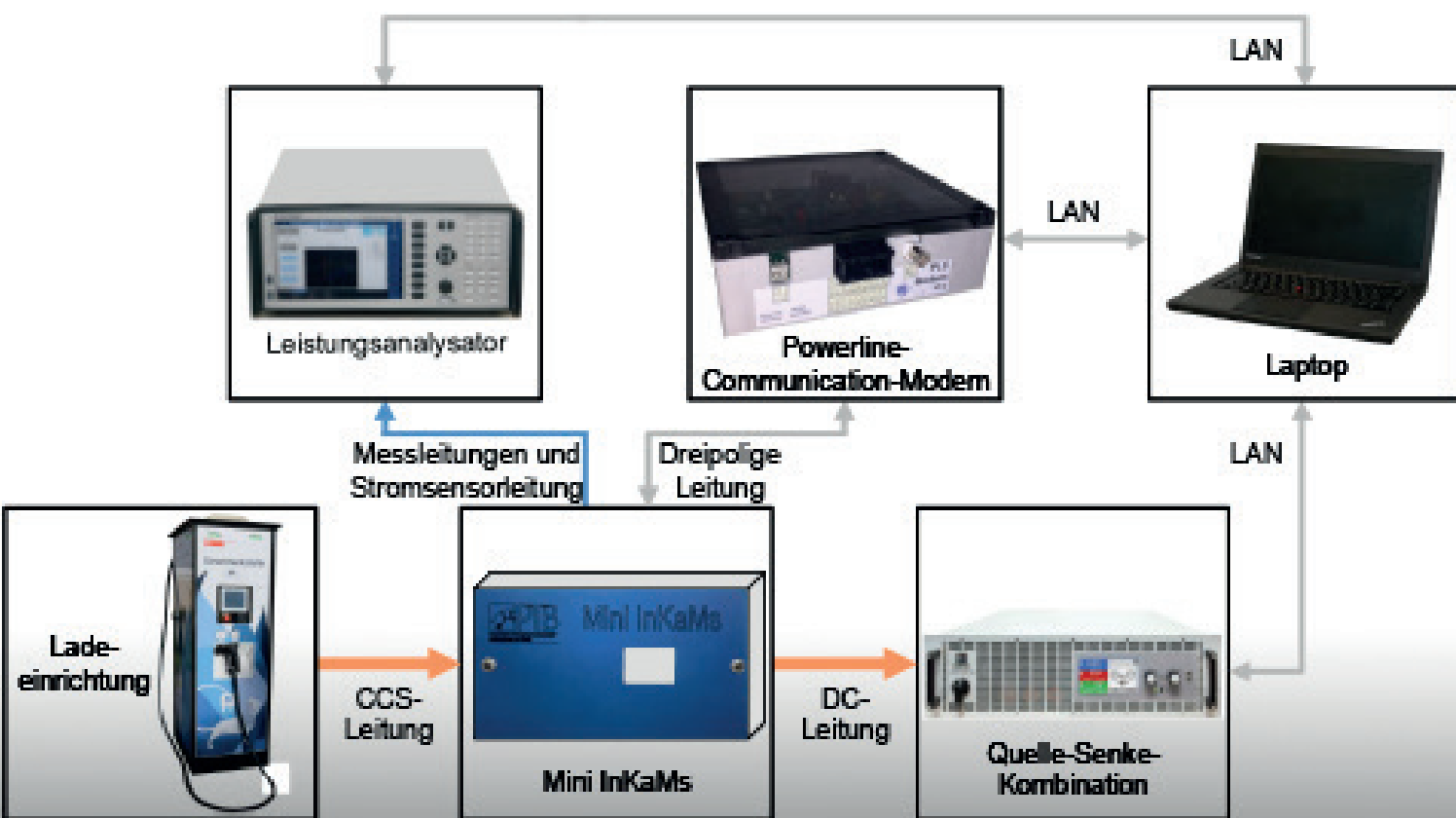


# eMobilJournal

## e+ eMobilExklusiv



### FACHWISSEN

## In-Kabel-Leistungsmesssystem für DC-Schnellladeeinrichtungen

Jannes Langemann



twitter.com/emobilserv



facebook.com/emobilserv



instagram.com/emobilserv



ITM  
InnoTech Medien GmbH

# In-Kabel-Leistungsmesssystem für DC-Schnellladeeinrichtungen

Metrologischer Kundenschutz in der Elektromobilität – Auch bei Ladevorgängen an Ladeeinrichtungen muss darauf geachtet werden, dass die abgerechnete Energiemenge mit der tatsächlich geladenen im Rahmen der gesetzlichen Toleranzen übereinstimmt. Dazu wurde ein Messsystem an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt entwickelt, das zwischen einem Ladepunkt und einem Elektrofahrzeug geschaltet wird. Dieses Messsystem ermöglicht auf die nationalen Normale rückgeführte Leistungs- und Energiemessungen von Ladevorgängen an Ladeeinrichtungen. Zusätzlich wurde für das Schnellladen mit Gleichstrom ein Fahrzeugsimulator entwickelt, der sowohl die Fahrzeugkommunikation nach DIN SPEC 70121 sowie zukünftig nach DIN EN ISO 15118 als auch die Energieaufnahme mit elektronischen Lasten unterstützt, wodurch kein Elektrofahrzeug vorhanden sein muss.

## Einleitung

Beim Laden eines Elektrofahrzeugs (en: Electric Vehicle (EV)) an einer Ladeeinrichtung (en: Elec-

