

EMV-PRÜFUNGEN AN ELEKTROFAHRZEUGEN HERAUSFORDERUNGEN IM LADEBETRIEB

Markus Gaitzsch

SLG Prüf- und Zertifizierungs GmbH, Burgstädter Straße 20, D-09232 Hartmannsdorf

Die vorliegende Arbeit behandelt den Aufbau und die Charakterisierung von Prüfzubehör für das Aufladen von Elektrofahrzeug-Batterien an einem Wechselstrom-Anschluss. Die gemessenen Störspannungspegel dieses Prüfzubehörs zeigen die Eignung für Zulassungs-Messungen nach der internationalen Vorschrift UN ECE – R 10. Der modulare Aufbau ermöglicht die Anpassung an zukünftige Anforderungen oder an das Laden am Gleichstromanschluss.

This article shows the setup and the characterization of test accessories for charging of traction batteries in electric vehicles using a connection that provides alternating current. The measured level of disturbance voltage of these test accessories shows, that it is applicable for type approval measurements according to international regulation UN ECE – R 10. The modular setup allows for adaption to future requirements or the charging with a connection that provides direct current.

1. Einleitung

Die individuelle Mobilität befindet sich im Wandel: weg von der Verbrennung fossiler Kraftstoffe hin zu Elektrofahrzeugen (engl.: „battery electric vehicles“, kurz: BEV). Plug-In hybride (engl.: „Plug-In hybrid electric vehicles“, kurz: PHEV) sind eine Mischform, die mit den BEV gemeinsam hat, dass ein Ladeanschluss vorhanden ist, der die EMV-Anforderungen an Fahrzeuge erheblich erweitert. Die Funktion des Ladevorgangs wird von der IEC 61851-1:2019 [1] normiert. Sie beschreibt u.a. den Pilotleiter (engl.: „Control-Pilot“, kurz: CP), der im Typ-2-Stecker enthalten ist und über den das Fahrzeug mit dem Ladeequipment kommuniziert. Die zusätzlichen EMV-Prüfungen sind in Abschnitt 7 der UN ECE – R 10, Revision 6 enthalten. Diese Vorschrift findet in vielen Staaten rund um die Welt Anwendung bei der Zulassung von Fahrzeugen für den Straßenverkehr.

2. Herausforderungen bei EMV-Prüfungen im Ladebetrieb

Fahrzeuge mit Anschlussfall B oder C, also mit Ladeanschluss anstelle eines fest verbauten Kabels, können mit ortsfesten Ladestationen aufgeladen werden oder mit Hilfe sogenannter In-cable control and protection devices (IC-CPD) über herkömmliche Steckdosen mit dem Stromnetz verbunden werden. Im Laborbetrieb bietet sich der Einsatz eines IC-CPD an, denn dadurch können bereits vorhandene Prüfmittel mit herkömmlichen Anschlüssen genutzt werden. Sowohl Störaussendungsmessungen als auch Störfestigkeitsprüfungen im Ladebetrieb müssen mit dem Prüfmuster (Fahrzeug) reproduzierbar durchgeführt werden. Eine IC-CPD jedoch kann die Messung durch eigene Störemissionen oder durch zusätzliche Dämpfung verfälschen. Dämpfungen könnten zwar über Korrektur-Faktoren bei der Bewertung berücksichtigt werden, das erfordert aber Dämpfungsmessungen im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz, wofür die verwendeten Stecker nicht ausgelegt sind. Die bessere Lösung besteht darin, ein einzelnes, repräsentatives Anschlusskabel für alle Prüfungen im Labor zu nutzen. Es sollte so kurz wie möglich und frei von jeglichen Stoßstellen wie Steckverbindungen o-

