

Systemanalyse und Entwurf einer intelligenten Ladeinfrastruktur der Elektromobilität in Smart-Grid-Umgebungen

Niklas Dreyer¹, Michael Peter Siemon¹, Andreas Pretschner¹

Stichwörter

Elektromobilität, intelligente Ladeinfrastrukturen, Smart Grid, Vehicle-to-Grid, OCPP 2.0.1, OSCP 2.0, IEC15118-20, Protokoll Verifikation und Konformität, Tests

Zusammenfassung

Im Paper werden die drei wichtigsten technischen Kommunikationsstandards einer modernen Ladearchitektur, der ISO 15118-20, das *Open Charge Point Protocol* (OCPP) in der Version 2.0.1 und das *Open Smart Charging Protocol* (OSCP) 2.0 betrachtet. Welche Softwareanforderungen werden gestellt und in welchem Umfang müssen diese implementiert werden, um eine Ladeinfrastruktur als intelligenten Verbraucher oder Energiespeicher nutzen zu können? Wie kann man den Systementwurf testen, wie skaliert dieser Entwurf? Reicht es, wie bisher die Kommunikation zwischen einzelnen Akteuren zu standardisieren oder sind weitreichendere Vorgaben notwendig, um die E-Mobilität und den Energiesektor nachhaltig zu koppeln? Die im Paper benutzte Methodik der schrittweisen partiellen Implementierung der notwendigen Softwarekomponenten ermöglicht den Aufbau einer realen *smart charging architecture* auf deren Grundlage, ausgehend von einer „Minimalvariante“ bis zur „Vollversion“, das elektrische Fahrzeug aktives Speicherelement im geregelten elektrischen Netzwerk sein kann.

1 Einleitung

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM)² wurde im Jahr 2018 einberufen und ist in sechs Arbeitsgruppen weiterhin aktiv. Die Umsetzung der Beschlüsse des NPM gestaltet sich schwierig, die Entscheidungswege durch alle Instanzen der Politik und Industrie sind lang. Es stellt sich die Frage, ob die Ziele der NPM dank neuer Normen und Standards umsetzbar ist und welchen Beitrag dazu Forschungseinrichtungen leisten können. Das folgende Paper untersucht konkrete Fragestellungen der 6 (Normung)³ der NPM und möchte die Frage beantworten, welche konkreten, technischen und logischen Schritte nötig sind, um eine intelligente und bidirektionale Ladeinfrastruktur zu etablieren. *Die DIN EN IEC 63110 / VDE 0122-110-1 Protokoll zum Management von Lade- und Entladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge definiert bereits die abstrakte Kommunikation einer Ladestation mit einem lokalen oder zentralen Energiemanagementsystem, nimmt aber noch keine Vereinheitlichung der konkreten Kommunikation vor. Aus diesem Grund besteht zusätzlicher Normungs-*

¹Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig - Fakultät Ingenieurwissenschaften

²<https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/>

³<https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/schwerpunkte/ag-6/>

und Standardisierungsbedarf. [1, S. 9] *By 2025, the automotive market demand for electric vehicles is expected to exceed 6.5 million units per year worldwide.* [2] Ohne den Ausbau entsprechender Infrastrukturen könnte die vermehrte Nutzung elektrischer Energie für den Kraft- und Personenverkehr zu einer Überlastung führen. Im Ansatz, das Elektrofahrzeug nicht als statischen Verbraucher, sondern vielmehr als dynamisch regelbare Last und darüber hinaus als Erzeuger (*Vehicle-to-Grid*) anzusehen, besteht die Chance, das Versorgungsnetz mit einem erhöhten Regelvolumen und einer möglichen Rückspeisung zu entlasten. *Smart charging means connecting charging points between users and operators using an smart EV charge management method to avoid overloading and/or destabilizing the grid.* [3] Die Nutzung batterieelektrischer Kraftfahrzeuge als steuerbare Last und elektrischer Energiespeicher wurde bereits in diversen Forschungsarbeiten und Studien theoretisch betrachtet. Konsens dieser Arbeiten war, dass eine Nutzung als steuerbare Last oder Speicher die Effizienz von volatilen Energieträgern wie Wind oder Photovoltaik erhöhen kann. *From the power grid's perspective, EV charging through EVSC could help maintain/improve the power grid operating condition while providing additional services to the operators, such as frequency regulation* [4] Der Ausbau und die Automatisierung von Ladeinfrastruktur werden zur effektiveren Nutzung von volatilen Energieträgern und somit zur Stabilisierung des Energienetzes beitragen, wenn diese in einem gewissen Grad plan- und steuerbar wird. Hieraus lassen sich zentrale Fragen für den Bereich der angewandten Prozessinformatik ableiten: Welche konkreten Umsetzungen müssen getroffen werden, um die einzelnen Teilnehmer mit den notwendigen informationstechnischen Normen und Standards auszustatten? Welche Aufgaben stellen sich für den einzelnen Teilnehmer einer Ladeinfrastruktur bei einem hohen Automatisierungsgrad der Ladeplanung?

