

# Konzept und Prototyp zur Überprüfung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag von DC-Ladestationen für Elektrofahrzeuge

**Daniel Herbst(\*)<sup>1</sup>, Benjamin Jauk<sup>1</sup>, Ernst Schmutzner<sup>1</sup>, Robert Schürhuber<sup>1</sup>,  
Manfred Unterweger<sup>2</sup>, Christian Wolf<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Inffeldgasse 18/I,  
Tel.: +43 316 873-7551, [www.ifea.tugraz.at](http://www.ifea.tugraz.at),  
[daniel.herbst@tugraz.at](mailto:daniel.herbst@tugraz.at), [benjamin.jauk@student.tugraz.at](mailto:benjamin.jauk@student.tugraz.at),  
[schmutzner@tugraz.at](mailto:schmutzner@tugraz.at), [robert.schuerhuber@tugraz.at](mailto:robert.schuerhuber@tugraz.at)

<sup>2</sup> Energie Steiermark Technik GmbH, Neuholdaugasse 56, 8010 Graz,  
Tel.: +43 316 9000-55880, [manfred.unterweger@e-steiermark.com](mailto:manfred.unterweger@e-steiermark.com),  
[www.e-steiermark.com](http://www.e-steiermark.com)

<sup>3</sup> Energie Graz GmbH & Co KG, Schönaugürtel 65, 8010 Graz, Tel.: +43 316 8057-1441,  
[c.wolf@energie-graz.at](mailto:c.wolf@energie-graz.at), [www.energie-graz.at](http://www.energie-graz.at)

## 1 Einleitung

Aufgrund der steigenden Nachfrage an Elektrofahrzeugen (EV, electric vehicle) nimmt auch der Bedarf an Ladestationen (EVSE, electric vehicle supply equipment) stetig zu. Mit der steigenden Zahl an Ladestationen erlangen praxistaugliche Lösungen im Bereich der Planung, der Errichtung, des Betriebs und insbesondere der Überprüfung von Ladestationen zur Gewährleistung der Sicherheit von Personen, Betriebsmitteln und Anlagen immer größere Bedeutung. Wichtige, zurzeit noch nicht einheitlich und eindeutig beantwortete Fragestellungen betreffen dabei einerseits die baulichen und andererseits die elektrotechnischen Voraussetzungen bei der Errichtung und dem Betrieb einer EVSE sowie die daran geknüpften Fragestellungen betreffend die Einhaltung der Schutzmaßnahmen zum Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden zwei verschiedene Arten von EVSE unterschieden:

- Wechselstrom-Ladestationen (AC-EVSE):

Ladestationen, welche an das 230/400 V, 50-Hz-Wechselstromnetz angeschlossen werden und ausgangseitig dem Fahrzeug Ladeenergie in Form von 230/400 V, 50 Hz Wechselstrom zur Verfügung stellen. Ein Ladevorgang kann dabei einerseits ohne Kommunikation oder andererseits mit Kommunikation zwischen EV und EVSE ablaufen.

Die Ladeleistungen liegen dabei in folgenden Bereichen:

- 230 V, einphasig, 16 A – 3,7 kW (Schutzkontaktsteckdose/Schuko-Steckdose)
- 400 V, dreiphasig, 16 A – 11 kW (Typ2-Stecker vgl. Kraftsteckdose/CEE-Steck-dose 16 A)
- 400 V, dreiphasig, 32 A – 22 kW (Typ2-Stecker vgl. Kraftsteckdose/CEE-Steck-dose 32 A)

• Gleichstrom-Schnellladestationen (DC-EVSE):

Ladestationen, welche an das 230/400 V, 50-Hz-Wechselstromnetz angeschlossen werden und ausgangsseitig dem Fahrzeug Ladeenergie in Form von Gleichstrom zur Verfügung stellen. Ein Ladevorgang läuft ausschließlich mit Kommunikation zwischen EV und EVSE ab.

Die Ladeleistungen liegen dabei in folgenden Bereichen:

- bis 500 V, bis 125 A – bis 50 kW (Combo2/CCS, CHAdeMO)  
→ Stand der Technik
- bis 800 V, bis 440 A – bis 350 kW (Combo2/CCS & CHAdeMO, beide mit Zusatzkühlung)  
→ zurzeit im Entwicklungsstadium; die derzeitige Diskussion zeigt, dass leistungsstarke Ladestationen immer mehr nachgefragt werden.

In der Tabelle 1 sind die zurzeit gängigsten Lade-Steckverbinder bzw. Ladesysteme und ihre Kenndaten zusammengefasst.

**Tabelle 1: Steckverbinder Elektromobilität**

Steckverbinder/ Ladesystem	Schuko	Typ 1	Typ 2	CHAdeMO	CCS
Spannung	230 V	230 V	400 V	500 V	500 V
Strom	10 A – 16 A	≤ 32 A	≤ 63 A	≤ 125 A	≤ 125 A
Phase	1-phasig AC	1-phasig AC	3-phasig AC	DC	DC
Leistung	≤ 3,7 kW	≤ 7,4 kW	≤ 22 kW	≤ 50 kW	≤ 50 kW
Kommunikation mit Fahrzeug	n.v.	CP, CS <sup>1</sup>	CP, PP <sup>1</sup>	CP, CP2, CS, CP3, CAN-H, CAN-L <sup>2</sup>	CP, PP <sup>3</sup>

Die im Folgenden beschriebene Prüfanordnung beschäftigt sich mit den letzten drei Spalten aus Tabelle 1, also mit Typ2-, CHAdeMO- sowie CCS-Ladeeinrichtungen und den Ladevorgängen.

<sup>1</sup> Nach EN 61851-22 [13]:

CP...Control Pilot, Steuerpilot mit Funktionen nach EN 61851-1 [4]  
 PP...Annäherungserkennung, allgemeine Funktionen nach EN 61851-1 [4]

<sup>2</sup> Nach EN 61851-23 [5]:

CP...Steuerpilot zur Anzeige des Start/Stop-Zustandes der Station  
 CP2...Steuerpilot zur Anzeige des Start/Stop-Zustandes der Station  
 CS...Pilotleitung zur Anzeige des Zustandes des Anschlusses der Fahrzeugsteckvorrichtung  
 CP3...Steuerpilot zur Bestätigung, dass das Fahrzeug bereit zum Laden ist  
 COM1 & COM2...CAN-H & CAN-L...Signalleitungspaar zur digitalen Kommunikation

<sup>3</sup> Nach EN 61851-23 [5]:

CP...Control Pilot, Steuerpilot mit Funktionen nach EN 61851-1 [4]  
 PP...Annäherungserkennung, allgemeine Funktionen nach EN 61851-1 [4]

Für die Überprüfung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag von **Wechselstrom-Ladestationen** (im Speziellen für die o.g. Typ2-Steckverbinder-Anschlusspunkte) sind am Markt bereits Lösungen für konventionelle Installationsprüfgeräte (Abbildung 1) vorhanden. Mit Hilfe von Adapterboxen (Abbildung 2) kann die EVSE mittels Adapter für den Steckverbinder mit dem Prüfgerät verbunden werden und das Fahrzeug sowie seine Kommunikation mit der EVSE rudimentär emuliert werden.