tric Vehicle Supply Equipment (EVSE)) geht der Fahrzeugbesitzer davon aus, dass die abgerechnete Energiemenge wie beim Tanken eines konventionellen Personenkraftwagens vorschriftsmäßig gemessen wird. Eine Überprüfung bereits im Betrieb befindlicher EVSE fällt in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer und deren Eichämter. Bei einer konventionellen Zapfsäule wird dies mithilfe eines Messgefäßes überprüft. Damit auch beim elektrischen Ladevorgang eine Prüfung eines einzelnen Ladepunktes der EVSE möglich ist, wird ein Messsystem für elektrische Energie benötigt. Da sich die Eichämter an den Richtlinien der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) orientieren und jene ein Messsystem zur Eichung von Ladepunkten benötigen, wurde in der PTB ein solches Messsystem im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt DELTA entwickelt, welches an der Datensicherheit und -integrität in der Elektromobilität arbeitet.

Daher bestand das Ziel darin, ein Messsystem zu entwickeln, mit dem die von einem Ladepunkt im Rahmen des Verkaufsvorgangs gelieferte Energiemenge überprüft werden kann. Dies kann sowohl vor Ort als auch im Labor für

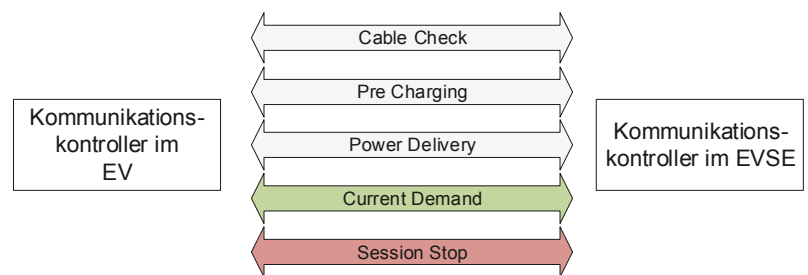
konduktive Ladeverfahren eingesetzt werden. Das konduktive Ladeverfahren stellt im Gegensatz zum kontaktlosen induktiven Ladeverfahren das kabelgebundene Laden dar. Dieses In-Kabel-Leistungsmesssystem (InKaMs) soll hierbei zukünftig als Referenzmessgerät dienen. Da sich ein universelles InKaMs für mehrere Steckertypen aufgrund dessen Gewichts als unkomfortabel erwies, werden einzelne Stecker-spezifische InKaMs entwickelt. Für Gleichstrom-(DC-)Ladungen mit dem Combined-Charging-System-(CCS-) Stecker wird das Mini InKaMs verwendet.

