

Projekt ProSafe²

Erstes Forschungsjahr erfolgreich abgeschlossen

Elektromobilität gilt als wichtiger Baustein der Dekarbonisierung. Grundvoraussetzung für ihren Erfolg ist eine sichere Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum. Das FFG-geförderte Forschungsprojekt ProSafe² leistet hier einen wichtigen Beitrag: Im Rahmen des Projekts werden die Grundlagen für eine wiederkehrende Prüfung von Gleichstrom-Ladestationen entwickelt.

Der zuverlässige Betrieb von Ladestationen für Elektrofahrzeuge setzt elektrische Sicherheit, Energieeffizienz und eine korrekte Abrechnung der von Nutzer:innen bezogenen elektrischen Energie voraus. Für die in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnenden Gleichstrom-Ladestationen (Direct Current Electric Vehicle Charging Stations, DC-EVCS) mit zunehmender Ladeleistung (mehrere 100 kW) gibt es derzeit allerdings weder entsprechende Richtlinien noch ein standardisiertes Prozedere für eine wiederkehrende Prüfung im Hinblick auf die Gewährleistung eines langfristig sicheren Betriebs. Im Rahmen des Projekts ProSafe² (Protection, Safety and Efficiency of Electric Vehicle Charging Stations) soll daher ein praxistauglicher Ablauf zur wiederkehrenden Prüfung entwickelt

werden, der Funktionalität und elektrische Sicherheit über die gesamte Betriebsdauer gewährleistet.

Erfolgreiches erstes Forschungsjahr

Am Beginn des Projekts stand eine intensive Normenrecherche (vgl. Abb. 1). Welche Normen und Standards können für eine wiederkehrende Prüfung von DC-Ladestationen angewendet werden? Welche nur für Teilaspekte? In welchen Bereichen fehlen noch Normen und Standards? In welchem Zusammenhang stehen diese Normen und Standards mit legislativen Dokumenten? Diese Fragen galt es für das Forschungsteam zu klären.

Dabei wurde unter anderem eine entsprechende Gap-Analyse durchgeführt, eine Veranschaulichung der dabei gewonnenen Erkenntnisse ist in Tab. 1 zusammengefasst. Darüber hinaus wurden DC-Ladestationen unterschiedlicher Hersteller hinsichtlich deren Angaben in ihren bereitgestellten Dokumenten untersucht. Diese umfassen einerseits die Referenzierung auf normative Dokumente, beispielsweise in Bedienungs- oder Installationsanleitungen, andererseits die Nennung von (inter-)nationalen Normen und Standards, beispielsweise in Konformitätserklärungen.

Autor:innen

- Daniel Herbst, TU Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Inffeldgasse 18, 8010 Graz
- Cornelia Schaupp, OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
- Martin Fürnschuß, TU Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Netze
- Peter Reichel, OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
- Felix Lehfuß, AIT Austrian Institute of Technology
- Thomas Stainer, Kristl, Seibt & Co GmbH
- E-Mail: daniel.herbst@tugraz.at