Abbildung 1: Prüfgerät zur normenkonformen Überprüfung der Schutzmaßnahmen (ugs. Installationstester) [11]

**Gleichstromladestationen** für Elektrofahrzeuge stellen hinsichtlich der Überprüfung der elektrotechnischen Schutzmaßnahmen noch ein Novum dar. Elektrisch gesehen stellt das System bestehend aus einer an das Wechselstromnetz angeschlossenen DC-EVSE und einem damit verbundenen Elektrofahrzeug üblicherweise ein sogenanntes IT-System dar (Gesamtsystem siehe Abbildung 3). Beim Ladevorgang wird ein Potentialausgleich zwischen Ladestationsgehäuse und Fahrzeug-Chassis mittels Schutzpotentialausgleichsleiter (PE, protective earth) hergestellt. Zusätzlich zu diesem PE-Leiter wird die wirkliche Ladeenergie mit zwei Leitern (DC+ und DC-) übertragen sowie die Kommunikation zwischen EV und EVSE mittels Signalleitung(en) gesichert. Bei einem IT-System werden die beiden Leistungsleiter (DC+ und DC-) gegenüber sämtlichen durch Personen berührbaren Teile isoliert geführt. Die Isolation beispielsweise zwischen Gehäuse bzw. Chassis und der Leistungsleiter wird dabei regelmäßig mit Hilfe eines in der Ladestation verbauten Isolationsüberwachungsgeräts (IMD, insulation measurement device) überwacht. Zusätzlich zu den genannten Leitungen sind je nach Ladesystem auch noch weitere Signalleitungen zur Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug ausgeführt (eine entsprechende Übersicht ist Tabelle 1 zu entnehmen).



Abbildung 2: Prüfbox für Ladestationen [12]

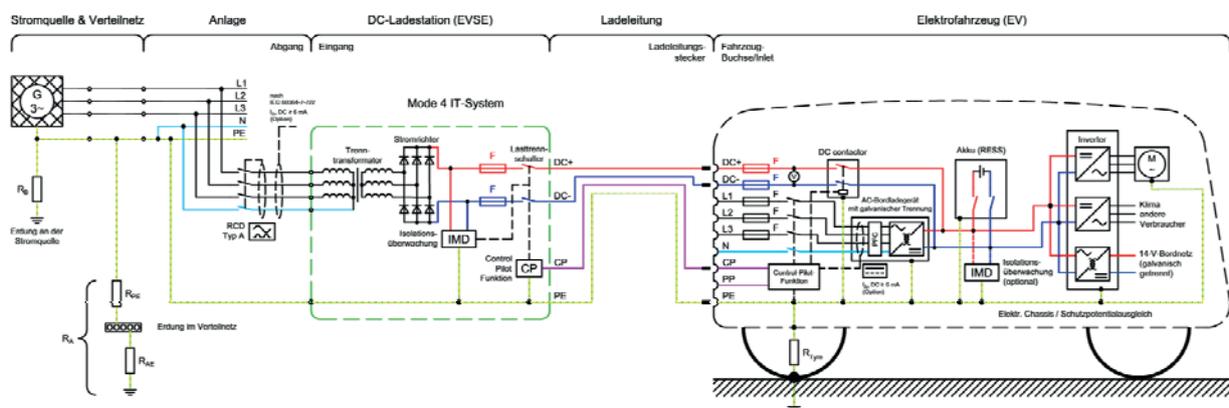


Abbildung 3: Gesamtsystem DC-Ladestation und Elektrofahrzeug (ähnlich [1])

Entsprechende Prüfgeräte zur direkten schutztechnischen Überprüfung eines solchen IT-Systems und damit zur Überprüfung von DC-EVSE mittels Fahrzeugemulation (für das angeschlossene Fahrzeug) sind derzeit am Markt noch nicht verfügbar. Auch sind normative Vorgaben hinsichtlich sicherem Betrieb, Verantwortlichkeiten, Prüfungsmodalitäten und auch die Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben noch nicht geschlossen erarbeitet.

## 2 Methodik

Aufgrund der immer schneller wachsenden Zahl bereits im Betrieb befindender DC-Schnellladestationen steigt damit die Notwendigkeit der vorschriftenkonformen Überprüfung durch Errichter und Betreiber. Im Zuge dieser Arbeit soll nun ein geeignetes Prüfverfahren und ein Prototyp eines entsprechenden Prüfgeräts entwickelt und designt werden um Gleichstrom-Schnellladestationen regelmäßig überprüfen zu können und dadurch langfristig die Verfügbarkeit und Sicherheit für die Anwender und die Betreiber der Stationen gewährleisten zu können. Weiters sollen Vorschläge für Normen bzw. Richtlinien erarbeitet werden.

### 2.1 Aktuelle Vorschriften und Normensituation

Im Zuge der Evaluierung der auf dieses Projekt anzuwendenden Vorschriftenwerke wurde eine Vielzahl an Gesetzen, Normen sowie Vorschriften gesichtet und auf ihre Anwendbarkeit hinsichtlich der Thematik überprüft. Auszugsweise können hierbei folgende genannt werden:

- Elektrotechnikgesetz (ETG) 1992 [2]
- Elektroschutzverordnung (ESV) 2012 [3]
- ÖVE/ÖNORM EN 61851-1  
Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge – Teil 1: Allgemeine Anforderungen [4]
- ÖVE/ÖNORM EN 61851-23  
Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge – Teil 23: Gleichstromladestationen für Elektrofahrzeuge [5]
- ÖVE/ÖNORM EN 62196-3  
Stecker, Steckdosen, Fahrzeugkupplungen und Fahrzeugstecker - Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen – Teil 3: Anforderungen an und Hauptmaße für Stifte und Buchsen für die Austauschbarkeit von Fahrzeugsteckvorrichtungen zum dedizierten Laden mit Gleichstrom und als kombinierte Ausführung [6]
- EN 60364 (VDE 0100) – Errichten von Niederspannungsanlagen [7]
- ÖVE/ÖNORM E 8001-1  
Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis ~1000 V und = 1500 V [8]
- ÖVE/ÖNORM EN 61439-1  
Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen [9]
- DIN VDE V 0122-2-300 (ENTWURF) -  
Spezifikation zur Konformitätsprüfung zu IEC 61851-23 [10]