2 Ziel der Arbeit

Wie einleitend beschrieben, besteht der Bedarf einer ausgebauten Ladeinfrastruktur mit Möglichkeit von geplanten, bidirektionalen Ladezyklen. Die technischen Grundsteine für eine Umsetzung sind gelegt und werden seitens der NPM unterstützt. [1] Aus dem Blickpunkt der angewandten Ingenieurwissenschaft, bzw. der Prozessinformatik wird sich dieses Paper mit der Umsetzung von technischer Kommunikation und Datenverarbeitung aller notwendigen Teilnehmer einer intelligenten Ladearchitektur befassen. Zunächst werden die einzelnen Beteiligten anhand der aktuell genutzten, bzw. veröffentlichten Standards und Normen erläutert und benannt. Anschließend werden verschiedene Ausbaustufen definiert und hinsichtlich der Aufgaben für die einzelnen Teilnehmer beschrieben. Mithilfe dieser Informationen wird gezeigt, mit welchen konkreten technischen Softwareimplementierungen eine intelligente, bidirektionale Ladearchitektur umsetzbar ist. Das Ziel ist es, eine Bewertung des Aufwands für die Hauptteilnehmer getrennt nach den Ausbaustufen zu schaffen. Dabei liegt der Fokus auf den technischen Kommunikationsstandards / Normen und nicht auf Finanzdienstleistungen oder dem elektrischen Netz. Die Anforderung an den Umfang einer Software ist von der Programmiersprache oder dem zugrunde liegendem System abgehoben.

3 Topologie - Anforderungsanalyse

In dieser Arbeit werden die Kommunikationsstandards und Normen für die technische Umsetzung einer intelligenten Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge im Kontext der Einbindung in elektrische Verteilnetze (*smart grid*) betrachtet. Dabei sind insbesondere die Akteure und Teilnehmer der Ladeinfrastruktur mittels vier aktueller Normen und Standards zu berücksichtigen (Abbildung 1). Die farblich markierte Benennung der fünf Teilnehmer wurde aus den Normen und Standards übernommen.

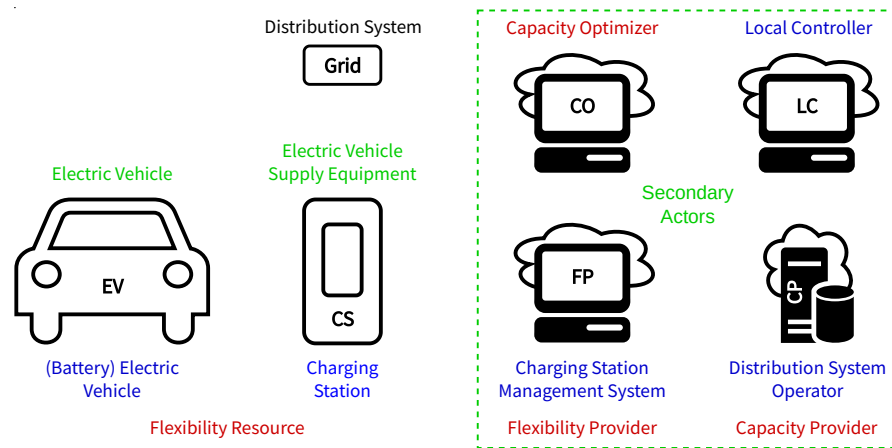


Bild 1: Technische Akteure einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Grün stellt die Namensgebung in der ISO 15118 (Abschnitt 3.2) dar. Es ist deutlich erkennbar, dass der Fokus dieser Norm auf der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation (*primary actors* [5, S. 26]) liegt, da weitere Teilnehmer unter *secondary actors* zusammengefasst sind [5, S. 26]. Die in blauer Farbe dargestellten Bezeichnungen entstammen dem OCPP 2.0.1 (Abschnitt 3.3), es werden mit Ausnahme des *Capacity Optimizer* alle Teilnehmer einzeln definiert. Das OCPP standardisiert die Schnittstelle zwischen *Charging Station* und *Charging Station Management System* [6, S. 2], da in einigen Use-Cases (UCs) des Protokolls explizit die Akteure *Electrical Vehicle* [7, S. 269] und *Distribution System Operator* [7, S. 231] inkludiert werden, sind diese auch namentlich definiert. Beim *Local Controller* [6, S. 15] handelt es sich laut Definition um eine *Charging Station* ohne EVSE, bzw. ohne Ladeanschluss für ein EV. Da der LC kein eigenständiger Teilnehmer sein muss, sondern auch nur ein Dienst innerhalb des CSMS, wird er in diesem Paper in das CSMS inkludiert, sodass die Gesamtarchitektur simplifiziert wird. Die roten Definitionen sind die des OSCP 2.0 (Abschnitt 3.4), dieses Protokoll dient der standardisierten Kommunikation zwischen *Flexibility Provider* [8, S. 4] / *Charging Station Management System* und *Capacity Provider* [8, S. 4] / *Distribution System Operator*. Zusätzlich wird der Teilnehmer *Capacity Optimizer* [8, S. 4] in die Topologie gebracht, dieser dient mit einer Verbindung zum *Flexibility Provider* als Informationsquelle für die Infrastruktur. Da dieser nicht zwingend eine eigene Instanz sein muss und logisch auch im *Flexibility Provider* angesiedelt sein kann, wird er mit diesem zusammengefasst. Im weiteren Verlauf werden folgende Begriffe, bzw. Abkürzungen verwendet:

