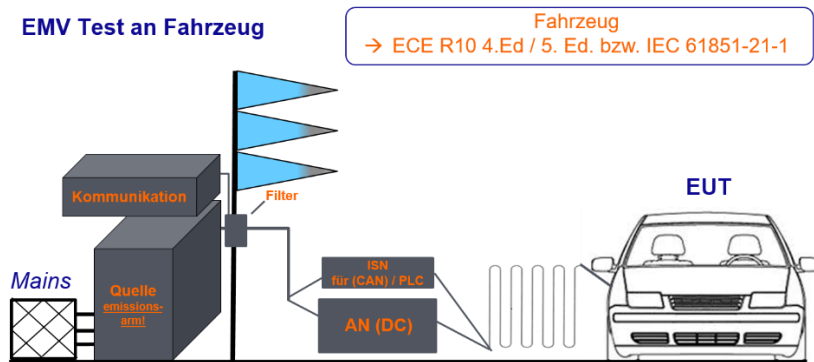


# Herausforderungen bei der Umsetzung von EMV-Prüfungen an Fahrzeugen im Anwendungsfall High Power DC Charging – Prüfung bei 80% Ladeleistung

Dipl.-Ing. Marc Maarleveld, EMC Test NRW GmbH, Deutschland  
Dr.-Ing. Sebastian Jeschke, Dipl.-Ing. Jörg Bärenfänger, EMC Test NRW GmbH,  
Deutschland

## 1. Einleitung

Die Verbreitung sowie Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen nimmt immer weiter zu. Um die Elektromobilität zum Erfolg zu führen sind mehrere Faktoren wichtig. Zum einen müssen die Elektrofahrzeuge hinsichtlich Ihrer Performance (Leistung, Reichweite, etc.) den Nutzer überzeugen. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit einer „komfortablen“ Lade-Infrastruktur unumgänglich. Hier spielt sowohl die Anzahl der installierten Ladesäulen als auch die verfügbare elektrische Ladeleistung und damit die notwendige Dauer eines ausreichenden Ladevorganges eine große Rolle. Zielsetzung ist es, ein Elektrofahrzeug in möglichst kurzer Zeit wieder aufzuladen. Als zu Grunde liegender Lösungsansatz hat sich hieraus das sogenannte High Power DC Charging [1] mit Ladeleistungen von bis zu 350 kW entwickelt. Diese Technologie bietet die Möglichkeit ein Elektrofahrzeug mit vertretbarem Zeitaufwand zu laden. Die beim High Power DC Laden auftretenden hohen Leistungen, respektive hohen Ströme und Spannungen, stellen jedoch für die Umsetzung einer EMV-Prüfung in eben diesem Betriebsmodus eine Herausforderung an Messequipment sowie Peripherie dar. Im folgenden soll der Anwendungsfall näher betrachtet werden, in dem das Elektrofahrzeug den Prüfling für die EMV-Prüfungen im Ladevorgang darstellt. Basierend auf den Vorgaben der in diesem Fall heranzuziehenden Normen [2], [3] ergibt sich folgender Systemaufbau. Dieser Aufbau stellt die Basis aller folgenden Betrachtungen und Überlegungen dar.



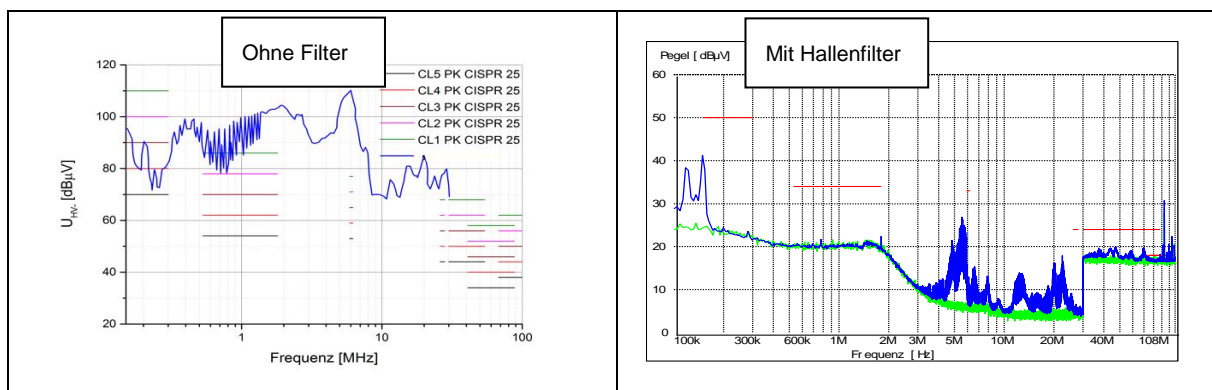
**Abbildung 2:** Prüfaufbau für Elektrofahrzeuge im Ladebetrieb