## 2.2 Zu überprüfende Fehlerfälle

Zur Erfüllung der Sicherheitsvorschriften und Normen (siehe Kapitel 2.1) sind dabei folgende Betriebs- und Fehlerzustände zu berücksichtigen:

- Unterbrechung sämtlicher Signalleitungen
- Unterbrechung der DC-Verbindungen (DC+ und/oder DC-)
- Unterbrechung des PE-Leiters
- Erdschluss über wählbare Vorwiderstände (DC+ oder DC- gegen PE)
- Kurzschluss über wählbare Vorwiderstände (DC+ gegen DC-)
- Simulationen eines Störlichtbogens in einer fehlerhaften Leitung

## 3 Prüfgerät und Messungen

### 3.1 Konzept des Prüfgeräts

Basierend auf den in Kapitel 2.2 angeführten Fehlerfällen wurde ein Konzept für ein Prüfgerät entwickelt, mit dem passende Prüfroutinen unter Berücksichtigung der Vorschriften zum Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag (maximal zulässige Abschaltzeiten, Fehlerspannungen, auch Funktionalität, Ströme, Spannungen, Leistungen, ...) durchgeführt werden können.

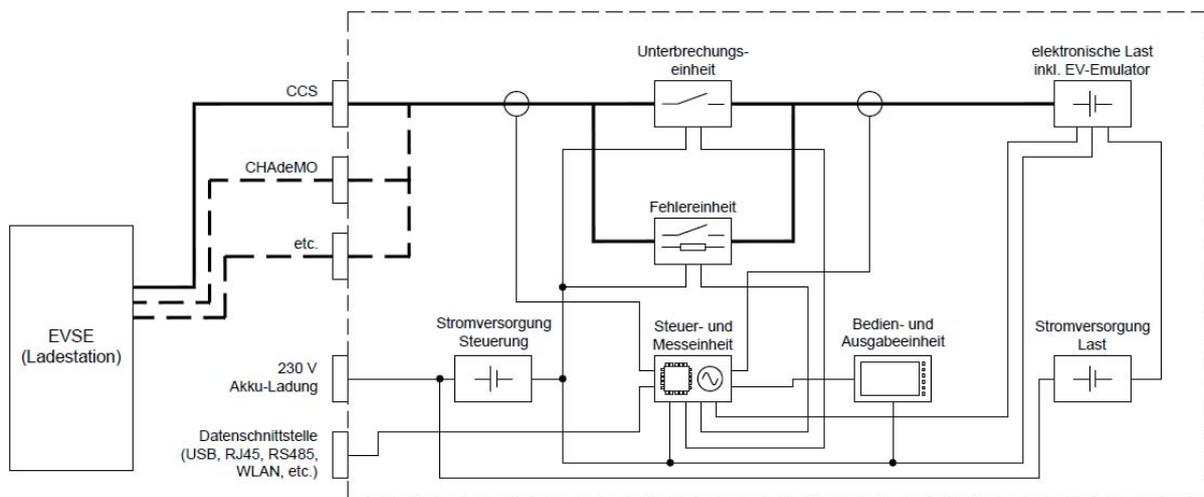


Abbildung 4: Schema Prüfgerät für EVSE

In Abbildung 4 befindet sich auf der linken Seite die zu überprüfende Ladestation (EVSE) und auf der rechten Seite das eigentliche Schema des Prüfgeräts. Eingangsseitig können dabei unterschiedliche Ladestationen mit verschiedenen Steckverbindern (z.B. Combo2/CCS, CHAdeMO etc.) und somit verschiedene Ladesysteme angeschlossen werden. Die beiden mittleren Blöcke bilden die Unterbrechungseinheit zur Simulation von Leitungsunterbrechungen und die Fehlereinheit zur Simulation eines Erd- oder Kurzschlusses. Weiter rechts befindet sich der Block der elektronischen Last welcher den Akkumulator eines Elektrofahrzeugs sowie die damit verbundene Kommunikation simuliert. Zusätzlich findet man noch die Steuer- und Messeinheit, eine Bedien- und Ausgabereinheit sowie die Stromversorgung für die Steuerung und für die elektronische Last.

### 3.2 Messverteiler

Zur messtechnischen Erfassung sämtlicher Spannungen, Ströme und Signalverläufe die bei Ladevorgängen auftreten, sowie zur Fehlersimulation wurde ein Messverteiler aufgebaut, welcher als Schnittstelle zwischen einer Ladestation und einem Elektrofahrzeug dient. Abbildung 5 zeigt den prinzipiellen Messaufbau mit DC-Ladestation, Messverteiler (Messbox) und Elektrofahrzeug.

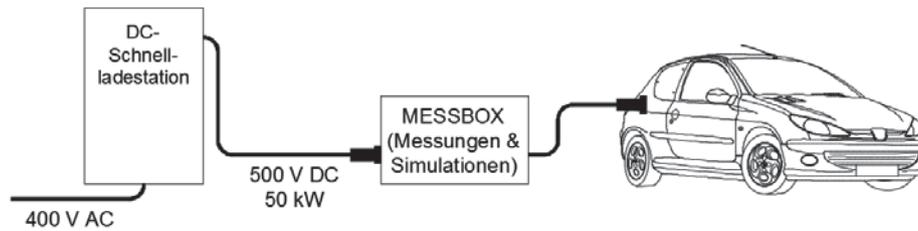


Abbildung 5: Schema Messaufbau

In Abbildung 6 ist das entwickelte Prüfgerät (Messverteiler) im Detail dargestellt.

