

Abschlussbericht

für das Projekt

FastCharge

„Entwicklung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen mit stark verkürzten Ladezeiten und der dafür notwendigen Ladeinfrastruktur“

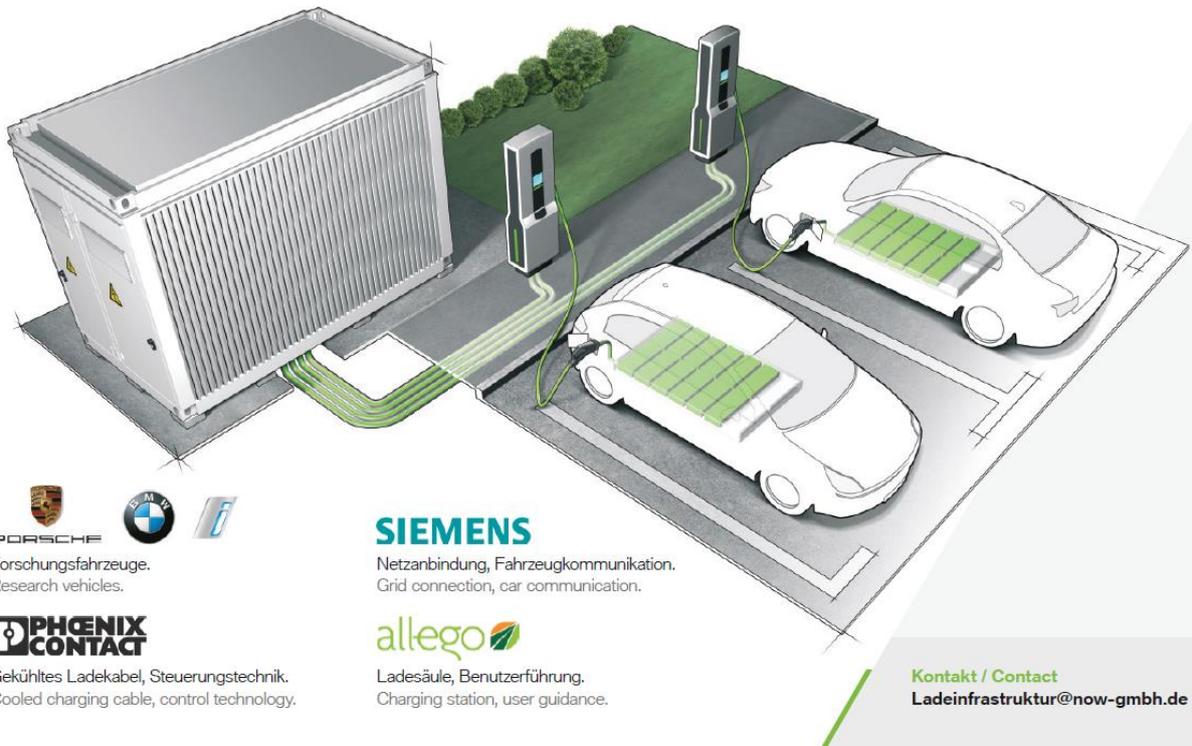
Das Projekt zählt zum Forschungs- und Entwicklungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur



Gefördert durch:



Koordiniert durch:



PORSCHE
Forschungsfahrzeuge.
Research vehicles.



PHENIX CONTACT
Gekühltes Ladekabel, Steuerungstechnik.
Cooled charging cable, control technology.

SIEMENS

Netzanbindung, Fahrzeugkommunikation.
Grid connection, car communication.



allego
Ladesäule, Benutzerführung.
Charging station, user guidance.

Kontakt / Contact
Ladeinfrastruktur@now-gmbh.de

Impressum

Veröffentlichungsdatum:

Mai 2019

Autoren:

Stephan Elflein
Dr. Markus Göhring
Robert Ewendt
Bernhard Pufal
Gerhard Oberpertinger
Robin Kraus
Frank Bauer
Diego Salzillo Arriaga
Dr. Richard Kuntschke
Björn Pehnert
Lars Hovestadt
Dr. Lars Gräf
Sandra Karl
Guenter Heid
Achim Lenz
Manfred Mikschl
Anton Schmitt

Projektpartner:

BMW AG (Gesamtprojektleitung)
Allego GmbH
PHOENIX CONTACT E-Mobility GmbH
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG
Siemens AG