der Klemmleisten sein. Damit würde es den Anforderungen aus den Abbildungen der UN ECE – R 10 entsprechen. Die UN ECE – R 10 fordert außerdem die Nutzung von Netznachbildungen und einen Abstand zwischen den Grenzwerten und dem Pegel einer Leermessung ohne Prüfmuster von mindestens 6 dB (CISPR 16-2-1 [3]), wobei es wünschenswert ist, diesen Abstand zu maximieren. Die IC-CPD enthält nach IEC 61851-1 einen Fehlerstromschutzschalter, welcher in Standard-Ausführung nicht für den Betrieb an der Versorgungsstrom-Einspeisung einer Netznachbildung mit ihren großen Kapazitäten geeignet ist. Der Abgriff der Versorgung für die Pilotleiterfunktionssteuerung (engl.: „control pilot function controller“, kurz: CPFC) von einer der drei Phasen, über die das Fahrzeug geprüft werden soll, birgt den Nachteil, dass zusätzliche Störungen in der Messung auftauchen könnten, die nicht vom Fahrzeug herkommen. In dieser Arbeit wird exemplarisch gezeigt, mit welchem Prüfzubehör eine Störspannungsmessung am Wechselstromanschluss von BEV oder PHEV realisiert werden kann.

3. Aufbau von Ladeequipment für EMV-Prüfungen

Um EMV-Prüfungen im Ladebetrieb von Fahrzeugen durchführen zu können, wurde eine angepasste IC-CPD aufgebaut. Bild 1 zeigt Ihren schematischen Aufbau. Durch den Entfall des Fehlerstromschutzschalters kann die IC-CPD in eine Netznachbildung einspeisen, die als normierte Anschlussimpedanz für das zu prüfende Fahrzeug dient. Durch diesen Entfall entsteht jedoch ein gewisses Betriebsrisiko.

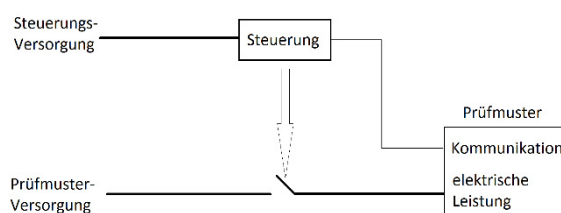


Bild 1: Schematische Darstellung einer IC-CPD zum Einsatz bei EMV-Prüfungen

Ein eigener gefilterter Versorgungsanschluss für die kommerziell erhältliche CPFC minimiert den Anteil von Fremdstörungen auf den Anschlussleitungen, über die das Prüfmuster bewertet werden soll. Glimmlampen zwischen den drei Phasen und dem Neutralleiter am Ausgang zeigen an, wenn Netzspannung am Ausgang anliegt. Verschweißte Schaltkontakte – ein typischer Fehler nach Überstrom-Ereignissen – können so erkannt werden. Die Ansteuerung des Schalters (Schütz) ist ebenfalls gefiltert, um das Einkoppeln von Fremdstörungen auf die zu prüfenden Anschlüsse zu minimieren. Der fertige Aufbau ist in Bild 2 festgehalten. An den Ausgang des IC-CPD kann ein Typ-2-Verlängerungskabel angesteckt werden, um Elektrofahrzeuge direkt zu laden.