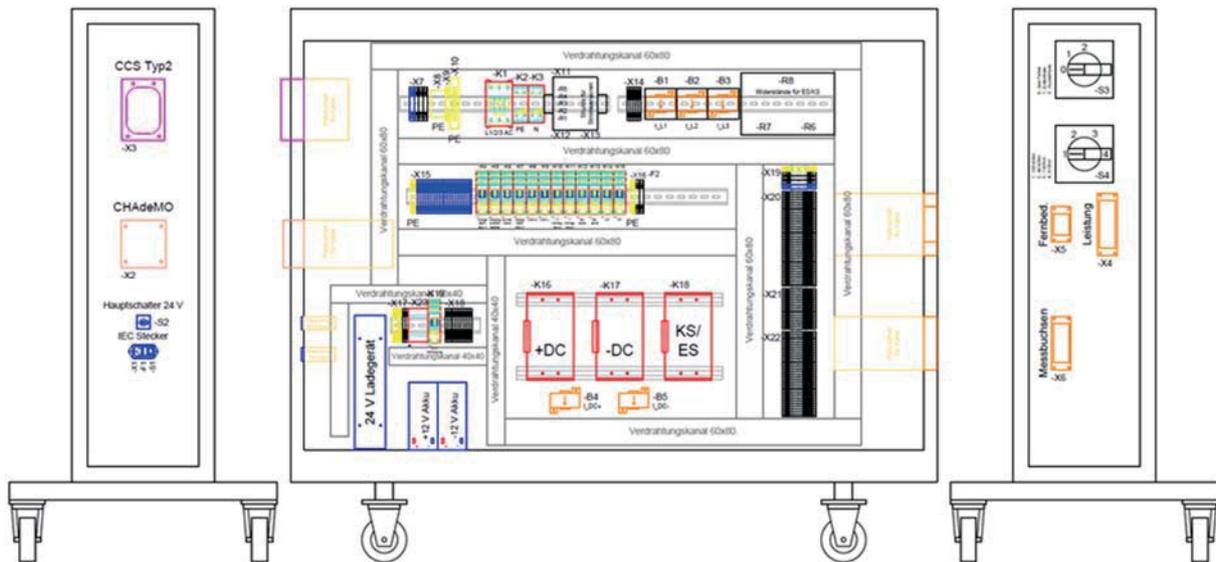


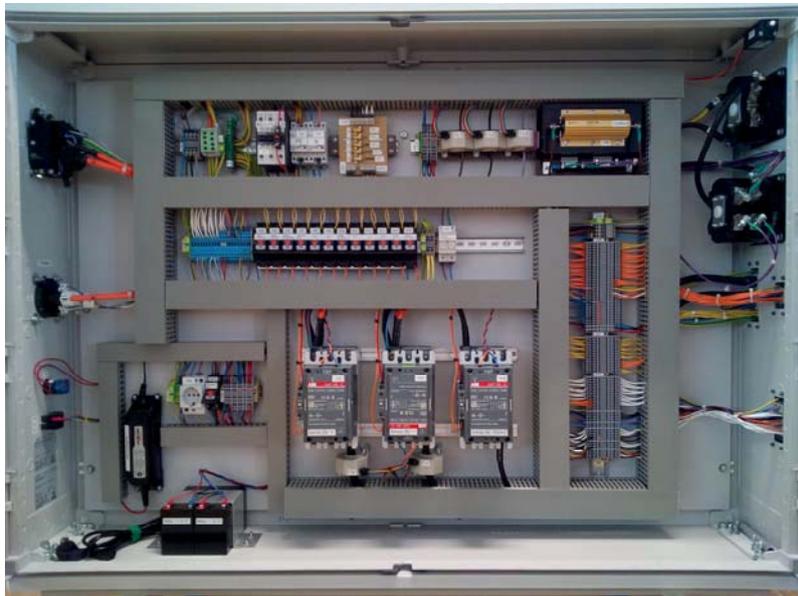
Abbildung 6: CAD-Ansicht Messverteiler

Man erkennt links die Eingangsseite, also die der Ladestation zugewandte Seite mit jeweils einem/einer Inlet/Buchse für CCS Combo2/Typ2 und CHAdeMO sowie eine 230 V Kaltgerätebuchse zur Versorgung der Steuerung. Rechts erkennt man zwei Schalter zur Vorwahl der Fehlerart (kein Fehler, Erdschluss oder Kurzschluss) bzw. des Fehlerwiderstandes (100 kΩ, 40 kΩ, 1 kΩ oder „0 Ω“) sowie die Anschlussbuchsen für die Ladeleitung (Typ2, CCS Combo2 oder CHAdeMO), die kabelgebundene Fernbedienung und die Messbox zur Messsignal-Aufnahme.

Der Innenaufbau des Messverteilers kann wie folgt beschrieben werden.

- Unten links: Spannungsversorgung (Ladegerät, Klemmen, 2 x 12 V Bleigelakku);
- Oben von links nach rechts: AC-Klemmen, PE-Klemmen, AC-Schütz (L1/2/3), PE-Schütz, N-Schütz, Shunt-Widerstände für Stromsensoren, Klemmen für Steuerspannung, Stromsensoren für AC-Messungen, Fehlerwiderstände;
- Mitte von links nach rechts: Klemmen für Signalleitungen von den Inlets ladestationsseitig kommend, Relais (Signalleitungen), Sicherungen für die Spannungsmessung;
- Unten Mitte: DC-Leistungsschütz mit Stromsensor für Gleichstrommessung (Leistungsleitung DC+), DC-Leistungsschütz mit Stromsensor für Gleichstrommessung (Leistungsleitung DC-), DC-Leistungsschütz (Fehler Durchschaltung);
- Unten rechts: Klemmen ausgangsseitig (L1/2/3 geschaltet, N geschaltet, PE ungeschaltet sowie geschaltet, sämtliche Signalleitungen geschaltet und ungeschaltet, Steuerleitungen, Steuerspannung).

Die Abbildung 7 zeigt die Innenansicht des fertigen Messverteilers.



**Abbildung 7: Messverteiler Innenansicht**

### 3.3 Messergebnisse

In Abbildung 8 ist ein mit Hilfe des zuvor beschriebenen Messverteilers aufgezeichneter realer Ladevorgang eines Elektrofahrzeuges an einer DC-Ladestation dargestellt.