- *(Battery) Electric Vehicle / Flexibility Resource (Car Part)* → **EV**
- *Electric Vehicle Supply Equipment / Charging Station / Flexibility Resource* → **CS**
- *Charging Station Management System / Flexibility Provider / Local Controller* → **FP**
- *Distribution System Operator / Capacity Provider / Capacity Optimizer* → **CP**

3.1 Ladesysteme von Elektrofahrzeugen (DIN 61851)

Die IEC 61851-1 [9] ist eine internationale Norm für das Laden von Elektrofahrzeugen. Sie enthält Richtlinien für den Entwurf, die Prüfung und die Installation von Ladesystemen für Elektrofahrzeuge. Die Norm deckt sowohl Wechselstrom- als auch Gleichstrom-Ladesysteme ab und legt Anforderungen für die in diesen Systemen verwendeten Steckverbinder, Kabel und Ladegeräte fest. Sie enthält auch Sicherheits- und Leistungskriterien, die erfüllt sein müssen, damit ein Ladesystem als konform mit der Norm gilt. [10] Die IEC 61851-1 soll gewährleisten, dass Ladesysteme für Elektrofahrzeuge sicher, zuverlässig und interoperabel sind, und das Wachstum des Marktes für Elektrofahrzeuge unterstützen.

Funktionsanalyse - Softwareanforderungen / Kommunikationsumfang

Die Kommunikation zwischen EV und CS ist in der IEC 61851-1 beschrieben, seitens des Fahrzeugs können Widerstandswerte zwischen dem *Control Pilot* und dem Schutzleiter (PE) angepasst werden, sodass die angelegte Spannung sich verändert [9, S. 29]. Dies dient zur Übermittlung der Ladebereitschaft seitens des EV. Parallel dazu wird von der CS eine Pulsweitenmodulation genutzt, um dem EV die zur Verfügung stehende elektrische Leistung in Form von Strom pro Phase mitzuteilen [9, S. 24].

3.2 Kommunikation Elektrofahrzeug - Ladeinfrastruktur (ISO 15118)

Die ISO 15118 [5] [11] [12] ist eine Norm für die Kommunikation zwischen EVs und CSs. Sie definiert ein Protokoll für den sicheren und effizienten Austausch von Informationen und Energie zwischen diesen beiden Systemen. Diese Norm ermöglicht es EV, automatisch einen Ladevorgang mit einer kompatiblen CS einzuleiten und durchzuführen, ohne dass ein direktes menschliches Eingreifen erforderlich ist. Sie soll dazu beitragen, die breite Einführung von EV zu erleichtern und die Entwicklung eines nachhaltigeren Verkehrssystems zu unterstützen. [10]

Softwareanforderungen

Die von der ISO 15118 Normfamilie definierte Kommunikationsarchitektur ist in Analogie zu dem OSI-Referenzmodell aufgebaut [12, S. 1,16f]. und basiert zu einem Teil auf existierenden, teils weit verbreiteten Protokollen und Technologien, wie HPGP⁴ (PLC), Wi-Fi⁵, IPv6⁶, UDP⁷, TCP⁸ und TLS⁹. [11, S. 32,73] [12, S. 51ff,54ff] Für den Austausch von Nachrichten über das von der ISO 15118 beschriebene *Vehicle-to-Grid*-Kommunikationsprotokoll ist der Aufbau einer TCP/IPv6-Verbindung über das Ladekabel (PLC) oder per Wi-Fi notwendig [12, S. 128ff]. Zudem beschreibt die Norm ein eigenes Protokoll (V2G Transfer Protocol) für die Steuerung des Datenverkehrs [12, S. 82ff], Bei den V2G-Nachrichten handelt es sich um, aus XML-Schemen abgeleiteten, Datenstrukturen und -typen. Die Repräsentation, d.h. (De-)Kodierung, dieser Nachrichten wird auf von einem sogenannten EXI-Coder¹⁰ übernommen [12, S. 87ff], welcher frei erhältlich ist, jedoch eigens in die Ladesoftware eingebunden werden muss. Der Informationsaustausch zwischen EV und CS ist zustandsbehaftet und hängt von der gewählten Ladetechnologie ab. Für die Implementierung des V2GP bedeutet dies, dass eine oder mehrere Zustandsmaschinen aus den in der Norm definierten Kommunikationsanforderungen abgeleitet werden müssen. Die Transitionsbedingungen und Operationen werden von der Norm nur implizit vorgegeben, wodurch sich die Rekonstruktion der Zustandsmaschinen als sehr komplexer Prozess herausstellt.

3.3 Kommunikationsprotokoll für das Laden (OCPP 2.0.1)

Das „Open Charge Point Protocol“ ist ein Kommunikationsprotokoll für CS und FP. Es definiert einen Standardsatz von Nachrichten [7, S. 310-340] und Operationen [7, S. 15-310], die für die Fernverwaltung und -steuerung von CS verwendet werden können. OCPP 2.0.1 [13] [6] [7] [14] [15] ist die neueste Version dieses Protokolls und bietet Unterstützung für neue Funktionen wie Lastausgleich [7, S. 203-244], Authentifizierung [14, S. 62-99] und Preisinformationen [7, S. 184-192]. Sie enthält Verbesserungen bestehender Funktionen,

⁴HomePlug Green PHY Specification

⁵IEEE 802.11-2020, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

⁶IETF RFC 8200, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification (July 2017)

⁷IETF RFC 768, User Datagram Protocol (August 1980)

⁸IETF RFC 793, Transmission Control Protocol [...] Protocol Specification (September 1981)

⁹IETF RFC 8446, The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3 (August 2018)

¹⁰W3C EXI 1.0, Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0, W3C Recommendation (March 2011)

wie die Unterstützung mehrerer Ladepunktanschlüsse und eine verbesserte Diagnose [7, S. 276-292].

