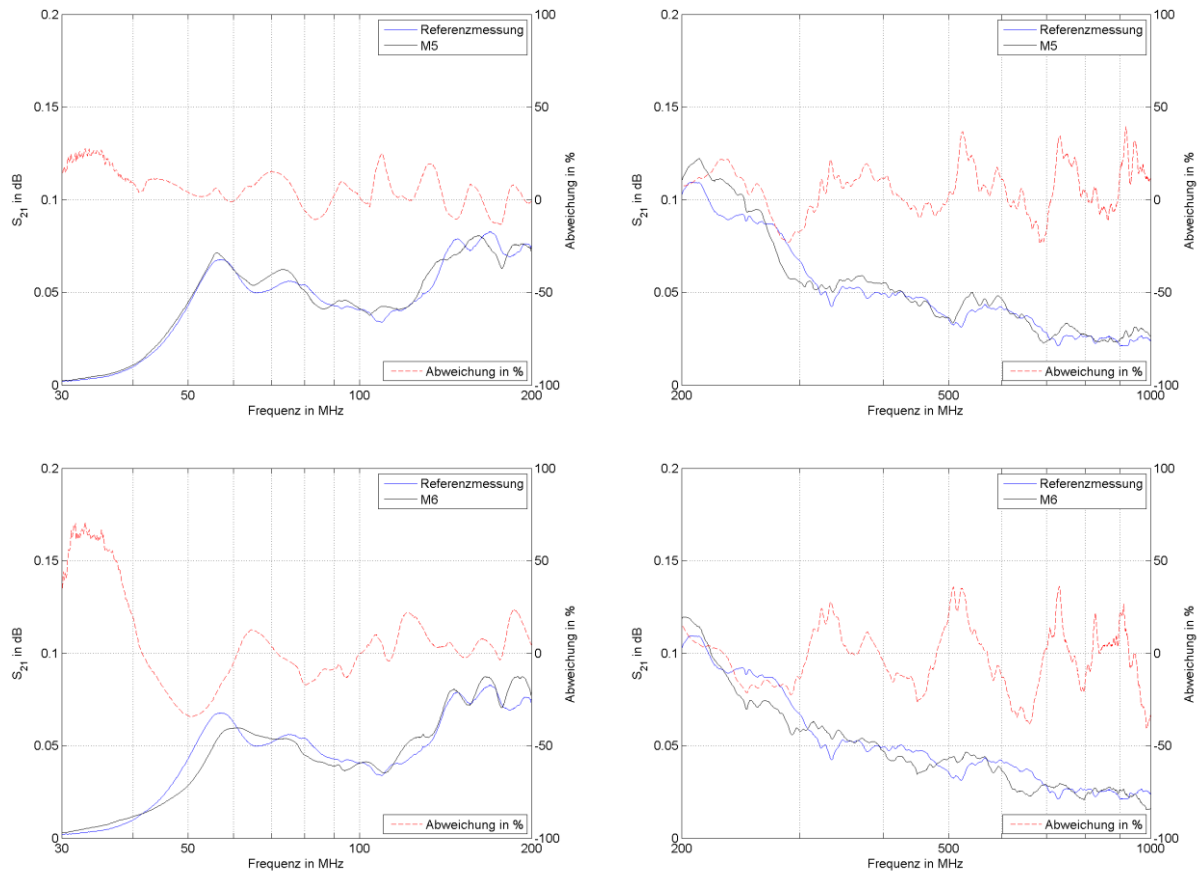
**Abbildung 7:** Messung mit definierten Antennen auf der Referenzachse (links) und für Position M3 (rechts)



**Abbildung 8:** Abweichung zur Referenzmessung der Positionen M3 (oben) und M3D (unten)

Bei Position M5 ist die Abweichung im niedrigen Frequenzbereich gering, während die Abweichung im höheren Frequenzbereich zunimmt. Die Abweichung von Position M6 ist über den gesamten Frequenzbereich hoch, so dass auch dieser Messaufbau ungeeignet ist.