Vor allem für den Betrieb im Labor wurde ein Fahrzeugsimulator in das Messsystem integriert, der sowohl die Leistungsaufnahme mithilfe einer Quelle-Senke-Kombination als auch den Kommunikationspart nach DIN SPEC 70121 sowie zukünftig nach DIN EN ISO 15118 übernimmt. Somit müssen einerseits im Labor zur Prüfung des Ladepunktes keine realen Fahrzeuge verwendet werden und andererseits können flexible Ladeverläufe abgefahren werden. Darüber hinaus ist mit dieser Vorgehensweise sowohl die Reproduzierbarkeit als auch die Vergleichbarkeit gegeben.

## Fahrzeugkommunikation beim DC-Schnellladen

Die Kommunikation zwischen der EVSE und dem EV ist vor allem über den Contact Control Pilot (CCP) festgelegt. Dort wird eine Pulsweitenmodulation übertragen, auf die die Powerline-Communication (PLC) nach DIN SPEC 70121 sowie DIN EN ISO 15118 moduliert wird.

Die Pulsweitenmodulation kann sowohl im positiven Pegel vom EV als auch in dem Tastgrad von der EVSE beeinflusst werden. Der positive Pegel gibt aufgrund dessen Potentials den Fahrzeugzustand an. So kann das EV die Ladebereitschaft anzeigen. Darüber hinaus gibt die EVSE mittels des Tastgrads den maximal verfügbaren Ladestrom vor. Dieser kann jedoch mit der ausschließlichen Verwendung der Pulsweitenmodulation ohne die Powerline-Communication nur maximal 80 A betragen. Um dennoch für das Schnellladen höhere Ströme zu ermöglichen, darf bei einem Tastgrad zwischen 3 % und 7 % digitale Kommunikation verwendet werden. Diese wird im orthogonalen Frequenzmultiplexverfahren auf die Pulsweitenmodulation moduliert. [1]



**Bild 1:** Einige Kommunikationsphasen bei einem DC-Ladevorgang, nach [2]

Während des Ladevorgangs werden mit der Powerline-Communication Nachrichten via Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) übertragen. Dazu stellt das EV jeweils eine Request an die EVSE, welche mit einer Response an das EV antwortet. Die Nachrichten können dabei in unterschiedliche Phasen eingeteilt werden. Einige Phasen können auch in den Ladevorgängen erkannt werden, die in **Bild 1** dargestellt sind.