Softwareanforderungen

Aus der Protokolldokumentation des OCPP 2.0.1 [15] lassen sich folgende Mindestanforderungen an eine Schnittstelle extrahieren. „*For the connection between a Charging Station and a Charging Station Management System (CSMS) using OCPP-J, the CSMS acts as a WebSocket server and the Charging Station acts as a WebSocket*“ [15, S. 4] Als Basis dient eine WebSocket¹¹ Verbindung, welcher eine HTTP¹² Anfrage vorhergeht [15, S. 5]. „*The whole message consisting of wrapper and payload MUST be valid JSON encoded with the UTF-8 character encoding.*“ [15, S. 8] Die übertragenen Daten beim OCPP sind im JSON¹³ ¹⁴ Format zu strukturieren und in UTF-8¹⁵ zu codieren. Neben den Anforderungen an die Übertragung, gibt es die Grundimplementierung der internen Abläufe (UCs) [13, S. 13], welche nach der Protokollvorgabe umgesetzt werden müssen. **B01-B04** (*Booting a Charging Station*); **B05-B07** (*Configuring a Charging Station*); **B11-B12** (*Resetting a Charging Station*); entweder **C01, C02** oder **C04** (*Authorization options*); **E01** (eine aus S01-S06), **E02-E03, E06** (eine aus S01-S06), **E07-E08**, entweder **E09** oder **E10** und **E11-E13** (*Transaction mechanism*); **G01, G03-G04** (*Availability*); **G05** und **N07** (*MonitoringEvents*); **J02** (*Sending transaction related Meter values*); **P01-P02** (*DataTransfer*); Nur wenn ein Akteur diese ca. 30 UCs implementiert hat, kann er von OCPP 2.0.1 Unterstützung sprechen.

3.4 Erweiterte Anwendungsfälle für das Laden (OSCP 2.0)

Im OSCP 2.0¹⁶ [8] werden Anwendungsfälle beschrieben, in denen die Nachrichten allgemeiner angewendet werden als in OSCP 1.0¹⁷, das speziell auf das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen durch einen Verteilernetzbetreiber (DSO) ausgerichtet war. Der Grund für die Verwendung allgemeinerer Begriffe ist, dass diese Spezifikation die Möglichkeiten des Protokolls nicht auf das intelligente Laden von EVs beschränken will. Dies wird durch die Integration von EVs in größere Energie-Ökosysteme, einschließlich PV, stationäre Batterien, Wärmepumpen und andere Geräte, vorangetrieben. Weitere Änderungen sind die Umstellung auf JSON¹⁸ / REST¹⁹ [8, S. 23], zusätzliche Prognosetypen (Erzeugung, Verbrauch, Fallback) [8, S. 27-28] und eine Nachricht zur Meldung von Fehlern.

Softwareanforderungen

Für den Datenaustausch zwischen Teilnehmern, die das OSCP in der Version 2.0 implementieren, werden zwei HTTP²⁰ Verbindungen benötigt [8, S. 23] um eine bidirektionale Kommunikation zu ermöglichen. Das bedeutet für jeden Teilnehmer die Bereitstellung eines HTTP Servers und die Nutzung eines HTTP Clients pro Verbindung. *The protocol is based on HTTP combined with JSON formatting (mimetype application/json). It fits within a RESTful architecture.* [8, S. 23] Daten werden im JSON¹³ ¹⁴ Format strukturiert. Für die HTTP Server Implementierung sind Zertifikate für die verschlüsselte Verbindung notwendig. [...] *only server side certificates in order to set up a secure SSL connection.* [8, S. 23] Es gibt keine Grundimplementierung der internen Abläufe (UCs) wie bei OCPP (Abschnitt 3.3). OSCP 2.0 beinhaltet insgesamt sieben UCs [8, S. 10-21], diese werden als zu implementieren angenommen.

¹¹IETF RFC 6455, The WebSocket Protocol (December 2011)

¹²IETF RFC 2616, Hypertext Transfer Protocol — HTTP/1.1(June 1999)

¹³IETF RFC 7515, JSON Web Signatures (JWS)(May 2015)

¹⁴IETF RFC 7518, JSON Web Algorithms (JWA) (May 2015)

¹⁵IETF RFC 3629, UTF-8, a transformation format of ISO 10646 (November 2003)

¹⁶<https://www.openchargealliance.org/protocols/oscp-20/>

¹⁷<https://www.openchargealliance.org/protocols/oscp-10/>

¹⁸13

¹⁹IETF TFC 6690, Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format (August 2012)

²⁰IETF RFC 2616, Hypertext Transfer Protocol — HTTP/1.1(June 1999)

4 Varianten der Systemarchitektur

Ausgehend von den beschriebenen Standards sollen im Folgenden vier Varianten einer *smart charging architecture* definiert werden. Die Methodik der folgenden Spezifikation richtet sich nach dem Grad und Aufwand der Umsetzung/Implementierung unter realen Bedingungen. Der Ansatz soll zeigen, dass man die Integration der elektrischen Batteriespeicher in das elektrische Netz unter bestimmten Bedingungen erreichen kann - dies aber nicht im Sinne einer vollständigen Implementierung, sondern nur durch eine schrittweise (partielle) Umsetzung.