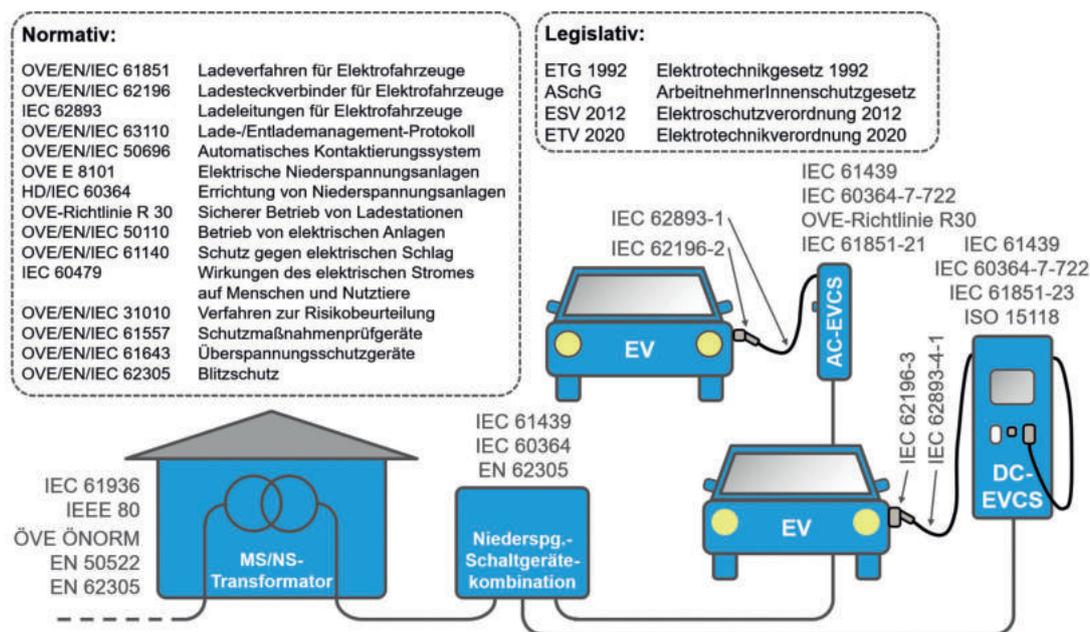


Abb. 1. Übersicht ausgewählter normativer und legislativer Dokumente anwendbar auf Ladestationen für Elektrofahrzeuge samt deren versorgender Infrastruktur

Tab. 1. Normenmatrix mit entsprechenden Anwendungsbereichen in Hinblick auf DC-Ladestationen für Elektrofahrzeuge – Gap-Analyse

Norm	Betrieb		Kommunikation		Wiederk. Prüfung		Prinzip DC-EVCS		Automatisiertes Laden							Schutzmaßnahmen	
	AC-EVCS	DC-EVCS	AC-EVCS	DC-EVCS	AC-EVCS	DC-EVCS	galvanisch getr.	nicht galv. getr.	KS DC+/DC-	KS CP/PE	KS/ES DC+/DC-/PE	Unterbr. PE	Unterbr. CP	Unterbr. DC+/DC-		AC-EVCS	DC-EVCS
61851-1	+	+	+	~	~	~	0	0	-	-	-	-	-	-	-	+	~
61851-23	0	+	0	+	0	-	~	~	-	-	-	-	-	-	-	0	+
61851-23-1	0	+	0	~	0	~	~	~	-	-	-	-	-	-	+	0	+
61851-23-2	0	+	0	~	0	~	+	0	-	-	-	-	-	-	-	0	+
61851-23 ED2 (CDV)	0	+	0	+	0	~	~	~	~	~	~	~	~	~	-	0	+
61851-24	0	+	0	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
62196-1	~	~	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	~	~
62196-3	~	~	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	~	~
61140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	~	~
ISO 15118	~	~	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61439-Reihe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	~	~
50110	~	~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	~	~
62893-Reihe	0	0	-	-	~	~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	~	~
62477-Reihe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	~
61000-Reihe	0	~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIN SPEC 70121	-	~	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISO 17409	~	~	-	-	-	-	~	~	-	-	-	-	-	-	-	+	+
50160	-	~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R 30	+	~	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R 30 ED2 (in Arbeit)	+	~	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	~	-	-
E 8101	~	~	0	0	+	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	~
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Legende:	+	Thema wird behandelt		~	Thema wird teilweise behandelt		-	Thema wird nicht behandelt			0	Nicht anwendbar					

In einem nächsten Schritt wurden auf Basis der Expertise des Projektteams sowie mehrerer Betreiber von DC-Ladefrastruktur mögliche Fehlerszenarien bei DC-Ladestationen eruiert und beschrieben, ein Auszug der wesentlichsten ist in Abb. 2 grafisch dargestellt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die möglichen Gefahren gelegt, welche für Nutzer:innen von DC-EVCS auftreten können. Dies betrifft am häufigsten jene Teile einer Ladestation, mit welchen die Nutzer:innen in direkten Kontakt kommen können – das sind beispielsweise die Ladeleitung („Ladekabel“) oder der Ladesteckverbinder („Ladestecker“).

Aufbauend auf diesen Fehlerszenarien wurden unter Berücksichtigung bzw. in Anlehnung an anwendbare nationale bzw. internationale normative Dokumente, wie z. B. OVE E 8101+AC1 oder IEC 61851-23 ED2 (Entwurf), denkbare Test Cases für eine wiederkehrende Prüfung von DC-Ladestationen erarbeitet. Tab. 2 stellt die definierten 15 Test Cases zusammen.