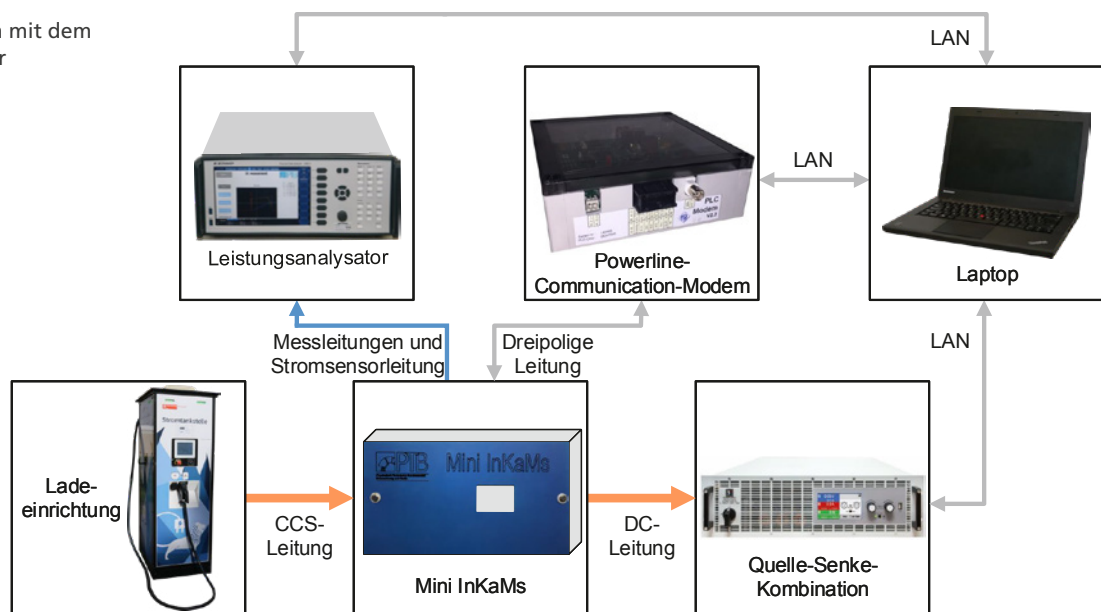
In der Phase Cable Check wird das Ladekabel auf einen Kurz- oder Erdschluss überprüft. Im Anschluss wird die Ladespannung im Pre Charging auf die Batteriespannung gefahren, um mit dem Beginn des Ladevorgangs keine zu großen Potentialunterschiede zu besitzen. Danach werden in der Power Delivery die Ladeparameter bestätigt und das EV in der Current-Demand-Phase geladen. [2]

## Aufbau des In-Kabel-Leistungsmesssystem

Um alle notwendigen Messwerte mit der erforderlichen Genauigkeit erfassen zu können, besteht das Messsystem vor allem aus einem Mini InKaMs, das zwischen einem Ladepunkt und einem EV gesteckt wird. Alternativ kann ein Fahrzeugsimulator vor allem im Labor das EV ersetzen. **Bild 2** zeigt das Messsystem mit dem Fahrzeugsimulator.

Der Fahrzeugsimulator verhält sich gegenüber der EVSE wie ein EV. Dazu wird auf der einen Seite des Mini InKaMs der Ladepunkt angeschlossen. Die andere Seite wird mit einer Quelle-Senke-Kombination und mit einem PLC-Modem verbunden. Das PLC-Modem wurde von dem Projektpartner TU Dortmund mitentwickelt und wird nun in der Ausgründung Verisco weitergeführt. Dieses Modem realisiert den Kommunikationspart sowohl mit der Pulswei-

**Bild 2:** Messsystem mit dem Fahrzeugsimulator



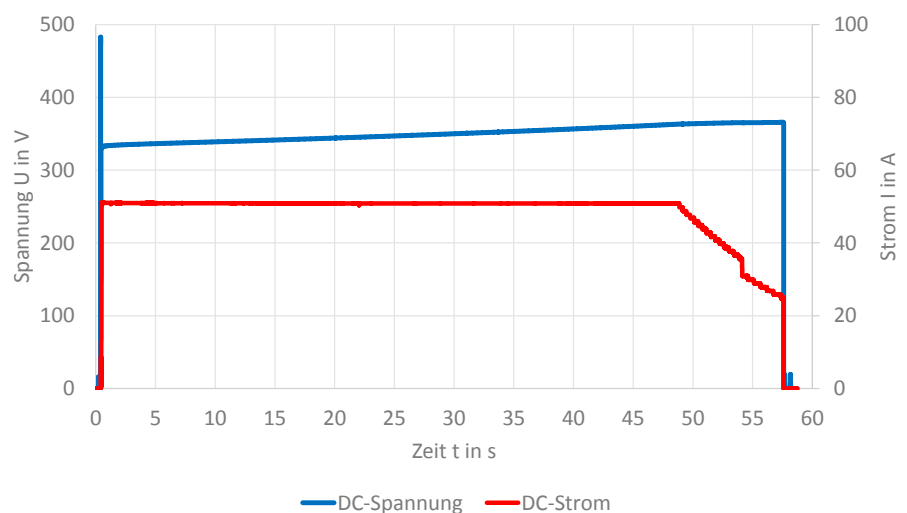
tenmodulation nach DIN EN 61851-1 als auch die Powerline-Communication nach DIN SPEC 70121 und zukünftig nach DIN EN ISO 15118. Damit die angeforderte Leistung auch übertragen werden kann, übernimmt die Quelle-Senke-Kombination den Leistungspart. Zum Messen der Spannungs- und Stromverläufe, die in der Realität Mischgrößen sind, wird ein Leistungsanalysator verwendet. Dieser misst auch die Wirk-, Blind- und Scheinleistung und ist auf die nationalen Normale der Bundesrepublik Deutschland rückgeführt. Die Koordination des Ladevorgangs und die Ansteuerung der Geräte erfolgen mittels eines Laptops. So können mit diesem Messsystem derzeit Ladepunkte bis maximal 850 V und 125 A überwacht werden.