## 2. Herausforderungen an Laborequipment und Infrastruktur sowie Peripherie im Anwendungsfall High Power DC Charging

Durch die Forderung gemäß [2,3] die Emissionsprüfungen bei etwa 20 % sowie 80 % Ladeleistung durchzuführen, ergibt sich ein Betriebszustand für die Durchführung der Prüfung mit entsprechend hohen Leistungseigenschaften. Für den Maximalwert von 80% Ladeleistung bei 350 kW ergibt sich hieraus ein Betriebspunkt von 280 kW. Dies bedeutet bei einer Systemspannung von  $U=800\text{ V}$  müssen im Ladevorgang Ströme von  $I=350\text{ A}$  von den Messmitteln und der Peripherie bewältigt werden. Der Umgang mit derart hohen Spannungen und Strömen setzt die Nutzung von entsprechend ausgelegtem Equipment sowie Peripherie voraus. Dies gilt sowohl für die Netznachbildungen (AN) als auch die EMV-Filter der Absorberhallen und Messkabinen (siehe Abbildung 2). Diese müssen für die vorhandenen Systemparameter ausgelegt sein. Netznachbildungen für Betriebsströme  $> 200\text{ A}$  sind durchaus verfügbar. Jedoch steigt mit Erhöhung der Stromstärke die Größe und Bauform, der Aufwand hinsichtlich Kontaktierung respektive Anschluss der Leitungen und entsprechend natürlich die Kosten. Ähnliche Herausforderungen bestehen hinsichtlich der benötigten Systemparameter des Hallenfilters, welcher die Quelle zur Bereitstellung der Ladeleistung vom restlichen Prüfaufbau EMV-technisch entkoppelt (Siehe Abbildung 2). Der verwendete Filter muss sowohl im angewandten Frequenzbereich (kHz bis GHz) die notwendige Filterwirkung in Form von  $>100\text{ dB}$  Dämpfung bereitstellen, als auch für die oben beschriebenen Spannungen und Ströme geeignet sein. Mittlerweile sind Hallenfilter, welche alle diese Anforderungen erfüllen am Markt erhältlich. Diese Verfügbarkeit hat sich jedoch erst im Laufe der letzten Jahre durch die neuerliche Nachfrage im Zuge der Verbreitung der Elektromobilität entwickelt.

Die bereits angesprochene Quelle als Nachbildung einer Ladesäule und zur Bereitstellung der notwendigen Ladeleistung für die EMV Prüfung im Ladevorgang

stellt ebenfalls eine Herausforderung bei der Realisierung dar. Zum einen muss die hohe Ladeleistung zur Verfügung gestellt werden können. Solche leistungsstarken DC-Quellen sind durchaus verfügbar, jedoch stellen diese lediglich rein funktional eine adäquate Peripherie in Form einer Nachbildung einer Ladesäule dar. An die verwendete Peripherie für eine EMV Prüfung wird aber darüber hinaus noch die Anforderung gestellt, dass diese selbst störfest und emissionsarm ist. Vor allem der zweite Punkt kann bei Quellen hoher Leistungsklassen ein Problem darstellen. Entsprechend kann ein EMV technisch unauffälliges, heißt emissionsarmes Verhalten einer Quelle in Funktion als Nachbildung einer Ladesäule nur in Kombination mit einem Hallenfilter realisiert werden. Die Notwendigkeit des Einsatzes eines Hallenfilters, aber auch der Nachweis, dass dessen Einsatz zum gewünschten Resultat führt (emissionsarme Quelle) zeigen die folgenden zwei Abbildungen