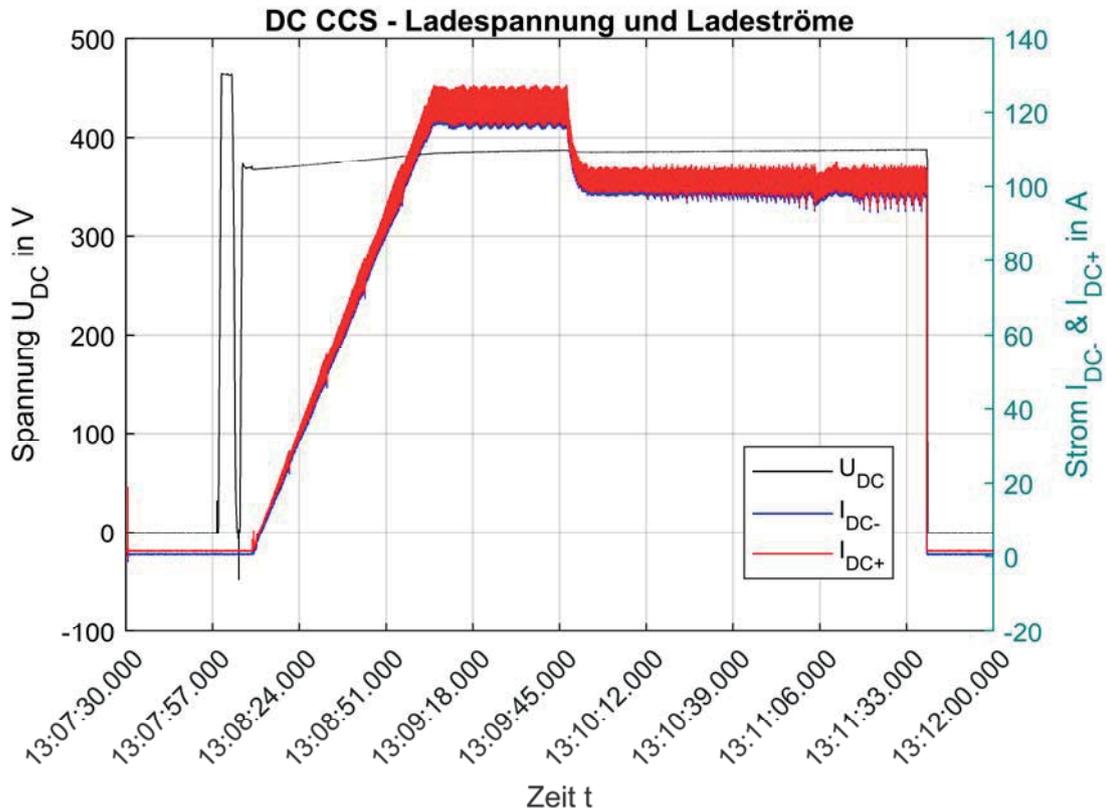


Abbildung 8: CCS Ladevorgang DC (fehlerfreier Zustand)

Bei dem in Abbildung 8 dargestellten DC-Ladevorgang handelt es sich um die Ladung eines Elektrofahrzeuges mit der Ladebetriebsart 4 laut ÖVE/ÖNORM EN 61851-1 [4] (CCS, Combined Charging System, vgl. ÖVE/ÖNORM EN 61851-23, Anhang CC [5]). Die Abszisse stellt die den Messwerten zugeordnete Uhrzeit bzw. den entsprechenden Zeitstempel dar. Auf der linken Ordinate ist die Lade-Gleichspannung  $U_{DC}$  aufgetragen, auf der rechten Ordinate die beiden Ströme  $I_{DC-}$  und  $I_{DC+}$ . Im linken Bereich des Diagramms ( $t_0 \approx 13:07:57$ ) erkennt man eine rechteckige Spannungsspitze mit  $U_{DC,max} \approx 460$  V welche sehr steil rampenförmig ansteigt. Dies lässt auf ein Handshake-Verfahren zwischen Fahrzeug und Ladestation sowie eine Isolationsprüfung der Ladeleitung schließen. Im weiteren Verlauf des Ladevorgangs steigt die Spannung von einem Ausgangswert von  $U_{DC,0} \approx 370$  V bis auf  $U_{DC,1} \approx 390$  V weiter an. Wenn man nun den Strom  $I_{DC+}$  (gilt auch für  $I_{DC-}$ ) betrachtet, lässt sich erkennen, dass dieser nach erfolgreichem Handshake bei  $t_1 \approx 13:08:10$  rampenförmig bis zu einem  $I_{DC+,max} \approx 120$  A bei  $t_2 \approx 13:09:00$  ansteigt. Dieser Zeitraum deckt sich mit dem zuvor beschriebenen Zeitraum für den Anstieg der Spannung. Von  $t_2$  bis  $t_3 \approx 13:09:45$  bleibt der Ladestrom  $I_{DC+,1} \approx 120$  A, ab  $t_3$  sinkt der Strom ab und pendelt sich bei  $I_{DC+,2} \approx 100$  A ein. Dieser Stromwert wird bis zur Beendigung des Ladevorganges bei  $t_4 \approx 13:11:40$  konstant gehalten.

Abbildung 9 zeigt einen beispielhaften realen CHAdeMO-Ladevorgang eines Elektrofahrzeuges an einer DC-Ladestation.

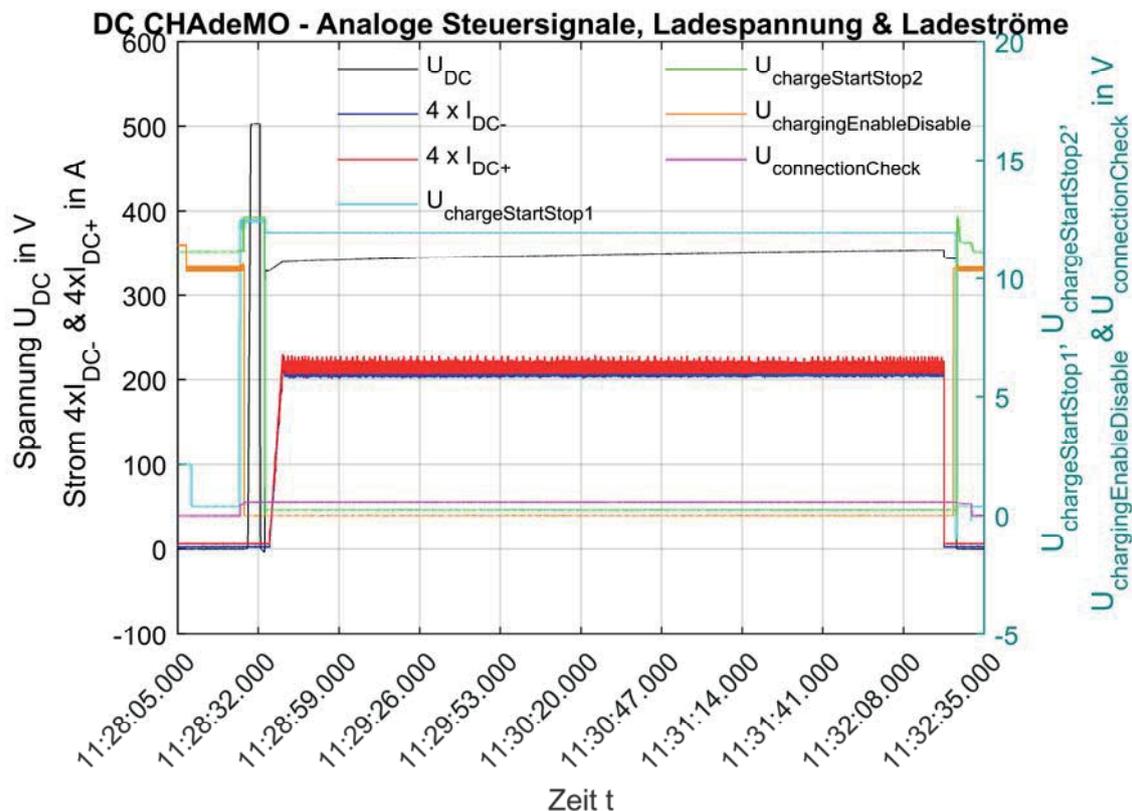


Abbildung 9: CHAdeMO Ladevorgang DC (fehlerfreier Zustand)