Das Mini InKaMs ist im Inneren wie folgt aufgebaut: Die Leistungspfade werden über Reihenklammern auf einer Tragschiene von der EVSE zum Ausgang verbunden. Dabei befinden sich in den Klammern zusätzliche Leitungen für den Spannungsabgriff, die mittels Buchsen am Gehäuse befestigt sind. Zudem werden die Leitungen zwischen der EVSE und den Klammern durch einen hochgenauen Stromwandler geführt. Dabei wird derzeit ein Nullflusswandler verwendet, der bis zu 200 A messen kann.

## Vor-Ort-Messungen mit dem In-Kabel-Leistungsmesssystem

Eine Vor-Ort-Messung wurde mit einer 22-kW-EVSE und einem Volkswagen e-Golf durchgeführt. Somit befindet sich in diesem Messaufbau das Mini InKaMs zwischen der EVSE und dem e-Golf, wobei der Leistungsanalysator am Mini InKaMs die Spannung und den Strom misst. Diese Messwerte sind über dem gesamten Ladevorgang in **Bild 3** dargestellt.

Zu Beginn steigt die Spannung auf einen Maximalwert von  $U_{\max} \approx 480 \text{ V}$  an und fällt wieder ab, ohne dass ein Strom fließt. Im Anschluss steigt die Spannung über den gesamten Ladevor-



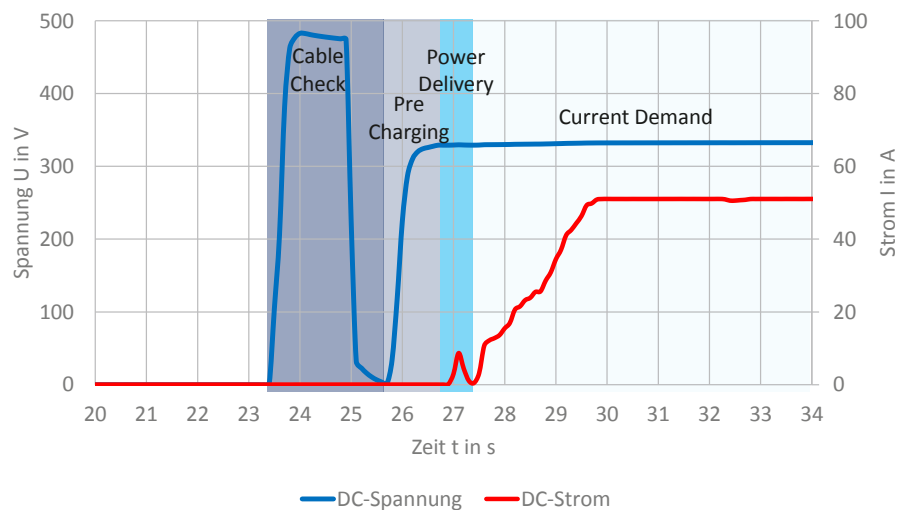
**Bild 3:** Gemessene Spannungen und Ströme mit einem EV