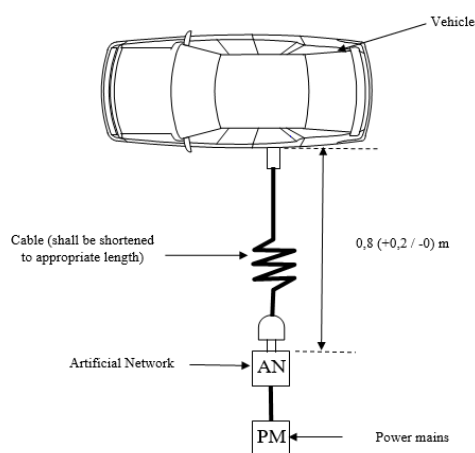




**Abbildung 9:** Abweichung zur Referenzmessung der Positionen M5 (oben) und M6 (unten)

### 3 Messung der leitungsgebundenen Emission

#### 3.1 Vergleich nach normierten Messmethoden

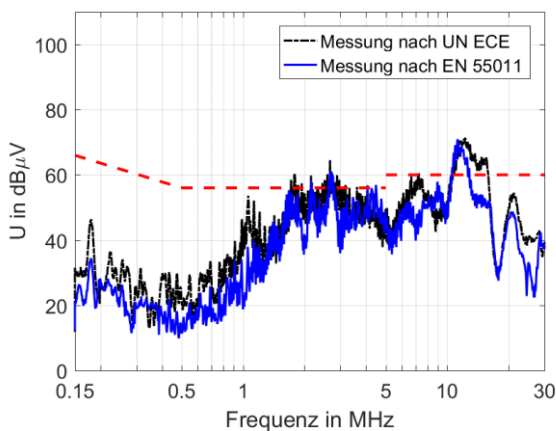


**Abbildung 10:** Normierter Messaufbau nach UN: E/ECE/324 [3]

Die leitungsgebundenen Störemissionen von Kraftfahrzeugen werden nach [3] durchgeführt. Die Norm schreibt vor, dass das Netzkabel in 10 cm Abstand zu der Karosserie und dem leitenden Boden zu verlegen ist, siehe Abb. 11 (links). In diesem Versuch wurde das Mess-Setup höhenvariiert. Neben der normkonformen Messung in 10 cm Höhe über der leitenden Ebene wurden Messungen mit 40 cm Höhe nach [4] (Abb. 11 rechts) und mit 80 cm Höhe durchgeführt. Ziel war es, einen möglichen Einfluss der Leitungshöhe auf das Messergebnis zu untersuchen.



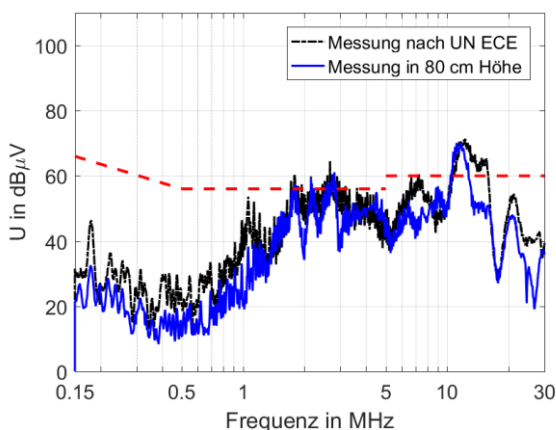
**Abbildung 11:** Messaufbau nach [3] (links) und höhenvariiert (rechts)



Anhand der Messergebnisse in Abb. 12 ist zu sehen, dass der Messaufbau nach [3] höhere Störspannungen aufweist. Bei einigen Frequenzbereichen, wie z. B. zwischen 8 MHz bis 10 MHz, ist der Störspannungspegel auf L1 nach [4] höher.