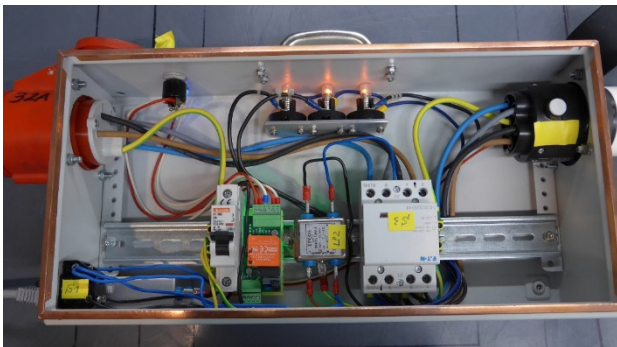


Bild 2: Fertig aufgebautes IC-CPD zum Einsatz bei EMV-Prüfungen

Die vorgeschriebenen Netznachbildungen sind für 3-Phasensysteme mit L1, L2, L3, N und PE ausgelegt. Das zusätzliche Signal des Control-Pilot (CP) muss über eine eigene Asymmetrische Netznachbildung geführt werden. Dazu ist eine Adaptierung erforderlich, die durch eine weitere Box realisiert wird. Sie adaptiert von einem Typ-2 - Stecker auf einen 3-Phasen-CEE-Stecker und auf eine Laborbuchse für den CP. Daneben befindet sich in der Box noch ein 3-phasieriger Sicherungsautomat und eine Platine, mit der ein Elektrofahrzeug simuliert werden kann. Nur so können Leermessungen ohne Prüfmuster durchgeführt werden, um die Fremdstöranteile des Prüfzubehörs zu bewerten. Außerdem kann mit so einem Elektrofahrzeug-Simulator (EV-Simulator) auch anderes Ladeequipment wie Ladesäulen in Betrieb gesetzt und somit einer Prüfung unterzogen werden. Der EV-Simulator ist deaktivierbar, um die Kommunikation mit angeschlossenen Fahrzeugen zu ermöglichen. Die EV-Simulator Box ist in Bild 3 abgebildet. Die Anordnung des gesamten Aufbaus ist schematisch und vereinfacht dargestellt in Bild 4.

Sowohl der EV-Simulator als auch das IC-CPD wurden auf Funktionalität getestet und erfüllen die Anforderungen aus IEC 61851-1, Anhang A. Dadurch ist dieses Prüfzubehör in verschiedenen Prüfscenarien an Fahrzeugen und an Ladestationen oder an anderen IC-CPD nutzbar. Die Funktionalität wurde an verschiedenen Fahrzeugen nachgewiesen. Wie bereits erwähnt, erfüllt das IC-CPD jedoch nicht die Anforderungen an den Fehlerstromschutz.



Bild 3: EV-Simulator bzw. Adapterbox

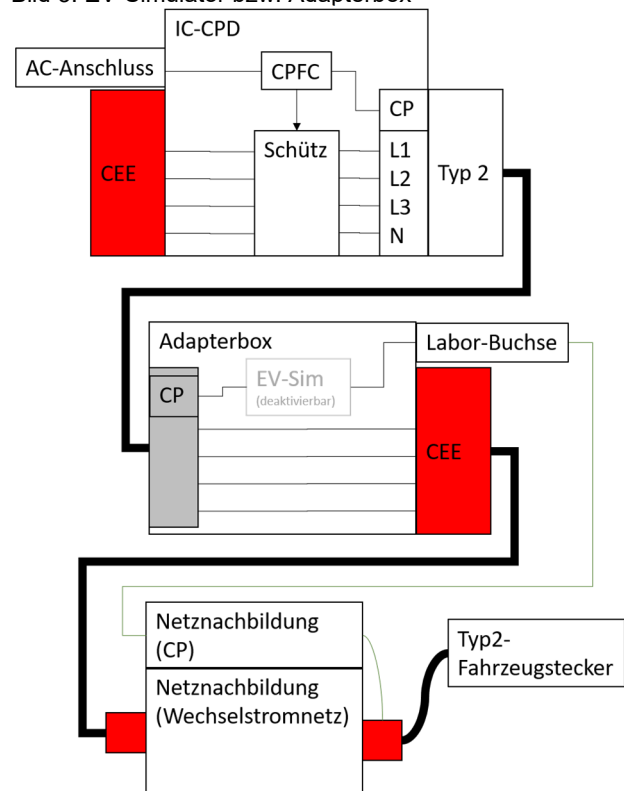


Bild 4: Schematische Darstellung des gesamten Prüfsequents

4 Messergebnisse und Beurteilung

Zunächst sollen die Störaussendungen der IC-CPD in Verbindung mit dem EV-Simulator gezeigt werden. Der Aufbau dazu ist in Bild 5 gezeigt. Es wurde der Ladezustand C2 gemäß IEC 61851-1 eingestellt. Das bedeutet, dass auf dem CP ein pulsweitenmoduliertes (PWM) Signal liegt, dessen positiven Anteile durch den EV-Simulator belastet werden und die dadurch von +12 V Maximalwert im Leerlauf auf nur noch +6 V absinken. Die Schaltkontakte im IC-CPD sind geschlossen. Die Störspannung erfasst ein Messempfänger am Messanschluss der Netznachbildung auf L1, L2, L3 und N. Bei jeder Frequenz wird jeweils das Maximum der vier Potentiale dargestellt. Das Messergebnis zeigt Bild 6. Die hier vorgestellte IC-CPD bleibt mehr als 6 dB unter den Grenzwerten, wengleich noch Störungen von 36 dB(μ V), gemessen mit dem Mittelwert-Detektor bei 150 kHz zu sehen sind.