**Abbildung 3: Leitungsgeführtes Emissionsspektrum einer Hochleistungs-DC-Quelle**

Abbildung 3 zeigt die gemessene, leitungsgeführte Störspannung auf der HV- Leitung einer Hochleistungs-DC-Quelle ohne Hallenfilter (links) sowie unter Verwendung eines Filters (rechts). Ohne Verwendung einer Filterstruktur zeigt die Quelle selbst bereits ein Emissionsspektrum, welches die gängigen Grenzwerte (hier CISPR 25 [4]) mit Spitzenwerte von bis zu 110 dBµV überschreitet. Gemäß der Vorgabe, dass die Quelle als Peripherie im eigentlichen Messaufbau selbst störarm sein muss, ist diese Anforderung nicht erfüllt. Die rechte Abbildung zeigt jedoch, dass die Verwendung eines Hallenfilters zum Erreichen der Zielsetzung beitragen kann. Unter dessen Verwendung kann das Emissionsspektrum der Quelle deutlich reduziert werden, so dass es weit unter den Grenzwerten liegt und die Anforderung einer störarmen Peripherie erfüllt.

Abschließend sei mit Hinblick auf die Herausforderungen bei der Realisierung einer EMV Prüfung bei High Power DC Charging erwähnt, dass die Anschlussleistung für die Quelle/ Ladeeinrichtung von der Infrastruktur des Prüflabors realisiert werden

können muss. Bei einer Ladeleitung von maximal 350 kW muss das Labor somit alleine die Quelle als Ladesäulennachbildung eine Anschlussleistung von > 350 kW zur Verfügung stellen können. In Verbindung mit sonstigen Energieverbrauch in einem EMV Labor durch die übrige Messtechnik ergibt sich ein entsprechend hoher Leistungsbedarf, der anschlusstechnisch realisiert werden muss.

### **3. Untersuchung der Auswirkung der betrachteten Ladeleistung auf die gemessene Störemission**

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Herausforderungen bei der Abbildung eines High Power DC Charging Vorgangs im Zusammenhang mit einer EMV Prüfungen hinsichtlich des gesamten Equipments näher erläutert. Darüber hinaus soll die Abhängigkeit und die Auswirkung der eingestellten Ladeleistung auf das Ergebnis der gestrahlten Emissionsprüfung untersucht. Ziel ist, die Frage zu beantworten, ob eine Abhängigkeit zwischen Höhe der Ladeleistung und der Höhe der ausgeprägten Emissionen besteht. Hintergrund ist, dass der Betriebszustand mit 80 % Ladeleistung auf Grund der genannten hohen Ströme und Spannungen in einem EMV-Labor im notwendigen Prüfaufbau meist nicht einfach umgesetzt werden kann. Daher ist zu klären, ob eine Prüfung bei 80 % Ladeleistung weiterführende Ergebnisse hinsichtlich des Emissionsverhaltens hervorbringt oder gegebenenfalls entfallen kann und somit die technische Umsetzung der Prüfung erleichtert wird.

#### **3.1. Grundlegender Messaufbau**

Gemäß den EMV-Prüfanforderungen aus [2] muss für Aussendungsmessungen im Ladebetrieb der Ladestrom auf mindestens 80% des Nominalwerts eingestellt werden. Da es sich um eine Ladung mit einem DC-Strom handelt, sollte sich laut Theorie ein stromabhängiges, statisches Magnetfeld aufbauen, jedoch keine relevanten, vom Strom abhängigen Störungen im zu messenden Frequenzbereich verursachen. Elektromagnetische Störungen sind beim Ladebetrieb von zwei Quellen zu erwarten. Zum einen kann die Ladesäule Emissionen respektive Störungen verursachen. Des weiteren stellt das Fahrzeug eine potentielle Emissionsquelle dar. Die Ladesäule führt die Wandlung der AC-Netzspannung zu DC durch und erzeugt mittels eines DC/DC-Wandlers die geforderte Ladespannung. Dies würde somit, abhängig von der zu generierenden Spannung und des geforderten Stroms, Störungen verursachen. Im Rahmen der UNECE Regelung Nr. 10 Rev.5 wird jedoch nur die Fahrzeugseite und ihre Auswirkungen auf und von der Umwelt betrachtet. Beim DC-Laden wird im