gang von  $U \approx 329 \text{ V}$  auf  $U \approx 365 \text{ V}$  an. Der Strom steigt zunächst nach dem Maximum der Spannung auf einen Maximalwert von  $I_{\text{max}} \approx 51 \text{ A}$  an und bleibt dann ca. 48 min konstant. Danach sinkt der Strom in Stufen auf einen Wert von  $I_{\text{min}} \approx 25 \text{ A}$ , bis die Ladung beendet wird. Um die einzelnen Kommunikationsphasen im Anfangszeitraum näher zu betrachten, stellt **Bild 4** den Bereich der ersten Sekunden des Ladevorgangs dar.

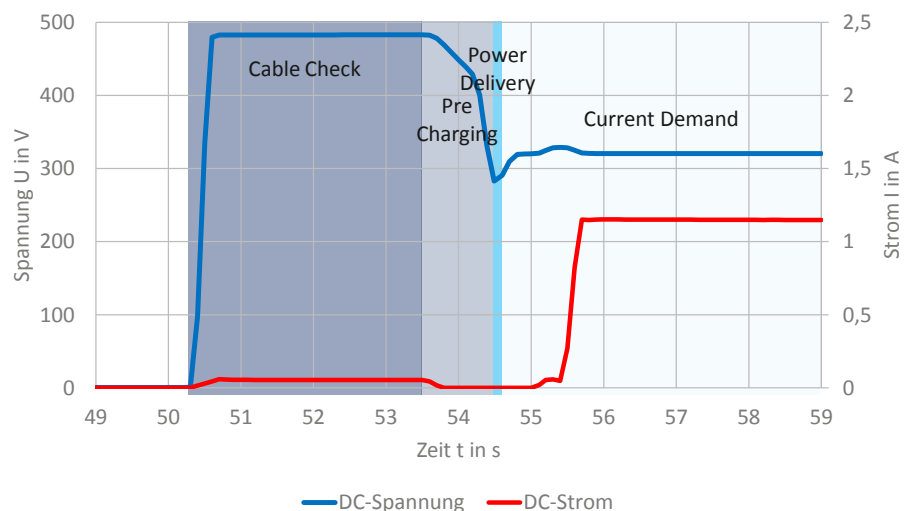
Zunächst steigt nur die Spannung auf einen Maximalwert von  $U_{\text{max}} \approx 480 \text{ V}$  an. Dies ist der Cable Check, in dem das Ladekabel auf einen Kurz- oder Erdschluss überprüft wird. Im Anschluss wird die Spannung zunächst wieder auf ein Minimum gefahren. Dann wird die Pre-Charging-Phase ausgeführt, in der die Ladespannung an die Batteriespannung des EVs angeglichen wird. Danach folgt die Phase Power Delivery. In dieser Phase bestätigt das EV die Ladeparameter. Der Strom steigt in der Phase kurzzeitig bis auf  $I \approx 8,5 \text{ A}$  an. In der anschließenden Phase Current Demand steigt der Strom bis auf einen Wert von  $I_{\text{max}} \approx 51 \text{ A}$  an und bleibt konstant. In dieser Phase wird das EV geladen.

Insgesamt wurde der Volkswagen e-Golf innerhalb von 57 min und 8 s aufgeladen. Dabei war der State of Charge zu Beginn 50,8 % und am Ende 100 %, als das EV den Ladevorgang automatisch beendet hat. Während des Ladevorgangs wurde eine gemessene Energiemenge von  $W_{\text{Leistungsanalysator}} \approx 16,20 \text{ kWh}$  übertragen. An der EVSE wurde eine Energiemenge von  $W_{\text{EVSE}} \approx 16,24 \text{ kWh}$  angezeigt.

Damit ist die über die EVSE abgerechnete Energiemenge um 0,25 % größer als die gemessene Energiemenge. Diese Abweichung liegt innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen für DC-EVSE, die nach dem REA-Dokument 6-A [3] und Anhang V der Richtlinie 2014/32/EU [4] bei einer relativen Messabweichung von 3,5 % liegen. Diese maximal zulässige relative Messabweichung wird damit eingehalten.