Abgeleitet aus den Test Cases wurden unterschiedliche Use Cases im Sinne von Prüfverfahren bzw. -methoden für die wiederkehrende Prüfung von DC-Ladestationen entwickelt.

Auch bei Gleichstromladestationen für Elektrofahrzeuge ist das Erdungs- und Potenzialausgleichssystem ein wesentlicher Teil der Schutzmaßnahmen. Es soll bei einem Fehler auftretende Fehlerströme sicher ableiten, die von Personen abgreifbaren (Teil-) Fehlerspannungen reduzieren und Sachgüter, wie z. B. elektrische Betriebsmittel, schützen. Im Forschungsjahr 1 wurden in einem ersten Schritt mögliche Ausführungskonzepte von Erdungs- und Potenzialausgleichsanlagen erhoben. Es zeigte sich, dass es eine Vielzahl von Konzepten und Ausführungen gibt, welche hauptsächlich von den örtlichen Gegebenheiten, wie z. B. der Bebauungsdichte, dem Aufstellungsort oder der Installation von in der Umgebung situierten Anlagen, abhängig sind. Um diese Vielzahl möglichst gut abzubilden, wurde ein fiktives, praxisorientiertes Modell eines Ladeparks entwickelt, an welchem Berechnungen der ohmsch-induktiven Beeinflussung durchgeführt wurden. Wie in Abb. 3 dargestellt, beinhaltet es freistehende Ladestationen, in ein dreidimensional vermaschtes Erdungs- und Potenzialausgleichssystem integrierte Ladestationen, eine Stromversorgungsquelle in Form einer Transformatorstation, von welcher auch Beleuchtungsmasten versorgt werden, und eine Einfriedung in Form eines metallischen Zauns im unmittelbaren elektrischen Beeinflussungsbereich.

Tab. 2. Übersicht der definierten Test Cases für eine wiederkehrende Prüfung von DC-EVCS

Nr.	Kurzbezeichnung des Test Cases
1	Prüfung des Isolationsüberwachungsgeräts
2	Isolationsprüfung der Ladeleitungsgarnitur
3	Kurzschluss zwischen den Leistungsleitern DC+ und DC- vor dem Laden
4	Kurzschluss zwischen den Leistungsleitern DC+ und DC- während dem Laden
5	Durchgängigkeit des Schutzerdungsleiters (PE-Leiter)
6	Unterbrechung des Schutzerdungsleiters (PE-Leiter)
7	Kontrolle des eingesetzten Widerstands zwischen PP und PE
8	Unterbrechung des CP-Leiters
9	Kurzschluss zwischen CP- und PE-Leiter
10	Schleifenimpedanz auf der AC-Seite der EVCS
11	Unterbrechung einer der Leistungsleiter DC+ oder DC-
12	Ladeabbruch durch die Kommunikation
13	Messung der DC-Ladeenergie
14	Messung der AC-Ladeenergie und Power Quality-Analyse samt Wirkungsgrad
15	Sichtkontrollen

Abkürzungen hinsichtlich des Combined Charging System (CCS): CP...Control Pilot, PP...Proximity Pilot

Anmerkung: Die Test Cases 3, 4, 13 und 14 sind aus aktueller Sicht nur im Zuge der Forschungstätigkeiten des Projekts ProSafe² vorgesehen und nicht für eine wiederkehrende Prüfung angedacht.

Nr.	Fehler	Kurzbeschreibung
1	CP 	Unterbrechung des CP-Leiters
2	PE 	Unterbrechung des PE-Leiters
3	DC +/- 	Unterbrechung eines DC-Leistungsleiters
4	Erdschluss 	Erdschluss zwischen einem DC-Leistungsleiter und PE
5	Kurzschluss DC +/- 	Kurzschluss zwischen den beiden DC-Leistungsleitern
6	Kurzschluss PE/CP 	Kurzschluss zwischen dem CP- und dem PE-Leiter
7	Überlast 	Überlast der Ladeleitung
8	AC-Fehler 	zB 1-/2-/3-poliger Kurzschluss mit/ohne Erdberührung