Fördernde Institutionen:

Gefördert durch:



Koordiniert durch:

**Förderkennzeichen:**

03EMF0004

Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary.....	6
1.1	Zielsetzung des FastCharge Projektes	9
1.2	Projektaufbau - das FastCharge Konsortium.....	10
2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse.....	11
2.1	Use-Cases.....	11
	Definition Use-Cases	11
	Motivation und Zielsetzung	11
2.1.3	Ergebnisse.....	12
	2.1.3.1 Nutzertypen.....	12
	2.1.3.2 Fahrzeugtypen	12
	2.1.3.3 Kundensituationen (Use-Cases)	13
2.1.4	Fahrscenarien.....	13
	2.1.4.1 Simulation Fahrscenarien	14
2.1.5	Fazit.....	15
2.1.6	Ausblick	15
3	Ladestation.....	16
3.1	Base-Charge-Unit (inkl. EV-Interface)	17
3.2	User Interface-Frontend.....	23
3.3	Ladeschnittstelle	28
	3.3.1 Notwendigkeit einer gekühlten Schnelllade-Schnittstelle	28
	3.3.2 Normative Anforderungen eines gekühlten Systems	28
	3.3.3 Abgrenzung und Beschreibung des Gesamtsystems Ladeschnittstelle	30
	3.3.4 Konzeptschritte HPC-Ladeschnittstelle	31
	3.3.5 Übergangswiderstand – Niederohmige Verbindung zwischen Kontakt und Kupferleiter.....	38
	3.3.6 Kühlmittelauswahl – Wasser Glykol Gemisch	52

3.3.7	Wartungsplan von passiven Kühleinheiten	53
3.3.8	Bereitstellung Fahrzeug-Ladeschnittstelle für Fast Charge Anwendungen..	54
3.3.9	Fazit und Zusammenfassung zum Thema Ladeschnittstelle	56
3.4	Plug and Charge.....	57
3.5	Inbetriebnahme.....	58
4	Standortfindung und Betrieb.....	61
4.1	Standortkonzept.....	61
4.2	Rollout-Konzept und Netzintegration	65
5	Forschungsfahrzeug BMW	81
5.1	Gesamtkonzept.....	82
5.2	Bidirektionaler Spannungswandler (HV-DC/DC).....	85
5.3	Schnellladefähiger Hochvoltspeicher mit erhöhtem Energieinhalt	88
5.4	Kühlkonzept und thermisches Management Batterie.....	94
5.5	Fahrzeugaufbau.....	97
5.6	Fahrzeuginbetriebnahme und Tests	99
5.7	Zusammenfassung und Ausblick	101
6	Forschungsfahrzeug Porsche.....	102
6.1	Konzepterstellung	102
6.2	Fahrzeugaufbau.....	107
6.3	Inbetriebnahme und Applikation	110
6.4	Erprobung.....	112
6.5	Zusammenfassung und Ausblick	117
7	Testmanagement und Datenauswertung.....	118
7.1	Testmanagement.....	118
7.2	Testergebnisse und Datenauswertung	121
8	Begleitforschung & Öffentlichkeitsarbeit	131
8.1	Begleitforschung	131
8.2	Berichterstattung & Öffentlichkeitsarbeit.....	134

8.3	Pressemitteilung zur Livedemonstration des Gesamtsystems in Jettingen-Scheppach.....	139
9	Roadmap High Power Charging 2030	145
9.1	Fahrzeugtechnik	145
9.2	Leistungselektronik Infrastruktur	147
9.3	Frontend	148
9.4	Ladeschnittstelle	149
9.5	Informations - & Kommunikationstechnik.....	150
9.6	Marktentwicklung	151
10	Fazit und Ausblick.....	154
11	Anhang	157
11.1	Ansprechpartner	193
11.2	Abbildungsverzeichnis	194
11.3	Glossar/Abkürzungsverzeichnis	200
11.4	Tabellenverzeichnis	203
11.5	Literatur und Quellen	204

1 Executive Summary

„Von der Geschwindigkeit wird Laden perspektivisch so schnell wie heute das Tanken.“
Stephan Elflein, BMW AG, Gesamtprojektleiter Projekt FastCharge.