	Ausspeisung	Einspeisung
dynamisch	„passiver“ Verbraucher	„passiver“ Erzeuger
geplant	„aktiver“ Verbraucher	„aktiver“ Erzeuger

In der Tabelle sind die vier Betrachtungen eines EV, bzw. der gesamten *Flexibility Resource* aus Sicht des elektrischen Energienetzes dargestellt. Grundlage sind die in Abschnitt 3 beschriebenen technischen Möglichkeiten der Summe aller Standards. *Dynamisch* bedeutet in diesem Fall, dass der CS kein Zeitraum für die Energieübertragung bekannt ist, sodass allein ein Faktor wie der aktuelle Preis die Richtung und Stärke der Übertragungsleistung bestimmen kann. Bei *geplant* liegen Informationen wie Abfahrtszeitpunkt und Ladestand zu diesem Zeitpunkt vor. Aus dieser Betrachtung lassen sich verschiedene Architekturen der Ladeinfrastruktur ableiten. Als Basis dient eine Mindestimplementierung, welche nicht primär die Funktionen einer intelligenten Infrastruktur innehat. In diesem Sinne verstehen sich die folgend beschriebenen Architekturversionen nicht als unabhängige Realisierungen, sondern als funktionale Erweiterungen der Version 0 (Minimalimplementierung).

Variante 0: Minimalimplementierung

In der niedrigsten Ausbaversion einer möglichen *smart grid architecture* gibt es drei Akteure, diese sind in Abbildung 2 dargestellt.

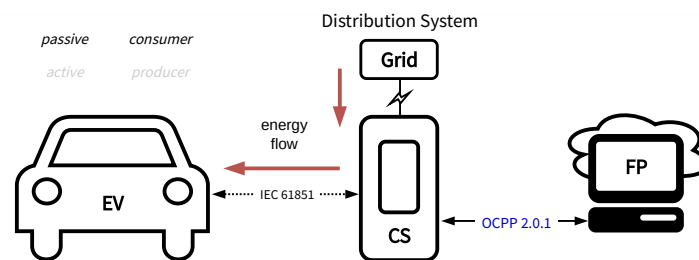


Bild 2: Minimalausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Für diese Minimalimplementierung ist die IEC 61851 als Kommunikation zwischen EV und CS vorgesehen. Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, können damit Ladeleistungswerte von der CS an das EV übertragen werden. Diese müssen in der CS Software vorgesehen sein, als Basis dienen physikalische Grenzen wie die Anschlussleistung der Anlage oder thermische Belastung. Als Grundlage des technischen Datenaustausches zwischen CS und FP ist das OCPP 2.0.1 vorgesehen. Die in Abschnitt 3.3 beschriebenen UCs die ein Teilnehmer mindestens implementieren muss, um OCPP-konform arbeiten zu können, sind in diesem Szenario umzusetzen. Intelligentes Laden ist in diesem Fall nur im Sinne einer Übertragung von z.B. *charging limits* durch den UC K09 [15, S. 250f] möglich.

Variante 1: „SCready“

In der funktional erweiterten Variante wird die Infrastruktur um den **CP** und damit zwingend auch um das OSCP 2.0 (Abschnitt 3.4) erweitert.

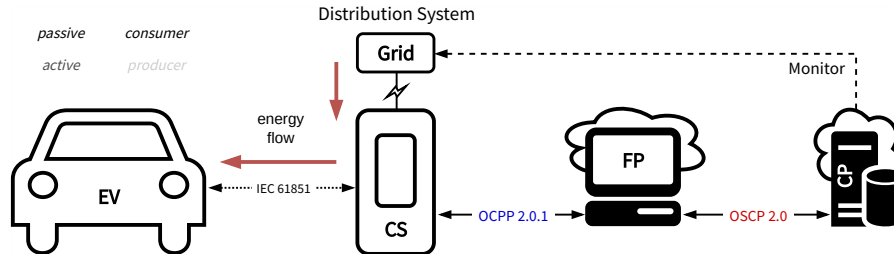


Bild 3: Erweiterte Ausbauversion einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Es bedarf bei einer Implementierung von OSCP 2.0 [8] mindestens die UCs für die *Connectivity* (2) [8, S. 10-12] und die Definition von **group_id**'s [8, S. 27-28]. Dabei handelt es sich um einen Bereich, in dem eine oder mehrere *Flexibility Resource(s)* an das elektrische Netz angeschlossen sind. („*The id of the area in which the Flexibility Provider has Flexibility Resources connected to the grid.*“ [8, S. 27]). Eine **group_id** setzt voraus, dass ein **CP** die von ihm betriebenen und verwalteten Teile des Stromnetzes unterteilt hat und diese Informationen über die Bereiche mit dem **FP** teilt. Der **CP** überträgt eine Leistung für diese Bereiche zu bestimmten Zeitpunkten in der nahen Zukunft (max. 24h) an den **FP**. Seitens des OCPP müssen diese Informationen der zur Verfügung stehenden Ladeleistung vom **FP** an die in den jeweiligen **CS** weitergeleitet werden. Vorab ist diese Ladeleistung zu parametrisieren, so diese nicht der vollen Anschlussleistung entspricht. Konkret wird z.B. der UC K01 [7, S. 233f] implementiert um der **CS** oder einem einzelnen Anschluss eine Ladeleistung vorzugeben. Die **CS** setzt diese Vorgaben um und passt durch Mittel der IEC 61851 die Ladeleistung an. Der Energiefluss ist unidirektional, nicht planbar aber in der Leistung regulierbar.