CP...Control Pilot; ><...Unterbrechung; PE...Schutzerdungsleiter / Protective Earth; DC...Gleichstrom / Direct Current (Leistungsleitungen); AC...Wechselstrom / Alternating Current

Abb. 2. Übersicht möglicher Fehlerfälle bzw. -szenarien bei DC-EVCS (Auszug)

Die ohmsch-induktive Beeinflussung in Abhängigkeit des Orts wurde für unterschiedliche Fehlerfälle unter Berücksichtigung der Leitungsimpedanzen berechnet. Die Berechnungsergebnisse umfassen die Stromstärke des Fehlerstroms, die Stromstärken in den elektrischen Leitern, die an das Erdreich von den Leitern dissipierten und vom Erdreich aufgenommenen Ströme, die Leiterpotenziale, das Oberflächenpotential sowie die (Teil-)Fehlerspannung(en). Beispielsweise zeigt Abb. 4 die Verteilung der (Teil-)Fehlerspannung(en) bei einem Erdkurzschluss an einer freistehenden Ladestation.

Aus den Berechnungsergebnissen lässt sich ableiten, dass bei einer wiederkehrenden Prüfung der DC-Ladestation(en) eine Überprüfung der zugehörigen (lokalen) Erdungs- und Potenzialausgleichsanlage zu empfehlen ist. Hierbei soll ebenso die zweckbestimmte Stromversorgungseinrichtung für Elektrofahrzeuge (Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE) berücksichtigt werden.

Im Zuge des Forschungsjahres 2 sind weitere Berechnungen und nach Möglichkeit die Verifizierung der Berechnungsergebnisse an Ladestationen/-parks im Feld in Form von Messungen vorgesehen.

In Vorbereitung der In-Feld-Tests im Forschungsjahr 2 wurde der Prüfgerätedemonstrator hinsichtlich der erarbeiteten möglichen Fehler Szenarien sowie der darauf aufbauenden Test Cases entsprechend adaptiert bzw. erweitert. Unter anderem wurden

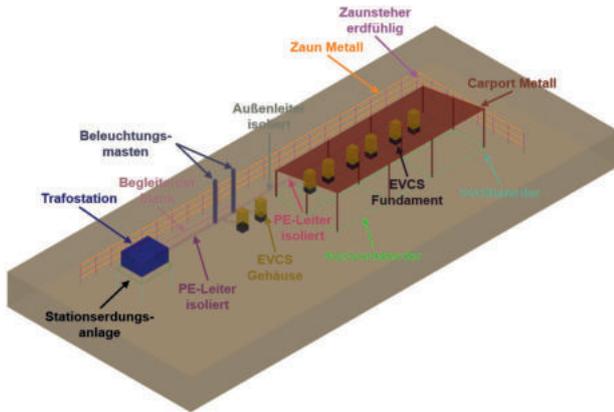


Abb. 3. Schematische Darstellung eines fiktiven Ladeparks mit zugehörigem Erdungs- und Potenzialausgleichssystem

dafür geeignete Messtechnik sowie zusätzliches Equipment für die Umsetzung der geplanten Fehlerfälle integriert. Abb. 5 zeigt den im Zuge des Projekts ProSafe² verwendeten In-Feld-Prüfgerätedemonstrator für Tests an bzw. für wiederkehrende Prüfungen von DC-Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Dieser ist in der aktuellen Ausbaustufe in der Lage, netzunabhängig Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen bis zu einer maximalen Dauerladeleistung von 120 kW bei einer Ladespannung < 1.000 V DC bzw. einem Ladestrom < 200 A DC zu emulieren und ergänzend dazu eine Vielzahl an möglichen Fehlerszenarien (gemäß Tab. 2) nachzubilden. Weiters können entsprechende Prüfprotokolle in Form von automatisierten Abläufen in dessen optisch angebundene Steuerung integriert werden.

Die ersten Erkenntnisse aus dem Projekt ProSafe² fanden bereits Eingang in die nationale Normenarbeit: Im Rahmen der Arbeitsgruppe AG Ladestationen DC wird derzeit die Edition 2 der OVE-Richtlinie R 30 erarbeitet.