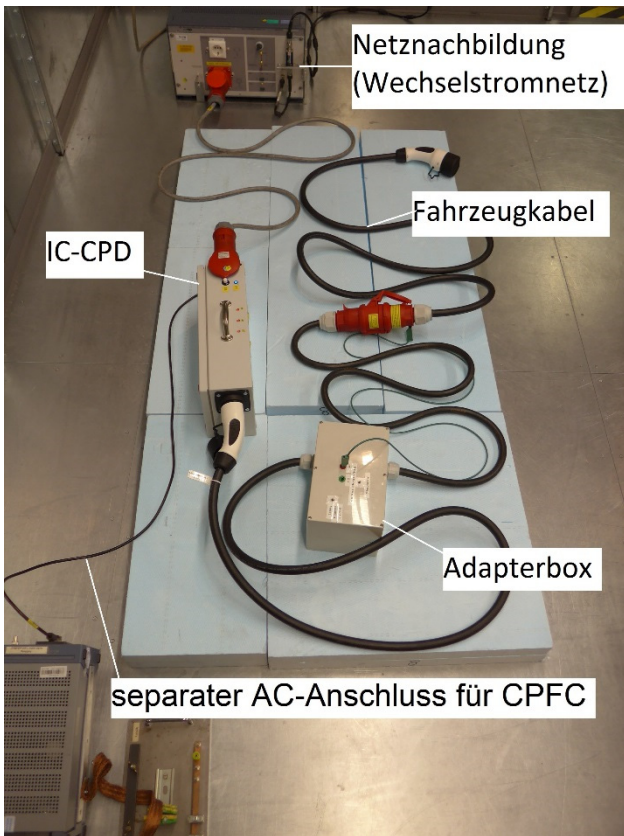
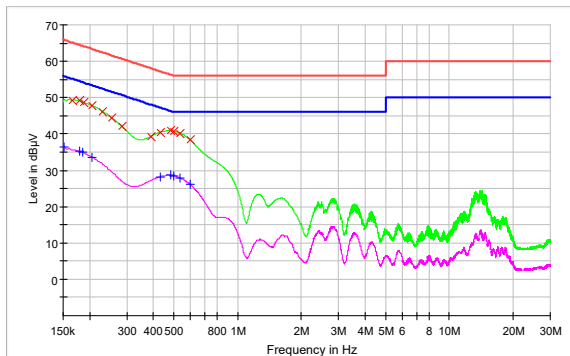


Bild 5: Messaufbau mit dem IC-CPD und dem EV-Sim am Prüfmuster-Anschluss der Netznachbildung



Preview Result 2-CAV [Preview Result 2.Result:4]
 Preview Result 1-QPK [Preview Result 1.Result:2]
 AC Mains CP [..IEN61000-6-3:2007+A1_2011Voltage]
 AC Mains AV [..IEN61000-6-3:2007+A1_2011Voltage]

Bild 6: Messergebnisse mit der IC-CPD am Prüfmusteranschluss der Netznachbildung

Durch den Verzicht auf den Fehlerstromschutzschalter und dank der Adaptierung auf CEE-Dosen kann die IC-CPD auch an der Einspeisung der Netznachbildung betrieben werden. Zusätzlich kommt eine asymmetrische Netznachbildung für den CP hinzu. Den Aufbau dazu zeigt Bild 7. Die IC-CPD arbeitet wieder in Betriebsart C2. Das Messergebnis enthält Bild 8. Die verbleibenden Störungen können im Vergleich zur Messung in Bild 6 verringert werden. Trotzdem liegen die verbleibenden Störungen mit 30 dB(μ V) bei 150 kHz (Mittelwert-Detektor) noch mehr als 30 dB über der Rauschkurve des Messsystems ohne Ladeequipment.