Variante 2: „FullSC“

Die nächste Erweiterung in der Architektur ist die ISO 15118-20 (Abschnitt 3.2). Durch diese wird der passive Teilnehmer **EV** zu einem potenziellen Akteur.

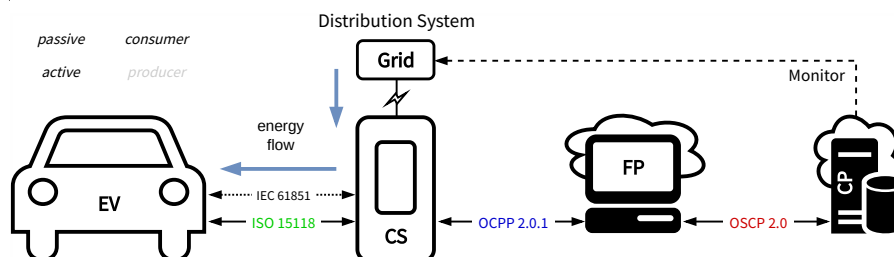


Bild 4: Dritte Ausbaustufe einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Im OSCP gibt es in Version 2 keine zwingende Erweiterung gegenüber der Version 1. Es ist jedoch angemessen, den UC zur Messwertübertragung (*Distribute measurements* [8, S. 18-19]) zu implementieren, da der **CP** hierdurch aktuell genutzte Leistungen in seinen Bereichen kennt und auf Basis dieser Informationen handeln kann. Durch die Verfügbarkeit von Informationen wie *departure time* oder *charging schedule* vom **EV** können OCPP-UCs wie K08 [15, S. 248ff] genutzt werden um eine Ladeplanung zu implementieren. Des Weiteren verfügt OCPP über drei UCs für die Nutzung der ISO 15118 an einer **CS**. Diese sind auf Abläufe der ISO Norm angepasst und in dieser Architekturvariante vollständig umsetzbar (K15-K17 [15, S. 259-267]). Da der **CS** die oben genannten

Informationen bekannt sind, führt das zu einem weiteren Bedarf an Entscheidungslogik. Diese muss nicht nur mit aktuellen Werten arbeiten, sondern auch in die Zukunft planen und Energiemengen zuweisen. Dabei muss der **CP** für gesamte Gebiete die Leistung für einzelnen Bereiche einteilen, diese dem **FP** übertragen und dieser die Entscheidungen für einzelne **CS** treffen. Die wesentliche Erweiterung findet hier durch die Einführung einer *High-Level-Kommunikation* zwischen **EV** und **CS** auf Basis der Norm ISO 15118 statt. Für die Konfiguration und Steuerung von Ladevorgängen umfasst die Norm ein zweistufiges Verfahren. Zunächst findet eine Einigung auf einen Energie-Transfer-Service und dessen Parametrisierung statt [12, S. 154ff,361ff]. Die **CS** stellt dem **EV** auf Anfrage alle von ihr unterstützen Lade-Services dar (*ServiceDiscovery*). und liefert ggf. weitere Informationen über einen oder mehrere Services in Form von Serviceparameter-Listen (*ServiceDetail*). Beispiele hierfür sind die unterstützen Steckerbelegungen, Steuer-Modi (Scheduled, Dynamic), Mobilitätsbedarfsmodi und Preisgestaltungsoptionen. Das **EV** übersendet abschließend den gewählten Lade-Service und seine Auswahl zugehöriger Parameter (*ServiceSelection*). In der zweiten Stufe findet, in Abhängigkeit des gewählten Service (und dessen Parametern), ein Austausch von Ladeparametern statt [12, S. 134ff,159ff,209ff]. **EV** und **CS** kommunizieren ihre (physischen) Grenzwerten für die Leistungsübertragung, die zu jedem Zeitpunkt eingehalten werden müssen (*ChargeParameterDiscovery*). In Abhängigkeit des gewählten Steuer-Modus wird daraufhin der Ablauf des bevorstehenden Energieaustauschs verhandelt (*ScheduleExchange*). Im dynamischen Modus informiert das **EV** die **CS** über die Energiemenge, die es plant während des Ladevorgangs bis zu einem bestimmten Abfahrtszeitpunkt aufzunehmen. Die **CS** kann diese Sollwerte akzeptieren oder verweigern. Im geplanten Modus bietet die **CS** dem **EV** mögliche Ladepläne (Schedules) an, welche detaillierte, in mehrere Zeitabschnitte unterteilte, Leistungs- und Preisinformationen für den gesamten Ladezeitraum enthalten. Bei der Berechnung dieser Ladepläne werden alle relevanten Soll- und Grenzwerte sowie Vorgaben von SAs berücksichtigt. Der Energietransferprozess kann durch das **EV** (und indirekt durch die **CS**) gestartet, ausgesetzt oder beendet werden. Zusätzlich kann das **EV** der **CS** sein voraussichtliches Ladeleistungsprofil bereitstellen (*PowerDelivery*). Während des Ladevorgangs findet ein kontinuierlicher Austausch von leistungs- und energiebezogenen Soll- und Ist-Werten von **EV** und **CS** statt (*ChargeLoop*). Das **EV** kann außerdem die aktuellen Zählerstände der **CS** abfragen. Der Energiefluss ist unidirektional, planbar und in der aktuellen Leistung regulierbar.