Großes Interesse an Stakeholder-Workshops

Schon seit Beginn des Projekts fand ein intensiver Austausch mit der Branche statt. Welche Anforderungen richten die

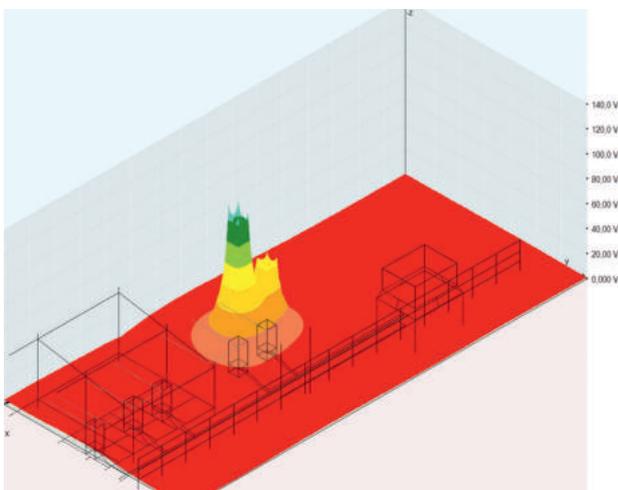


Abb. 4. (Teil-)Fehlervoltage(n) bei einem Erdkurzschluss an einer freistehenden EVCS

unterschiedlichen Stakeholder an DC-Ladestationen? Welche Erfahrungen gibt es bereits aus der Praxis? Im Rahmen von Stakeholder-Workshops wurden Hersteller und Betreiber von DC-Ladestationen ebenso eingebunden wie Messtechniker:innen und Behördenvertreter:innen.

Bei einem ersten, äußerst gut besuchten Stakeholder-Workshop im Oktober 2022 in Graz präsentierte das Forschungsteam die wesentlichen Inhalte des Projekts ProSafe² und diskutierte mit den Branchenvertreter:innen offene Fragen, etwa zu Praxiserfahrungen mit der Prüfung von DC-Ladestationen und zur notwendigen Häufigkeit von wiederkehrenden Prüfungen. Die Ergebnisse der Diskussionen flossen in der Folge in die weiteren Überlegungen im Rahmen des Projekts ein.

Bei einem zweiten Stakeholder-Workshop im März 2023 in Wien wurde über den aktuellen Zwischenstand des Projekts und die bisherigen Erkenntnisse informiert. Die Pro-



Abb. 5. Prüfgerätedemonstrator für die In-Feld-Versuche des Forschungsjahres 2 von ProSafe²

jektpartner diskutierten mit den Branchenvertreter:innen u. a. das Thema „Erdungs- und Potenzialausgleichsanlagen bei DC-Ladestationen“ sowie die Frage, ob eine DC-Ladestation als unabhängiges elektrisches Betriebsmittel oder als Teil einer elektrischen Anlage zu betrachten ist. Auf großen Anklang stieß außerdem ein Vortrag von Wolfgang Waldmann vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zum Thema „Eichvorschriften für Ladetarifgeräte“. Daneben wurde der Workshop auch genutzt, die Teilnehmer:innen über ihre Meinung zu spezifischen Themen zur Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur und zu einzelnen Zielen des Projekts ProSafe² zu befragen. Sehr erfreulich für das Projektteam war die Rückmeldung, dass die Regelziele von ProSafe² als „sehr relevant“ angesehen werden. Interessant war auch die Aussage, dass der Fokus der Ladeinfrastruktur darauf ausgerichtet sein sollte, in einer Ladezeit von 10 Minuten Strom für mindestens 100 km laden zu können.



Abb. 6. Zwei gut besuchte Stakeholder-Workshops brachten intensiven Austausch mit der Branche (links: Graz, 18.10.2022; rechts: Wien, 22.03.2023).

Information auf zahlreichen Kanälen

Im Rahmen des Projekts ProSafe² wird die Branche nicht nur durch Workshops aktiv mit einbezogen, es wird auch besonderer Wert auf regelmäßige Information gelegt. So wurden bereits im ersten Forschungsjahr die Erkenntnisse bei Vorträgen oder Poster-Sessions bei nationalen sowie internationalen Fachtagungen bzw. Kongressen präsentiert und zusätzlich mit Berichten in diversen Fachmedien sowie online auf der Website des OVE und über die Sozialen Medien verbreitet.

Was bringt das Forschungsjahr 2?