**Bild 4:** Gemessene Spannungen und Ströme mit einem EV zu Beginn des Ladevorgangs



**Bild 5:** Gemessene Spannungen und Ströme mit dem Fahrzeugsimulator zu Beginn des Ladevorgangs

### Labor-Messungen mit dem In-Kabel-Leistungsmesssystem

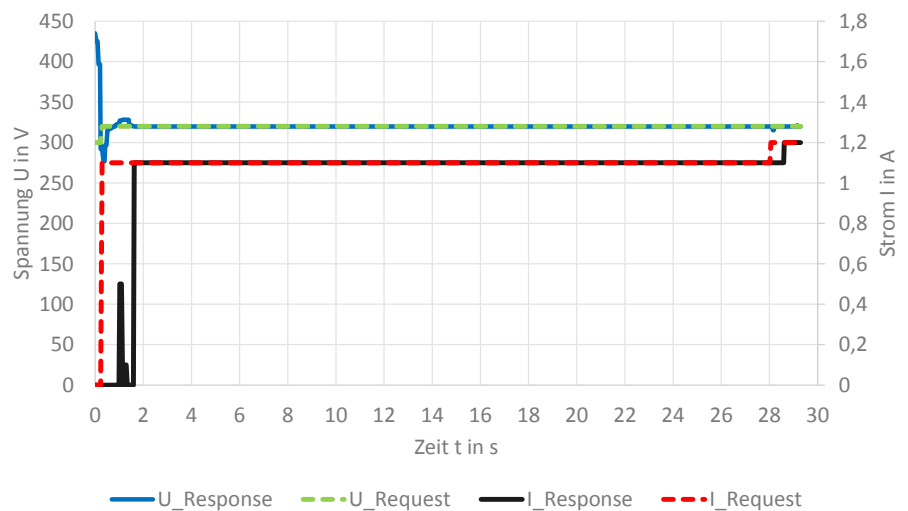
Um auch die kommunizierten Daten mitschreiben und einzelne Spannungen und Ströme anfahren zu können, wird ein Fahrzeugsimulator genutzt. Dieser verwendet die gleichen Ladephasen wie ein EV. **Bild 5** zeigt diese Ladephasen zu Beginn des Ladevorgangs.

Diese Messung zeigt, dass der Cable Check wie beim EV angefahren wird. Danach wird die Ladespannung auf die Batteriespannung angeglichen, die auf  $U \approx 300 \text{ V}$  eingestellt wurde.

Im Anschluss folgt nach der Power-Delivery-Phase die Energieübertragung in der Current-Demand-Phase mit den eingestellten Werten von  $U \approx 320,5 \text{ V}$  und  $I \approx 1,1 \text{ A}$ . Ein Vergleich der Spannungs- und Stromverläufe des Fahrzeugsimulators mit den des EV zeigt, dass der Ladevorgang während der Kommunikationsphasen sehr ähnlich ist. Lediglich die Spannung wird beim Fahrzeugsimulator am Ende des Cable Checks nicht wieder auf Null gefahren, sondern direkt auf die Batteriespannung. Dies ist auch zulässig.

Darüber hinaus können mithilfe der Fahrzeugsimulation die zwischen der EVSE und dem EV ausgetauschten TCP/IP-Nachrichten mitgeschrieben werden. Die dabei übertragenen Spannungs- und Stromwerte zeigt **Bild 6**. Dabei stellen die gepunkteten Linien die angeforderten Werte und die durchgezogenen Linien die Messwerte der EVSE dar.