Es handelt sich in Abbildung 9 um die Darstellung eines DC-Ladevorgangs des CHAdeMO Standards (vgl. ÖVE/ÖNORM EN 61851-23, Anhang AA [5]). Die Abszisse stellt die den Messwerten zugeordnete Uhrzeit bzw. den entsprechenden Zeitstempel dar. Auf der linken Ordinate sind die Lade-Gleichspannung  $U_{DC}$  sowie die beiden vierfachen Ladeströme  $4xI_{DC-}$  und  $4xI_{DC+}$  aufgetragen, auf der rechten Ordinate die Verläufe der analogen Steuersignale „charger start/stop 1“, „charger start/stop 2“, „charging enable/disable“ sowie „connection check“. Vor Beginn des eigentlichen Ladevorgangs ( $t_0 \approx 11:28:32$ ) kann erneut eine Spannungsspitze mit  $U_{DC,max} \approx 500$  V beobachtet werden (vgl. mit Abbildung 8). Hierbei kann auch wieder auf ein Handshake-Verfahren zwischen Ladestation und Fahrzeug geschlossen werden. Auch in diesem Fall ist ein rampenförmiger Anstieg der Spannung sowie des Stroms im Bereich des Beginns des Ladevorgangs zu erkennen ( $t \approx 11:28:40$ ). Während des Ladevorgangs steigt die Spannung stetig im Bereich von  $U_{DC,0} \approx 340$  V bis  $U_{DC,1} \approx 350$  V, der Ladestrom bleibt konstant bei  $I_{DC+} \approx 200/4$  A = 50 A. Auf die Funktion bzw. die Signalverläufe der Steuersignale wird hier nicht näher eingegangen.

Als Beispiel einer Simulation eines Fehlerfalls (realer, mittels Messverteiler bewusst herbeigeführter Fehler) dient Abbildung 10, hier wird die Unterbrechung des PE-Leiters während eines CCS-Ladevorgangs dargestellt.

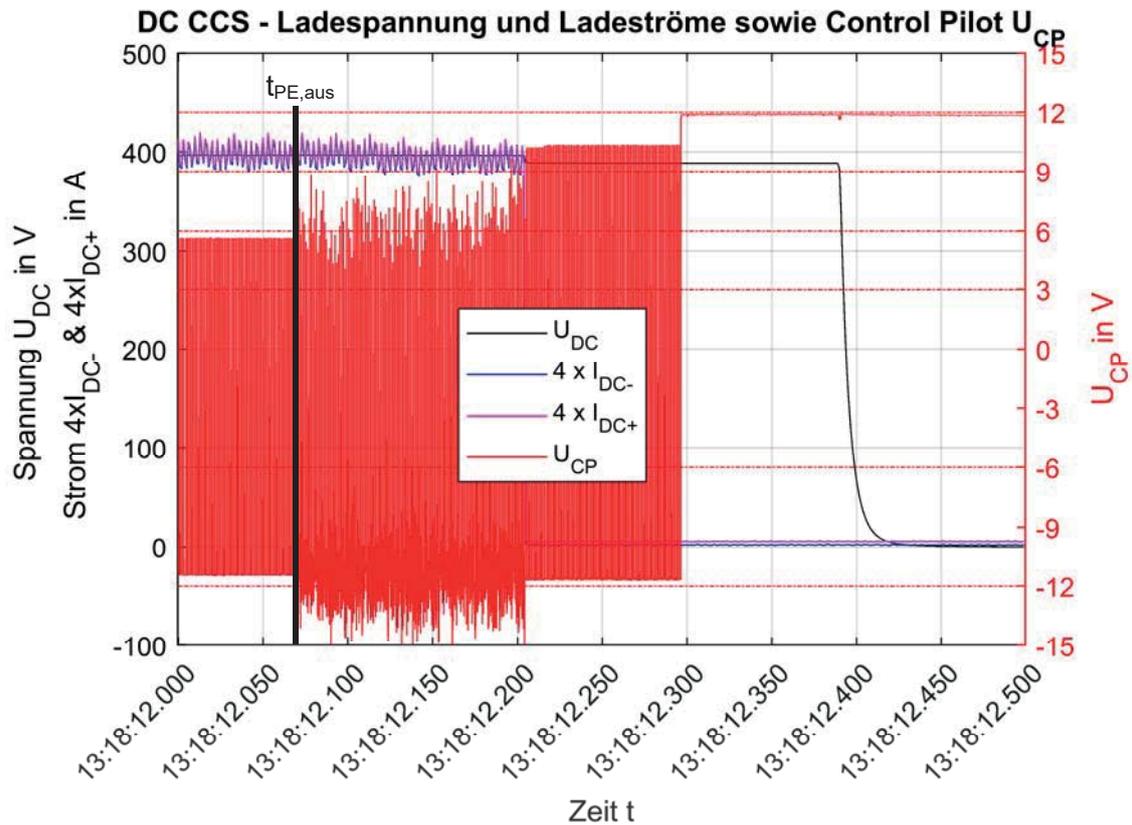


Abbildung 10: CCS-Ladevorgang DC – Fehler: Unterbrechung PE-Leiter ( $U_{DC}$ ,  $I_{DC}$ ,  $U_{CP}$ )

Bei dem in Abbildung 10 dargestellten DC-Ladevorgang handelt es sich um die Ladung eines Elektrofahrzeuges mit der Ladebetriebsart 4 laut ÖVE/ÖNORM EN 61851-1 [4] (CCS, Combined Charging System). Die Abszisse stellt die den Messwerten zugeordnete Uhrzeit bzw. den entsprechenden Zeitstempel dar. Auf der linken Ordinate sind die Lade-Gleichspannung  $U_{DC}$  sowie die beiden vierfachen Ladeströme  $4xI_{DC-}$  und  $4xI_{DC+}$  aufgetragen, auf der rechten Ordinate der Verlauf des Steuersignals CP (Control Pilot, Signalspannung bezogen auf PE). Man erkennt, dass im linken Bereich des Diagramms ab  $t_{PE,aus} = 13:18:12,070$  deutliche Störungen im Verlauf von  $U_{CP}$  auftreten. Da es sich bei dem in Abbildung 10 dargestellten Verlauf laut Dokumentation der Messung um den Fehlerfall einer Unterbrechung des PE-Leiters (Schutzleiter) handelt und das Signal  $U_{CP}$  auf PE bezogen wird, kann der Zeitpunkt des Auftretens des Fehlers somit mit dem Zeitpunkt des Auftretens der Störung des Signals  $U_{CP}$  gleichgesetzt werden.