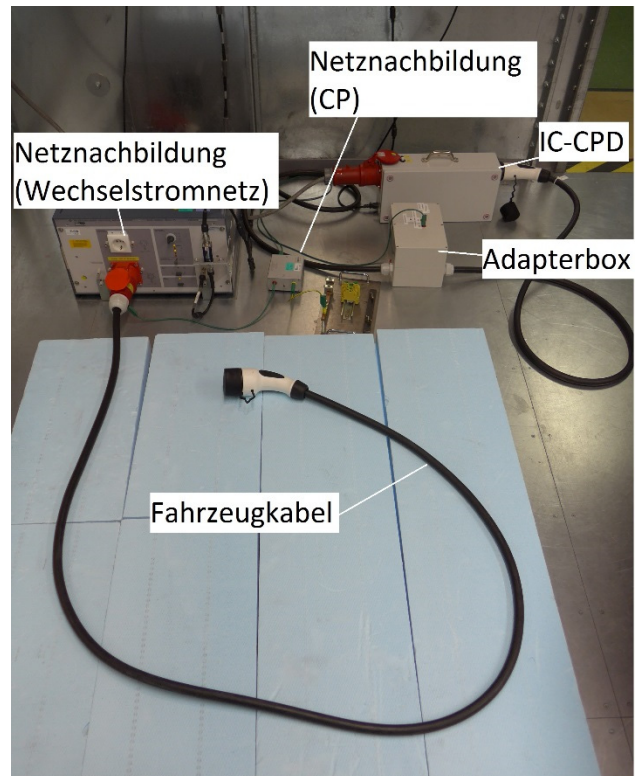
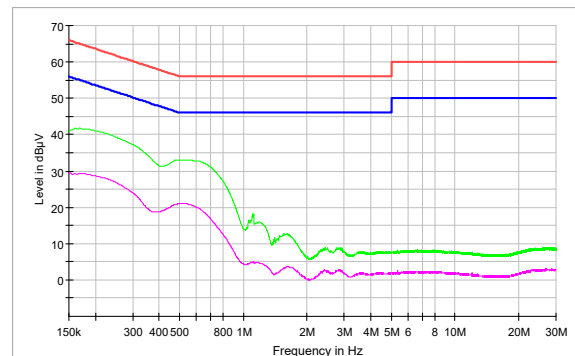


Bild 7: Messaufbau mit dem IC-CPD und dem EV-Sim am Einspeisungs-Anschluss der Netznachbildung, CP über AAN angeschlossen



Preview Result 2-CAV [Preview Result 2.Result:4]
 Preview Result 1-QPK [Preview Result 1.Result:2]
 AC Mains CP [..IEN61000-6-3:2007+A1_2011Voltage]
 AC Mains AV [..IEN61000-6-3:2007+A1_2011Voltage]

Bild 8: Messergebnisse mit der IC-CPD am Prüfmusteranschluss der Netznachbildung

Eine Ursache für die verbleibenden Störungen durch das Ladeequipment liegt in der kapazitiven Einkopplung des CP-Signals auf die Netz-Potentiale L1, L2, L3 und N innerhalb des Fahrzeugkabels. Bild 9 zeigt die sehr große Störspannung auf dem CP-Leiter, gemessen mit einem Tastkopf mit 1,5 k Ω Eingangsimpedanz und einem Aufbau wie in Bild 5 gezeigt. Das Fahrzeugkabel mit dem Typ-2-Stecker ist als 5G6mm²+2x0,5mm² ausgeführt und hat eine Länge von 3 m. Die verteilte Kapazität zwischen CP und den Phasenleitern sorgt für eine Einkopplung der Störungen. Dieser Zusammenhang wird auch deutlich, wenn man die Fremdstörungen mit und ohne die Netznachbildung für den CP betrachtet, wie in Bild 10 geschehen.