**Abbildung 12:** Geleitete Emission nach [3] und [4] im Ladebetrieb auf L1

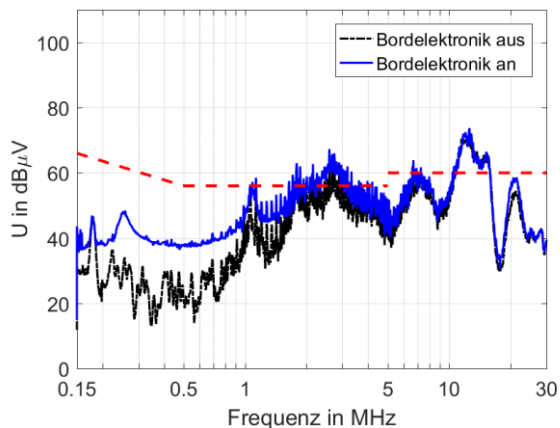
### 3.2 Einfluss des Mess-Setups auf geleitete Störungen



**Abbildung 13:** Geleitete Emission nach [3] und in freier Konfiguration im Ladebetrieb auf L1

Zusätzlich wurde eine weitere Kabelverlegung gewählt, bei der das Ladekabel direkt horizontal aus dem KFZ-Anschluss herausgeführt wurde. Das Kabel befand sich 80 cm über dem Boden. Der Vergleich in Abb. 13 zeigt ein ähnliches Verhalten wie in Abb. 12. Die Messung nach [3] weist über fast den gesamten Frequenzbereich einen höheren Störpegel auf. Auch hier tritt bei der abweichenden Konfiguration ein höherer Pegel im Frequenzbereich von 8 MHz bis 10 MHz auf.

Das Mess-Setup nach [3] weist, bis auf wenige Ausnahmen, einen kontinuierlich höheren Störpegel auf. Daraus kann abgeleitet werden, dass es eine geeignete Kabel-Konfiguration zur normierten Störspannungsmessung ist.



**Abbildung 14:** Vergleich reiner Ladebetrieb mit komplett eingeschalteter Elektronik plus Kompressor über Zigarettenanzünder

Für einen Vergleich mit höherem Abstand zur leitenden Ebene zeichnet sich das gleiche Bild ab wie zuvor bei der Messung nach [4].

Bei zusätzlicher Belastung durch die Bordelektronik erhöhen sich die Störsignale im niedrigen Frequenzbereich bis 1 MHz. Die Grenzwertkurve wird in diesem Frequenzbereich um bis zu 40 dB unterschritten. Für höhere Frequenzen ist der Einfluss der Ladevorrichtung dominierend und die alleinige Ursache für Grenzwertüberschreitungen.

#### 4 Zusammenfassung

Die Emissionen eines Elektrofahrzeugs wurden nach unterschiedlichen Prüfmethoden untersucht. Es zeigte sich, dass die Emissionen nach Industrienorm über das gesamte Spektrum mit ca. 20 dB höher sind. Es ist zu empfehlen, die Fahrzeuge aus mehreren Richtungen, und nicht nur die Fahrer- und Beifahrerseite zu prüfen, sowie in verschiedenen Antennenhöhen zu messen. Weiterhin wurde der Einfluss des Mess-Setups der KFZ-Norm untersucht, da es in vielen EMV-Messhallen notwendig ist, zusätzliche Messachsen zu verwenden. Es stellte sich heraus, dass die Abweichungen zur Referenzachse nicht gering sind. Um die Ursache dieser Abweichungen näher zu untersuchen, wurden Messungen mit definierten Antennen vorgenommen. Diesen Messergebnissen ist zu entnehmen, dass die Abweichungen durch die Verwendung anderer Messachsen über den gesamten Frequenzbereich hoch waren, so dass einige dieser Messaufbauten ungeeignet für die Störemissionsmessung sind. Abschließend wurden die leitungsgebundenen Störemissionen von dem Elektrofahrzeug untersucht. Neben der normkonformen Emissionsmessung in 10 cm Höhe über dem Boden wurden Messungen mit 40 cm Höhe und 80 cm Höhe durchgeführt. Es ist nur eine geringe Abweichung festzustellen.

#### 5 Referenzen

- [1] Zietz, „Messverfahren zur Bestimmung der EMV-relevanten Störanteile in Hochvolt-Bordnetzen von Kraftfahrzeugen“, Düsseldorf 2014
- [2] DIN EN 55012:2007, „Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte“
- [3] UN: E/ECE/324/Add.9/Rev.5, Regulation No. 10, 16. Oktober 2014
- [4] DIN EN 55011:2009, „Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte – Funkentstörung – Grenzwerte und Messverfahren“, April 2011
- [5] CISPR 16-1-4:2007, „Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4“