Fahrzeug eine DC-Batterie mit DC-Spannung / -Strom geladen. Es wird keine Spannungsänderung im Fahrzeug durchgeführt. Weiterhin gibt es eine Einheit im Fahrzeug, welche mittels CP (Control Pilot) und im Falle des in Europa gebräuchlichen CCS (Combined Charging System) Standards über PLC (PowerLine Communication) mit der Ladesäule kommuniziert. Da diese Leitungen parallel zum Ladekabel laufen, ist mit einem Übersprechen zu rechnen, jedoch unterhalb von 30 MHz. Um eine Auswirkung der eingestellten Ladeleistung auf den gesamten Frequenzbereich untersuchen zu können, werden sowohl leitungsgeführte Störspannungsmessungen als auch gestrahlte Messungen durchgeführt.

### 3.2. Anwendungsfälle respektive Betriebszustände

Um ausschließen zu können, dass es sich bei den erzielten Ergebnissen und Erkenntnissen hinsichtlich Zusammenhang zwischen Ladeleistung und Emissionsspektrum nicht um einen Einzelfall handelt, werden zwei verschiedene Fahrzeuge respektive Device under Test (DUT) untersucht. Diese beiden Fahrzeuge unterscheiden sich grundlegend vom Fahrzeugtyp her (PKW, LKW) und somit auch vom Aufbau und der Topologie. Des Weiteren findet sich ein Unterschied in der Spannungslage des HV Bordnetzes (400 V, 800 V) und somit bei gleicher Ladeleistung in der Höhe des maximalen Ladestroms. Es kann bereits mit diesen zwei Fahrzeugen ein breites Spektrum von Systemparametern wie Spannungslage, Ladestrom und Fahrzeugtopologie für die Untersuchungen abgedeckt werden. Die folgende Tabelle fasst die Systemparameter der zwei betrachteten DUT zusammen. Darüber hinaus sind die einzelnen Betriebszustände respektive Ladeströme angegeben, für die das Emissionsspektrum zur Untersuchung der möglichen Abhängigkeit ermittelt wird.

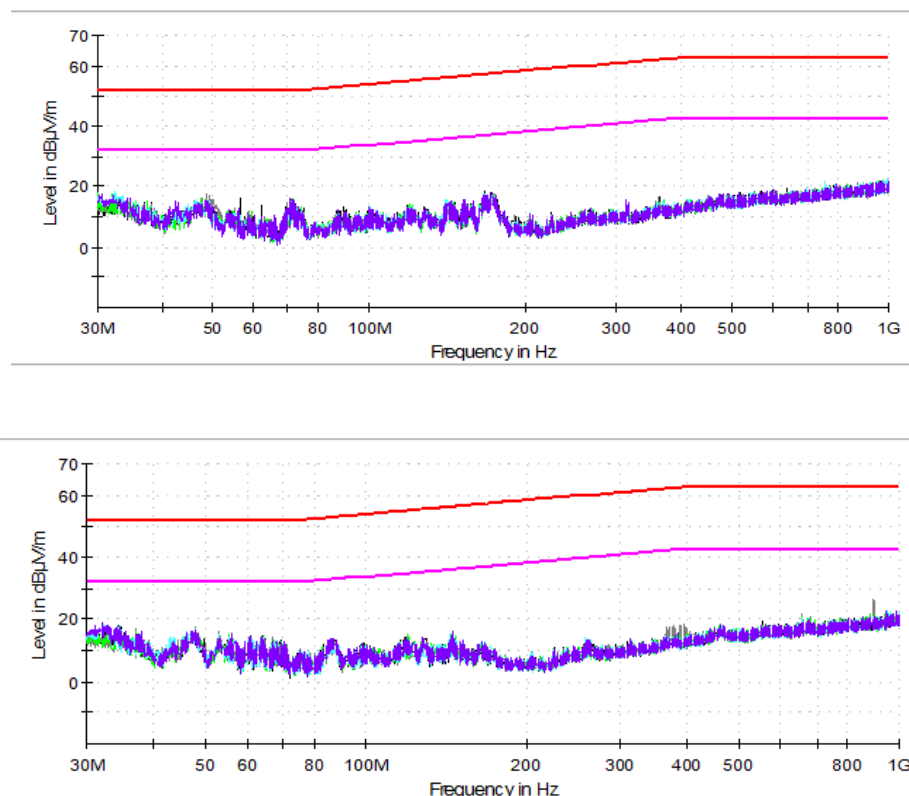
DUT	Bezeichnung	Fahrzeugtyp	Ladespannung	Lade-Nennstrom	Geprüfte Ladeströme
DUT-1	„400V / 125A“	PKW	400V	125A	10A/ 20A/ 40A/ 80A/ 120A
DUT-2	„800V / 200A“	LKW	800V	200A	30A/ 90A/ 160A