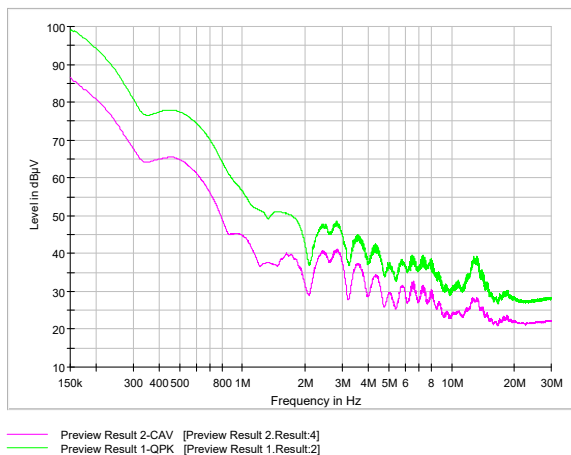


Bild 9: Messergebnis Störspannung auf dem CP-Leiter gemessen mit einem 1,5 kΩ Tastkopf

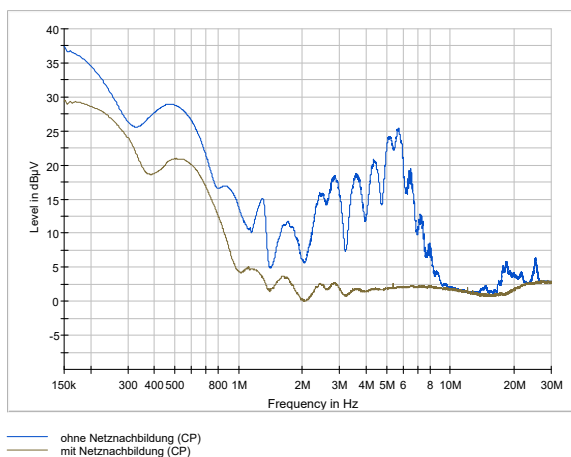


Bild 10: Vergleich der Störspannung auf den Phasenleitern (Mittelwert-Detektor) mit und ohne Netznachbildung für den CP-Leiter

5. Ausblick und Alternativen

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Prüfzubehör für den Ladebetrieb von BEV oder PHEV können nicht nur Störspannungsmessungen durchgeführt werden. Durch die Verwendung eines handelsüblichen CEE-Steckers können auch Störfestigkeitsprüfungen gegen Burst oder Surge mit herkömmlichen, kommerziell erhältlichen Pulsgeneratoren durchgeführt werden. Der rein passive Aufbau der Versorgungsleitungen für das Fahrzeug erlaubt auch die Messung der niederfrequenten Störaussendung wie Flicker und Netzbereichsstroms sowie die Prüfung der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen. Eine Beeinflussung durch gestrahlte Felder kann während einer Prüfung vermieden werden, weil größere Abstände realisiert werden können, als die von der UN ECE – R 10 geforderten 0,8 m zwischen Fahrzeug und Netznachbildung. Die vollständig metallische Einhausung mit gefilterten Leitungs-Ein- und Ausgängen verspricht ohnehin hohe Störfestigkeit genauso wie ein niedriges Level an gestrahlten Aussendungen. Alle diese Punkte sollten Gegenstand von weiteren Untersuchungen und Qualifizierungen sein.

Seit 2020 erscheinen auch kommerzielle Anbieter

von Ladeequipment für EMV-Prüfungen auf dem Markt. Diese bieten „schlüsselfertige“ Lösungen und einen gewissen Gewährleistungsanspruch. Da die Investitionen dafür sehr hoch ausfallen dürften, helfen die hier aufgeführten Daten zur Einordnung der Leistungsfähigkeit der Angebote.

Die UN ECE – R 10 wird kontinuierlich überarbeitet: Seit dem Revisionsstand 5 behandelt sie die Prüfungen im Ladebetrieb von Fahrzeugen. Die aktuelle Revision 6 brachte bereits einige Konkretisierungen bspw. zu Netznachbildungen mit sich. Auch die derzeit in Arbeit befindliche Revision 7 wird voraussichtlich wieder Neuerungen enthalten, welche den Ladebetrieb betreffen. Um solchen Veränderungen begegnen und ggf. Anpassungen vornehmen zu können, hilft ein möglichst modularer Aufbau. Dadurch kann das Equipment bei entsprechender Dimensionierung aller Komponenten, bei Nutzung einer passender CPFC und bei Verwendung einer steuerbaren Spannungsversorgung auch für das Laden mit Gleichstrom angepasst werden.

Literaturverzeichnis

- [1] IEC 61851-1:2019
- [2] UN ECE – R 10, Revision 6
- [3] CISPR 16-2-1:2014