Variante 3: „UltraSC“

Die Änderung von „FullSC“ zum maximal implementieren Funktionsumfang der Architekturversion „UltraSC“ bestehen in einer Erweiterung der Infrastruktur um den **CO** und des *bidirectional power transfer* (BPT).

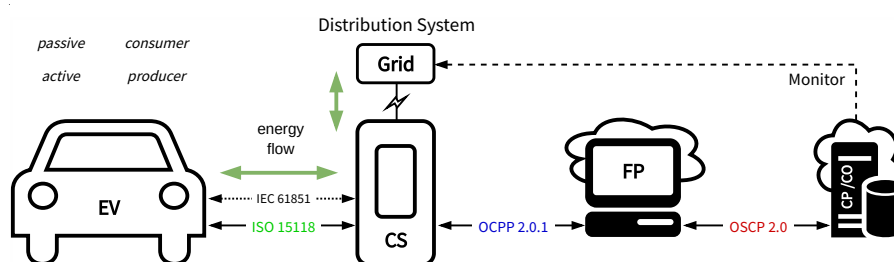


Bild 5: Vollausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur

Zwischen **CP** und **FP** besteht spätestens hier eine vollständige Implementierung aller UCs des OSCP. In diesem Szenario gibt es zusätzlich einen **CO**, dessen Rolle laut Protokoll eine additive zu der des **CP** ist. Es sollen anhand zusätzlicher Informationen wie Wetterdaten ein optimierter *capacity forecast* [8, S. 7] gebildet werden. Dies bedeutet in jedem Fall

eine zusätzliche Entscheidungslogik für den **FP**. Die ISO 15118-20 umfasst einen Satz an Services für das bidirektionale Laden [12, S. 361ff], bei dem neben der Speisung aus dem Netz auch eine Einspeisung erfolgen kann. Die Fähigkeit des bidirektionalen Ladens können sich **EV** und **CS** gegenseitig während der Service-Aushandlung bestätigen. Die Nachrichtenparameter-Sätze für das bidirektionale Laden ersetzen und/oder erweitern die ursprünglichen Parameter-Sätze um die für eine inverse Energieübertragung relevanten Grenz-, Soll- und Ist-Werte. Hier sind beispielsweise die maximale inverse Ladeleistung, der gewählte Generator-Modus (netzbildend/netzfolgend) und die Kanal-Architektur zu nennen [12, S. 313ff]. Wie beim unidirektionalen Laden wird zwischen den Lademodi *dynamic* und *scheduled* unterschieden. Der Verlauf der Einspeisung kann demnach ebenso in Form von Ladeplänen ausgehandelt werden. Für die Umsetzung des bidirektionalen Ladens ist softwareseitig die Implementierung der Service- und Nachrichten-Parameter vorzunehmen. Der Energiefluss ist bidirektional, voll planbar und in der aktuellen Leistung regulierbar.

5 Validierung

Eine grafische Repräsentation der vorhergehenden Betrachtungen (Abbildung 6) verdeutlicht, dass die Normen und Standards für die verschiedenen Ausbaustufen (Versionen der Systemarchitektur) einer intelligenten Ladeinfrastruktur zu unterschiedlich großen Anteilen abgedeckt sind.

Die Implementierung einer Ladearchitektur nach Version 3 „UltraSC“, welche den bidirektionalen und geplanten Energietransfer unterstützt, erfordert einen erheblichen Entwicklungsaufwand. Zusätzlich müssen sich Teilnehmer wie **FP** und **CP** bereit erklären, Informationen zu Netzbeschaffenheit und Messwerten auszutauschen. Die Bereiche außerhalb der mit Strichlinien hervorgehobenen Kreise für die Standards, stehen qualitativ für die nicht durch Normung abgedeckten Softwarebestandteile, welche zusätzlich definiert und implementiert werden müssen. Dazu gehören Entscheidungsprozesse zur lokalen Lastverteilung und die Umsetzung von Kapazitätsvorhersagen zu konkreten Ladeprofilen. Diese sind bislang durch keine der betrachteten Normen ausreichend beschrieben, da die Standardisierung an dieser Stelle auf einer übergeordneten Ebene stattfinden muss. Weiterhin sind diese Standards nicht zwingend gekoppelt und auch einzeln werden die UCs zu *smart charging* nicht für die Mindestimplementierung vorgesehen. Es ist legitim eine **CS** oder ein **FP** OCPP 2.0.1 anzubieten, ohne einen der 17 *smart charging* UCs abzudecken. Solange es keine Verpflichtung zur Verbindung von **FP** und **CP** mit OSCP 2.0 oder einem anderen Protokoll gibt, OCPP 2.0.1 in der Mindestimplementierung keine *smart charging* UCs vorsieht und die ISO 15118-20 keine Pflicht bei **EV** und **CS** sind, ist für den öffentlichen Raum eine solche Ladearchitektur flächendeckend nur schwer zu realisieren.