**Tabelle 1: Systemparameter der untersuchten Elektrofahrzeuge**

Neben dem eingestellten Ladestrom gelten folgende Randbedingungen sowie Systemparameter für den gewählten Betriebszustand: Zündung AUS, Motor AUS, Parkbremse gezogen, Ladezustand der Batterie (SoC) zwischen 20% und 80%.

### 3.3. Emissionsspektrum in Abhängigkeit der gewählten Ladeleistung

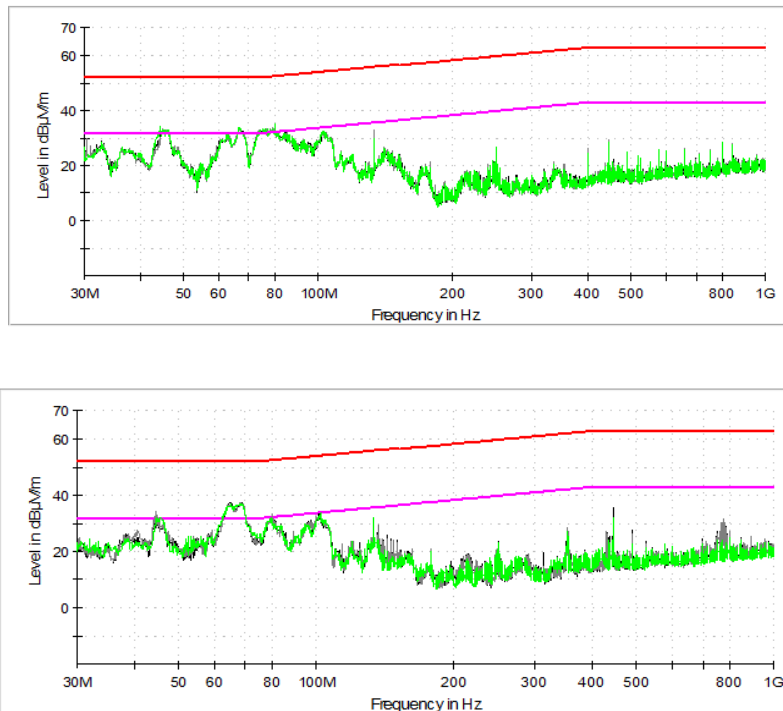
Im folgenden sind die Emissionsspektren der zwei Fahrzeuge im Ladevorgang zu sehen. Hierbei sind lediglich die Ergebnisse bei vertikaler Polarisation der Messantenne gezeigt. Bei horizontaler Polarisation wurden ebenfalls Messungen durchgeführt. Es ergaben sich vergleichbare Ergebnisse. Die folgende Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse für DUT-1 in 2 verschiedenen Messpositionen. Bei den Positionen handelt es sich zum einen um die Messung von der linken Seite, zum anderen von der rechten Fahrzeugseite. Diese Unterscheidung berücksichtigt die Tatsache, dass der Ladeanschluss an einer Fahrzeugseite angebracht ist und somit einmal vom Ladeanschluss abgewandt und einmal Antenne zeigt auf Ladeanschluss gemessen wird. Des weiteren sind in den Grafiken alle gemäß Tabelle 1 geprüften Ladeströme gleichsam zum direkten Vergleich dargestellt.