Um den CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors signifikant zu verringern, ist eine Erhöhung des Anteils an elektrifizierten Fahrzeugen im deutschen Straßenverkehr zwingend erforderlich. Die mit diesem Ziel korrespondierenden Vorgaben der Bundesregierung sind ambitioniert. Der CO₂-Ausstoß von neuen Pkw muss bis zum Jahr 2030 um 37,5% im Vergleich zu 2021 gesenkt werden. Bis 2021 gelten außerdem bei Neuwagen in der EU 95 g Kohlendioxid pro Kilometer als Höchstwert im Flottendurchschnitt. Das ist auch die Basis für die neuen Reduktionsvorgaben. Im Dezember 2018 lagen Hersteller im europäischen Durchschnitt noch bei 118,5 g/km.

Stand 01/2019 sind ca. 83.000 elektrische PKW in Deutschland zugelassen.¹ Für eine schnelle Marktdurchdringung ist es nach wie vor wichtig, Hemmnisse der Kunden abzubauen und das Vertrauen in die neue Technologie weiter zu stärken.

Die im „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ beschriebenen und angepassten Ziele der Bundesregierung sehen es vor, eine Million Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2022 auf Deutschlands Straßen zugelassen zu haben.² Deutschland soll sich darüber hinaus als Leitanbieter der Elektromobilität etablieren. Zur Erreichung dieser Ziele bedarf es einer engen und effizienten Zusammenarbeit von unterschiedlichen deutschen Industriezweigen bzw. –unternehmen entlang der Wertschöpfungskette.

„Laden wie Tanken“ ist eine der leitenden Projektvisionen von FastCharge. Elektrofahrzeuge müssen erstfahrzeugtauglich und langstreckentauglicher werden. Dies ist verbunden mit einer größerer Reichweite und einer Verkürzung der Ladedauer, zwei der relevantesten Kaufkriterien bei Elektrofahrzeugen.

Die prototypische Demonstration des Gesamtsystems Ultra-Schnellladen in Jettingen-Scheppach mit Ladeleistungen von bis zu 450 kW und Ladezeiten von weniger als 15 Minuten liefert den Beweis, dass Laden perspektivisch wie Tanken von statten gehen könnte. Das Projekt FastCharge liefert in diesem Sinne einen herausragenden Beitrag zum Durchbruch der Elektromobilität und somit zur Erreichung der nationalen CO₂ Ziele. Dabei wurden von den Projektpartnern sowohl zwei Fahrzeuglösungen als auch eine Infrastrukturlösung erarbeitet, umgesetzt und unter Realbedingungen in Deutschland erprobt.

Das FastCharge Ultra-Schnellladesystem ist in der Gesamtsystemverbindung, mit bis zu 450 kW Ladeleistung, die schnellste Ladelösung weltweit und setzt daher neue Maßstäbe für das Laden von Elektrofahrzeugen. Die hohen technischen Herausforderungen, ob im Fahrzeug, bei der Ladeinfrastruktur oder dem Ladestecker, wurden im Rahmen des FastCharge Projektes ganzheitlich im Systemverbund vom Verteilnetz bis zum Hochvoltspeicher untersucht und erfolgreich gelöst.

Ziel war nicht allein eine Steigerung der Ladeleistung, sondern ebenso der Aufbau von skalierbaren Ladeinfrastrukturlösungen zur Deckung des zukünftigen Ladebedarfs. Im Projekt "FastCharge" wurde daher eine Ladestation mit mehreren Ladesäulen (jeweils ein Ladepunkt) konzipiert. So kann sich die Infrastruktur flexibel an die steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen mit unterschiedlichen Ladeleistungen anpassen.

Bei der Standortplanung und Konzeption wurde von einer Duplizierung von Einzelsäulen aus Platzgründen und vor dem Hintergrund der Ausschöpfung von Synergieeffekten (z.B.

¹ Kraftfahrtbundesamt, 2019.

² Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, 2009.

gemeinsames Display, Klimatisierung, Steuerung, Kommunikationsmodul) abgesehen. Eine räumliche Entkopplung der Leistungseinheit (Base-Charge-Unit: BCU) von der Ladestation (UI Frontend) erscheint sinnvoller und wurde daher entsprechend umgesetzt. Die FastCharge Ladestationen inkl. gekühltem Ladestecker wurden platzsparend und in State-of-the-art Design direkt am Ladeparkplatz aufgebaut. Die BCU kann flexibel an einer geeigneten Stelle außerhalb des Parkbereichs platziert werden.