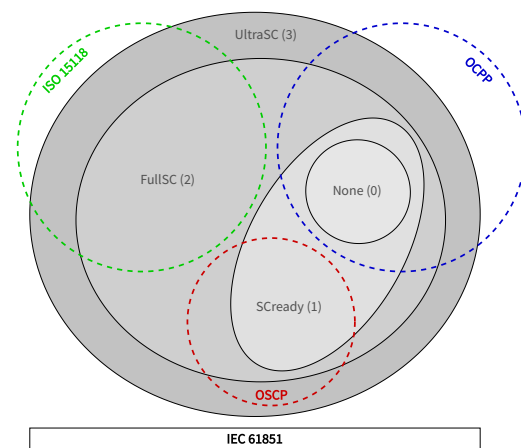


Bild 6: Qualitative Betrachtung der Schnittmengen zwischen Normen und Ausbaustufen

6 Work in Progress - Ausblick

Die vorgestellten Lösungen können als Umsetzungsrichtlinie und „Leistungsklassen“ verstanden werden. In diesem Fall ist es möglich für alle Teilnehmer im *smart grid* verbindliche Umsetzungsrichtlinien vorzugeben und im weiteren Ausbau kompatibel zu verschiedenen Anbietern der elektrischen Ladeinfrastruktur, den Fahrzeugherstellern und den Energieversorgern zu bleiben. Eine weitere Hoffnung ist die im Juli 2022 vorgestellte IEC 63110-1:2022²¹. Diese soll ein Teil der oben genannten Probleme angehen und für vollumfängliche Standards in der Ladeinfrastruktur sorgen.

Im Laufe der Entwicklung wurde durch die Autoren eine Testumgebung entwickelt, die einerseits als Hardware-In-The-Loop System, mit konkreter Charger-Hardware (AC) und Ladecontroller und simulierten Software-Back-End als auch als Software-In-The-Loop System mit simulierter Hardware und konkretem Software-Back-End System betrieben werden kann. Mit diesem Stand der Testumgebung kann die Variante 0 (Minimalimplementierung) umgesetzt werden. Die dafür notwendigen UCs des Kommunikationsprotokolls OCPP Version 2.0.1 sind adressiert und wurden schon teilweise realisiert. Die ausstehende Realisierung der darauf folgenden Varianten erfordert einerseits die Implementierung des Kommunikationsprotokolls OSCP Version 2.0 als auch die Anbindung eines simulierten elektrischen Teilnetzes (verfügbar im Institut Elektrische Energietechnik der HTWK).

Literatur

- [1] Z. u. T. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität Arbeitsgruppe 6 „Normung, Standardisierung, “Schwerpunkt-roadmap intelligentes lastmanagement,” April 2020.
- [2] A. Belkaaloul and B. A. Bensaber, “Anonymous authentication protocol for efficient communications in vehicle to grid networks,” in *2021 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 1–5, 2021.
- [3] K. Hajar, B. Guo, A. Hably, and S. Bacha, “Smart charging impact on electric vehicles in presence of photovoltaics,” in *2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, vol. 1, pp. 643–648, 2021.
- [4] O. Sadeghian, A. Oshnoei, B. Mohammadi-Ivatloo, V. Vahidinasab, and A. Anvari-Moghaddam, “A comprehensive review on electric vehicles smart charging: Solutions, strategies, technologies, and challenges,” *Journal of Energy Storage*, vol. 54, pp. 1–24, October 2022.
- [5] “Road vehicles – vehicle to grid communication interface – part 1: General information and use-case definition,” March 2018.
- [6] OpenChargeAlliance, “Ocpp 2.0.1 - part 1 - architecture & topology,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, December 2019.
- [7] OpenChargeAlliance, “Ocpp 2.0.1 - part 2 - specification,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, December 2019.
- [8] OpenChargeAlliance, “Oscp 2.0 - specification,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, October 2020.
- [9] “Konduktive ladesysteme fuer elektrofahrzeuge - teil 1: Allgemeine anforderungen,” November 2001.
- [10] N. P. E. (NPE), “Die deutsche normungs-roadmap elektromobilität 2020,” April 2017.
- [11] “Road vehicles – vehicle to grid communication interface – part 3: Physical and data link layer requirements,” August 2016.
- [12] “Road vehicles — vehicle to grid communication interface -part 20: 2nd generation network layer and application layer requirements,” April 2022.
- [13] OpenChargeAlliance, “Ocpp 2.0.1 - part 0 - introduction,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, December 2019.
- [14] OpenChargeAlliance, “Ocpp 2.0.1 - part 2 - appendices,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, December 2019.
- [15] OpenChargeAlliance, “Ocpp 2.0.1 - part 2 - json over websockets implementation guide,” techreport, Open Charge Alliance, Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem, Niederlande, December 2019.

²¹<https://webstore.iec.ch/publication/60000>