**Abbildung 4: Vergleich gestrahlte Störemissionen aller Ladeströme, DUT-1, Position 1 und 2**

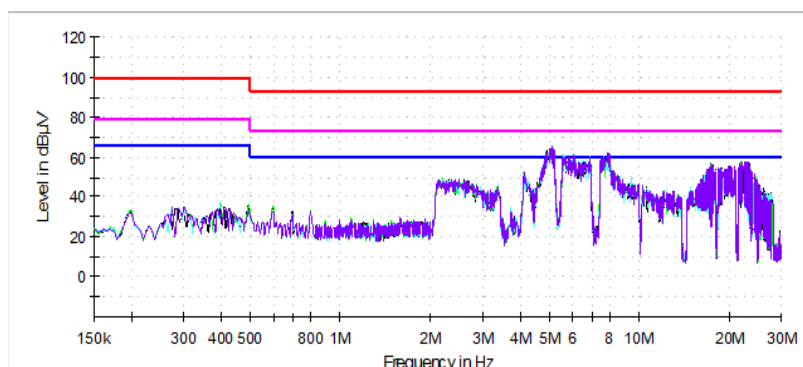
Es ist ersichtlich, dass kein signifikanter Unterschied der Emissionsergebnisse abhängig vom Ladestrom besteht. Die Spektren sind nahezu identisch. Dies gilt für beide Messpositionen. Abbildung 5 zeigt die Emissionsergebnisse im Ladevorgang für das andere Fahrzeug (DUT-2). Es sind wiederum alle gemäß Tabelle 1 zu

berücksichtigen Ladeströme im direkten Vergleich für die zwei Messpositionen dargestellt.



**Abbildung 5: Vergleich gestrahlte Störemissionen aller Ladeströme, DUT-2, Position 1 und 2**

Die erzielten Ergebnisse für diesen Fahrzeugtyp gleichen von der Aussage her denen des anderen untersuchten Fahrzeugs. Es ist wiederum kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Emissionsspektrums in Abhängigkeit des Ladestroms zu erkennen. Abschließend zeigt Abbildung 6 einen Vergleich des leitungsgeführten Emissionsspektrums aller betrachteten Ladeströme gemäß Tabelle 1 von DUT-1 im Ladevorgang gemessen auf der HV+ Leitung.



**Abbildung 6: Vergleich leitungsgeführte Störemissionen aller Ladeströme, DUT-1, HV+ Leitung**

Für das leitungsgeführte EMV Verhalten ergibt sich hinsichtlich des Emissionsspektrums im Ladevorgang bei Betrachtung verschiedener Ladeströme wiederum das gleiche Bild. Es ist ebenfalls kein signifikanter Einfluss des Ladestroms auf das leitungsgeführte Emissionsergebnis zu verzeichnen.

#### **4. Zusammenfassung**

Die hohen Ladeleistungen sowie daraus resultierend die hohen Spannungen respektive Ströme beim High Power DC Charging stellen eine neuartige Herausforderung an das notwendige Equipment und die Peripherie dar. Ein EMV Prüflabor muss somit zur Abbildung des Betriebszustands 80 % Ladeleistung sein Portfolio hinsichtlich Messmitteln erweitern. Was dies im einzelnen umfasst wurde vorangehend dargestellt.

Des Weiteren wurde messtechnisch nachgewiesen, dass während der DC-Ladung einer Batterie im Elektrofahrzeug keine relevante Abhängigkeit des Emissionsverhaltens in Bezug zum Ladestrom für die zwei betrachteten Fahrzeugtypen (PKW /LKW )und sowie Bordnetzspannungen (400V/ 800 V) zu ermitteln ist. Die Unterschiede sind im Vergleich zu den zulässigen Messunsicherheiten als vernachlässigbar zu erachten. Im Falle des High Power DC Charging kann auf den hinsichtlich Umsetzung herausfordernden Betriebszustand 80 % Ladeleistung zur Ermittlung des Emissionsspektrums verzichtet werden. Es besteht kein erweiterter Erkenntnisgewinn gegenüber den Messungen bei 20 % Ladeleistung.

#### **Literaturangaben**

[1] <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/anwendung/high-power-charging/>

[2] UN ECE R10 Rev.5 Electromagnetic compatibility: 16.10.2014

[3] IEC 61851-21-1: 2017, Electric vehicle conductive charging system - Part 21-1 Electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to AC/DC supply

[4] CISPR 25 ed 4.0, 2016