Die ersten Spannungs- und Stromwerte werden nach dem Cable Check ausgetauscht. Daher beginnt **Bild 6** in der Phase Pre Charging, in der die eingestellte Batteriespannung  $U_{\text{Batt}} \approx 300 \text{ V}$  angefahren wird. Sobald die EVSE Ihre Spannung auf diesen Wert reduziert hat, beginnt nach der kurzen Power-Delivery-Phase die Current-Demand-Phase mit den angeforderten Werten von  $U \approx 320,5 \text{ V}$  und  $I \approx 1,1 \text{ A}$ . Rechts im **Bild 6** lässt sich zudem die Anforderung des ersten Stromanstiegs auf  $I \approx 1,2 \text{ A}$  erkennen. Dabei darf die Steuerungsverzögerung nach [5] maximal  $1,0 \text{ s}$  betragen, die mit ca.  $0,6 \text{ s}$  eingehalten wird. Dabei darf jedoch die Toleranz zwischen dem Ausgangsstrom der EVSE und dem von dem EV gesendeten Wert nach [5] bei einem geforderten Wert von  $I < 50 \text{ A}$  maximal  $\Delta I_{\text{max}} = 2,5 \text{ A}$  betragen. Somit ist bei den Messergebnissen des Fahrzeugsimulators zu beachten, dass aufgrund örtlicher Bedingungen im Vergleich zur Praxis mit sehr geringen Strömen gearbeitet wurde und sich die EVSE damit in einem unüblichen Arbeitspunkt befand. Der maximale Strom während des Ladevorgangs betrug bei der Fahrzeugsimulation  $I_{\text{Simulation,max}} \approx 3,0 \text{ A}$ , wohingegen der Volkswagen e-Golf mit einem minimalen Strom von  $I_{\text{e-Golf,min}} \approx 25 \text{ A}$  geladen wurde.



**Bild 6:** Vergleich der vom EV angeforderten und von der EVSE gemessenen Spannungen und Ströme

## Fazit

Insgesamt kann mit diesem Messsystem sowohl im Labor als auch vor Ort auf die nationalen Normale rückgeführte Leistungs- und Energiemessungen von Ladevorgängen an Ladepunkten durchgeführt werden. So kann überprüft werden, ob die von Ladepunkten abgegebene Energiemenge im Bereich gesetzlicher Grenzen mit der Energiemenge übereinstimmt, die von der EVSE abgerechnet wird. Darüber hinaus kann zur Überprüfung im Labor ein Fahrzeugsimulator genutzt werden, der flexible Ladekurven reproduzierbar und vergleichbar abfahren kann.



**Jannes Langemann, B.Eng.**

Seit 2019: Mitarbeiter des Fachbereichs Elektrische Energiemesstechnik

2014–2019: Duales Studium der Elektro- und Informationstechnik an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften in Wolfenbüttel

2014–2017: Ausbildung zum Elektroniker für Geräte und Systeme an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig im Rahmen des dualen Studiums

Kontakt: Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Tel.: +49 531 592-2397  
jannes.langemann@ptb.de

Somit trägt dieses Messsystem zum metrologischen Kundenschutz in der Elektromobilität bei.

## Literatur

- [1] DIN EN 61851-1:2012-01. Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- [2] DIN SPEC 70121:2014-12. Elektromobilität - Digitale Kommunikation zwischen einer Gleichstrom-Ladestation und einem Elektrofahrzeug zur Regelung der Gleichstromladung im Verbund-Ladesystem.
- [3] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (2017): Regeln und Erkenntnisse des Regelermittlungsausschusses nach § 46 des Mess- und Eichgesetzes für Messgeräte und Zusatzeinrichtungen im Anwendungsbereich der E-Mobilität. <https://oar.ptb.de/files/download/58d8ffad-4c9184f55a2f94e3> (Zugriff am 23.05.2019).
- [4] Europäisches Parlament (2014): Richtlinie 2014/32/EU des Europäischen Parlaments und des Rates. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0032&from=DE> (Zugriff am 23.05.2019).
- [5] DIN EN IEC 61851-23:2014. Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 23: Gleichstromladestationen für Elektrofahrzeuge.