In Abbildung 11 ist derselbe Ladevorgang abgebildet wie in Abbildung 10, jedoch zur besseren Darstellung ohne  $U_{CP}$ .

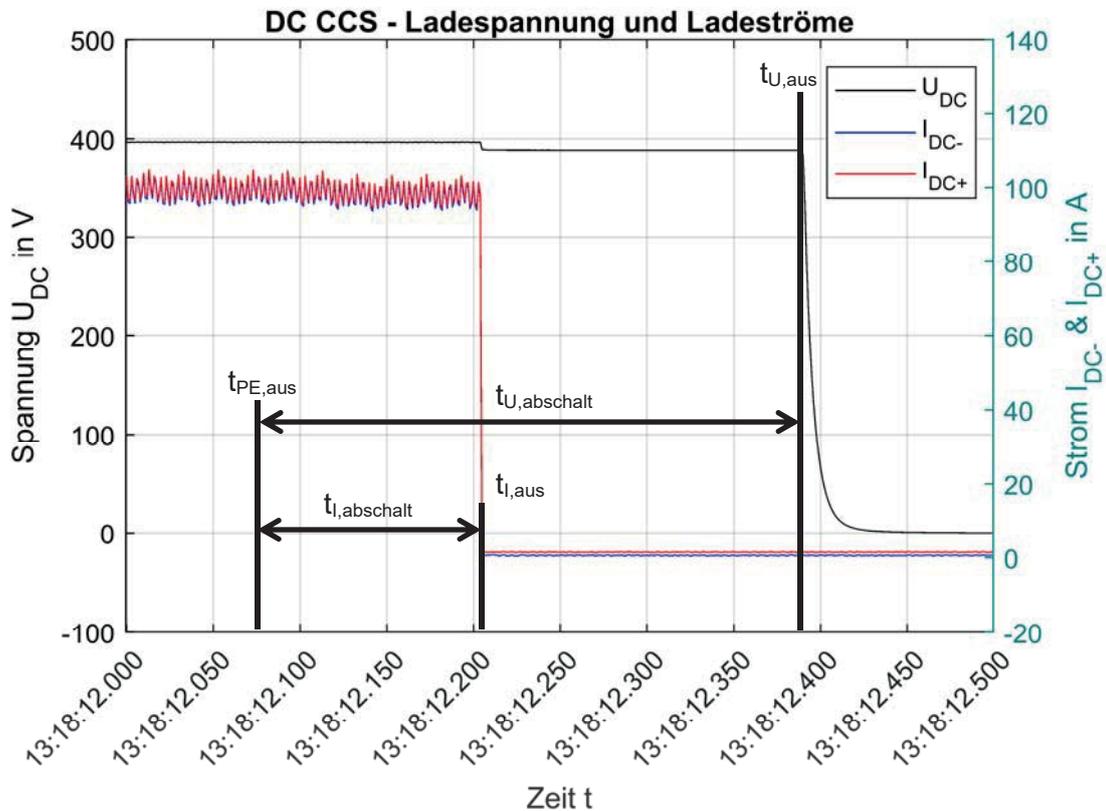


Abbildung 11: CCS-Ladevorgang DC – Fehler: Unterbrechung PE-Leiter ( $U_{DC}$ ,  $I_{DC}$ )

Wenn man sich nun in Erinnerung ruft, dass die PE-Leitung zum Zeitpunkt  $t_{PE,aus} = 13:18:12,070$  unterbrochen wurde, lassen sich hier zwei weitere Zeitpunkte und damit die Abschaltzeiten für Strom und Spannung ablesen. Die Abschaltzeit für den Strom ergibt sich zu  $t_{I,abschalt} = t_{I,aus} - t_{PE,aus} = 134$  ms, die Abschaltzeit für die Spannung ergibt sich zu  $t_{U,abschalt} = t_{U,aus} - t_{PE,aus} = 320$  ms. Man erkennt, dass die Ladestation im Falle einer Schutzleiterunterbrechung also nach 134 ms den Ladevorgang unterbricht und den Ladestrom abregelt. Insgesamt 320 ms nach dem Eintreten des Fehlers wird dann auch die Spannung abgeregelt.

Die Ergebnisse des vollständigen CHAdeMO-Ladevorgangs sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Dabei wurden die weiteren Fehlersimulationen (vgl. Auflistung in 2) mit derselben Ladestation nach der zuvor beschriebenen Methode analysiert und ausgewertet.

**Tabelle 2: Messwerte Fehlersimulation CHAdeMO-Ladevorgang**

DC-Messung 01 - CHAdeMO		07.10.2017		
file: EVSU_DC_CHAdeMO_2017_11_07_0001				
	Schaltorgan	Fehlerdauer	Abschaltzeiten	
			Strom	Spannung
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Unterbrechung connection check	-K7	k.A.	00,195	01,321
Unterbrechung charging enable/disable	-K6	k.A.	00,102	04,236
Unterbrechung charger start/stop1	-K5	k.A.	00,006	00,139
Unterbrechung charger start/stop2	-K10	k.A.	00,006	00,154
Unterbrechung CAN-H	-K8	k.A.	01,028	01,222
Unterbrechung CAN-L	-K9	k.A.	00,969	01,262
Unterbrechung DC+	-K16	k.A.	00,002	00,131
Unterbrechung DC-	-K17	k.A.	00,004	00,140
Unterbrechung PE	-K2	k.A.	keine Absch.	keine Absch.
file: EVSU_DC_CHAdeMO_2017_11_07_0002				
	Schaltorgan	Fehlerdauer	Abschaltzeiten	
			Strom	Spannung
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Erdschluss 100 kΩ	-K18	35,114	keine Absch.	keine Absch.
Erdschluss 40 kΩ	-K18	k.A.	00,637	00,881
file: EVSU_DC_CHAdeMO_2017_11_07_0003				
	Schaltorgan	Fehlerdauer	Abschaltzeiten	
			Strom	Spannung
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Kurzschluss 100 kΩ	-K18	07,770	keine Absch.	keine Absch.
Kurzschluss 40 kΩ	-K18	04,091	keine Absch.	keine Absch.
Kurzschluss 1 kΩ	-K18	04,164	keine Absch.	keine Absch.

Besonders aufgefallen sind folgende Punkte in Tabelle 2:

- Die relativ lange Abschaltzeit für die Spannung bei der Unterbrechung der „charging enable/disable“-Signalleitung mit  $t_{\text{abschalt}} = 4,236$  s.
- Bei der Unterbrechung des PE-Leiters hat die Ladestation den Ladevorgang nicht abgebrochen.
- Bei den widerstandsbehafteten Kurzschlüssen (100 kΩ, 40 kΩ & 1 kΩ jeweils zwischen DC+ und DC-) hat die Ladestation die Ladevorgänge nicht abgebrochen. Dabei kann argumentiert werden, dass ein Kurzschluss mit Widerständen von der Ladestation als eine entsprechende Laständerung wahrgenommen wird.