Auch das Forschungsjahr 2 verspricht interessante Ergebnisse: Anhand der im Forschungsjahr 1 entwickelten Test Cases wird der Prüferätedemonstrator entsprechend für In-Feld-Tests weiterentwickelt. In der Folge sollen die Test Cases an unterschiedlichen DC-Ladestationen der ProSafe²-Branchenpartner mithilfe des Prüferätedemonstrators im Feld umgesetzt und die Ergebnisse evaluiert werden. Neben den Sicherheitsüberprüfungen gilt dabei ein besonderes Augenmerk der Energieeffizienz sowie den Netzrückwirkungen von DC-Ladestationen. Wirken sich diese hinsichtlich Power Quality nachteilig auf das Netz bzw. Netzteilnehmer:innen aus? Auch diese Frage soll geklärt werden.

Aus den Erkenntnissen der Feldtests sollen Vorschläge für Abläufe zur wiederkehrenden Prüfung von DC-Ladestationen

ProSafe²

Das Projekt ProSafe² wurde vom OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik gemeinsam mit dem AIT Austrian Institute of Technology, dem Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz sowie KS Engineers initiiert und wird aus Mitteln der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG über **Collective Research** gefördert.

Unterstützt wird es von den Branchenpartnern Energienetze Steiermark GmbH, KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, TÜV Austria Services GmbH und Wien Energie GmbH.

abgeleitet, verifiziert und in die Arbeit der Normungsgruppe Ladestationen DC eingebracht werden. Zudem werden die Resultate der Feldtests sowie weitere Forschungsergebnisse über zahlreiche Kommunikationskanäle in die Fachwelt getragen.

Von einer weiteren Förderung des Projekts ausgehend, ist bereits ein nächster Stakeholder-Workshop für den 17. Oktober 2023 in Klagenfurt geplant.

Das gesamte Projektteam bedankt sich bei der FFG und den Branchenpartnern für die breite Unterstützung und gute Zusammenarbeit.

Sie haben eine Frage zum Projekt ProSafe²? Wenden Sie sich gerne an uns: Peter Reichel, Projektleiter: p.reichel@ove.at, Daniel Herbst, Technischer Projektkoordinator: daniel.herbst@tugraz.at

Referenzen

- Herbst, D., Fürnschuß, M., Reichel, P., Lehfuß, F., Stainer, T., Schmutzger, E., Challenges and Related Solutions for Periodic Verification of DC Electric Vehicle Charging Stations, 25.03.2022, CIRED Porto Workshop 2022. The Institution of Engineering and Technology, 2022.
- Herbst, D., Fürnschuß, M., Schürhuber, R., Reichel, P., Lehfuß, F., Auer, C., Schmutzger, E., ProSafe² und der Weg zur wiederkehrenden Prüfung von DC-Ladestationen für Elektrofahrzeuge, OVE-Energetechnik-Tagung 2022: 59. Fachtagung der Energietechnik-Branche 19.-20.10.2022, Graz, 2022.
- Herbst, D., Fürnschuß, M., Schürhuber, R., Reichel, P., Lehfuß, F., Auer, C., Schmutzger, E., Wiederkehrende Kontrolle und Überprüfung von DC-Ladestationen für Elektrofahrzeuge, 13. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien: IEWT 2023, 15.-17.02.2023, TU Wien, 2023.
- Herbst, D., Fürnschuß, M., Schürhuber, R., Reichel, P., Lehfuß, F., Auer, C., Schmutzger, E., DC Electric Vehicle Charging Infrastructure – Methods for Periodic Verification, CIRED Rom/IT 2023, Beitrag angenommen.
- OVE-Richtlinie R 30:2020-08-01 – Sicherer Betrieb von elektrischen, leitfähigen Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge mit einer Nennspannung bis AC 1000 V und DC 1500 V, <https://www.ove.at/shop/de/product/ove-richtlinie-r-30-2020-08-01>, zuletzt aufgerufen am 24.04.2023.
- OVE/EN/IEC 61851-23 ED2 (Entwurf) – Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 23: DC Electric Vehicle Supply Equipment, 07.02.2022.
- OVE E 8101:2019 + AC1:2020 – Elektrische Niederspannungsanlagen (konsolidierte Version), 01.05.2020.