Ein satter Kurzschluss („0 Ω“ zwischen DC+ und DC-) wurde aus Sicherheitsgründen (doppeltgespeister Kurzschluss seitens Ladestation und Fahrzeug-Akkumulator) nicht durchgeführt.

Die Ergebnisse des CCS-Ladevorgangs sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3: Messwerte Fehlersimulation CCS-Ladevorgang**

DC-Messung 02 - CCS		07.10.2017		
file: EVSU_DC_CCSTyp2_2017_11_07_0001				
	Schaltorgan	Fehlerdauer	Abschaltzeiten	
			Strom	Spannung
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Unterbrechung Verriegelung	-S33	k.A.	keine Absch.	keine Absch.
Unterbrechung CP	-K11	k.A.	00,004	00,170
Unterbrechung DC+	-K16	k.A.	00,000	00,214
Unterbrechung PE	-K2	k.A.	00,134	00,320

	Schaltorgan	Fehlerdauer	Abschaltzeiten	
			Strom	Spannung
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Erdschluss 100 kΩ	-K18	18,595	keine Absch.	keine Absch.
Erdschluss 40 kΩ	-K18	k.A.	07,452	07,706

	Schaltorgan	Dauer		
		Betrieb	Handshake	Stromrampe
	---	ss,hhh	ss,hhh	ss,hhh
Erdschluss 40 kΩ vor Start Ladevorgang	-K18	09,571	03,265	05,985

Wenn man Tabelle 2 mit Tabelle 3 vergleicht, ist folgendes erkennbar:

- Im Falle eines CCS-Ladevorgangs wird der Ladevorgang bei einer Unterbrechung des PE-Leiters abgebrochen (bei CHAdeMO wurde der Ladevorgang nicht abgebrochen).
- Bei einem Erdschluss mit 40 kΩ Vorwiderstand wird der Ladevorgang bei CCS im Bereich von 7 s abgebrochen, dies ist im Vergleich zu CHAdeMO deutlich langsamer.
- Bei einem vor Beginn des Ladevorgangs eintretenden Erdschlusses mit 40 kΩ Vorwiderstand wird ein erfolgreiches Handshake durchgeführt, danach bildet sich ein langsam ansteigender, rampenförmiger Ladestrom bis  $IDC+,max \approx 16 \text{ A}$  aus welcher nach insgesamt knapp 6 s wieder abgeregelt wird.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der Entwicklung und beim Aufbau sowie dem Betrieb des Messverteilers konnten wesentliche Erkenntnisse über das Verhalten einer DC-Ladestation im Normalbetrieb sowie im Fehlerfall erlangt werden. In ersten Versuchen konnten mithilfe des Messverteilers die Unterbrechung der Signalleitungen sowie der DC- Ladeleitungen, des PE-Leiters sowie ein Erd- und Kurzschluss über wählbare Vorwiderstände erfolgreich getestet und qualifizierte Aussagen über die Funktion der Schutzmaßnahmen der Ladestation getroffen werden. Die Erkenntnisse aus diesen Versuchen werden unmittelbar in die Weiterentwicklung der Prüfroutinen und des Konzepts für ein entsprechendes Prüfgerät miteinfließen um es in der Praxis einfach und sicher einsetzen zu können.

Zur Verifizierung der in den ersten Versuchen bzw. der ersten Messung erfassten Ergebnisse müssen zukünftig noch weitere Analysen von DC-Ladevorgängen mit Ladestationen anderer Hersteller durchgeführt werden.

## 5 Danksagung

Unser ausdrücklicher Dank gilt unseren Partnern welche den Anstoß zu dem Projekt gegeben haben sowie dieses personell und finanziell unterstützen!



## 6 Quellen

- [1] Bender GmbH & Co. KG, „Elektrische Sicherheit für die Elektromobilität,“ 2017. [Online]. Available:  
[https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/b/d/Emobility\\_PROSP\\_de.pdf](https://www.bender.de/fileadmin/content/Products/b/d/Emobility_PROSP_de.pdf). [Zugriff am 26.01.2018].
- [2] *Elektrotechnikgesetz 1992 (ETG)*, Wien, BGBl. I Nr. 27/2017.
- [3] *Elektroschutzverordnung 2012*, Wien, BGBl. II Nr. 33/2012.
- [4] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 61851-1 - Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 1: Allgemeine Anforderungen*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, März 2012.
- [5] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 61851-23 - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 23: Gleichstromladestationen für Elektrofahrzeuge*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, Dezember 2014.
- [6] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 62196-3 - [...] - Teil 3: Anforderungen an und Hauptmaße für Stifte und Buchsen für die Austauschbarkeit von Fahrzeugsteckvorrichtungen zum dedizierten Laden mit Gleichstrom und als kombinierte Ausführung zum Laden mit Wechselstrom/Gleichstrom*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, Juni 2015.
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., *DIN EN 60364 - Errichten von Niederspannungsanlagen*, Berlin: VDE VERLAG GMBH, i.d.a.F.
- [8] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM E 8001-1 - Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis ~1000 V und = 1500 V*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, März 2010.
- [9] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 61439-1 - Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, Juli 2012.
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., *DIN VDE V 0122-2-300 (ENTWURF) - Spezifikation zur Konformitätsprüfung zu IEC 61851-23*, Berlin: VDE VERLAG GMBH, April 2016.
- [11] GOSSEN METRAWATT, „Bedienungsanleitung PROFITEST MPRO MXTRA (3-349-647-01, 9/2.14),“ 2014. [Online]. Available:  
[https://gossenmetrawatt.com/resources/zz\\_tam/profitest-edition/profitest-edition-ba\\_d.pdf](https://gossenmetrawatt.com/resources/zz_tam/profitest-edition/profitest-edition-ba_d.pdf). [Zugriff am 28.11.2017].
- [12] MENNEKES, „Pruefbox-fuer-Ladestationen-D-0000000600010f6f0001003a,“ MENNEKES, 2017. [Online]. Available:  
<https://www.chargeupyourday.de/pd/zubehoer/Pruefbox-fuer-Ladestationen-D-0000000600010f6f0001003a/>. [Zugriff am 28.11.2017].
- [13] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *ÖVE/ÖNORM EN 61851-22 - Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge - Teil 22: Wechselstrom-Ladestation für Elektrofahrzeuge*, Wien: OVE/Austrian Standards Institut, 12.2002.