In gemeinsamer Bearbeitung des Projektkonsortiums wurde neben technologischen Aspekten des Ultra-Schnellladens auch die mögliche, zukünftige Marktentwicklung betrachtet. Um potentiell geeignete Standorte von Ultra-Schnellladetechnologie zu identifizieren wurde eine gebietsüberschreitende Netzwerkanalyse des Fernstraßennetzes, der umliegenden Raumstruktur und der benachbarten Infrastruktur durchgeführt. Der Schwerpunkt der Modellierung von potentiellen Standorten für elektrische Ladeinfrastruktur liegt auf dem Fernstraßennetz, welches Autobahnen und in dem Fall von Netzlücken auch sekundäre Strecken umfasst. Ebenfalls wurden raumstrukturelle Merkmale berücksichtigt. Diese beschreiben städtebauliche, raumorganisatorische und soziodemografische Faktoren. Weiterhin fließen Fahrzeugprognosen in die Modellierung mit ein, die auf Fahrzeuganzahl, Verteilung im Raum, Verbrauch und Batteriekapazität fußen.

Auch vor dem Hintergrund einer weiterhin effektiven und zielgerichteten Förderpolitik für Ladeinfrastruktur werden auf dieser Basis Standortempfehlungen und zukünftige Nachfrageprognosen mit dem Fördergeber geteilt. Ergänzt wird dieser Blick in die Zukunft durch eine technologische Ultra-Schnelllade-Roadmap 2030, welche die Expertise und Zukunftssicht aller Partner bündelt. Die im Rahmen dieses Projektes angefertigten Hochrechnungen zeigen einen erwarteten xEV Anteil bei den Neuzulassungen für das Jahr 2030 in Deutschland von ca. 36%, davon sind ca. 60% BEV. Der spezifisch analysierte Bedarf an Schnellladeinfrastruktur liegt zwischen ca. 3.000–12.000 Ladepunkten in Deutschland für das Jahr 2030. In diesem Zusammenhang wurden auch potentielle Spitzenbedarfe durch die Ladeleistungen untersucht. Im Ergebnis wird ein Peakbedarf von 539 MW um 18 Uhr im Jahr 2025 und 3029 MW im Jahr 2030 prognostiziert.

Im Rahmen des Projektes wurde exklusives Wissen für den Bereich der Standardisierung des CCS Standards erarbeitet. Die gesammelten Erfahrungen und Lösungen können als Vorschlag in die nationalen und internationalen Technologiegremien eingebracht werden, um die Massenmarktfähigkeit und Verbreitung der Schnellladesysteme zu beschleunigen.

Damit die technischen Innovationen aus dem Hard- und Softwarebereich auch sofort für möglichst viele Autofahrer erlebbar werden konnten, hat sich das Konsortium bewusst für einen öffentlichen Standort an der A8 in Jettingen-Scheppach entschieden. Kunden konnten so direkt von den deutschen Hightech-Entwicklungen profitieren. Der Ladestandort war öffentlich zugänglich, es konnte kostenlos geladen werden. Dank durchdachter Ladeprotokolle war dies auch für nicht HPC-fähige Fahrzeuge möglich. Die Ladestation passt die zur Verfügung gestellte Leistung an das Auto an.

Die Berichterstattung der Medien im Nachgang der Livedemonstration am 13.12.2018 beweist den positiven Einfluss des FastCharge Projektes auf den öffentlichen Diskurs über Elektromobilität. Die Kernbotschaften des Projektes „**in 3 Minuten 100 Kilometer laden**“ bzw. „**15 Minuten für einen vollen Ladevorgang**“ wurden begeistert von Medien und deren Rezipienten aufgenommen.

Um die hohen Ladeleistungen im Systemverbund und unter Realbedingungen zu erreichen, bedarf es Leistungselektronik und Kontrollsysteme der nächsten Generation, die eine Einhaltung der Belastungsgrenzen des Systems überwachen.

Im Folgenden werden die Innovationshighlights, welche erfolgreich durch das Projekt-Konsortium im FastCharge Projekt umgesetzt wurden, hervorgehoben.

- **Architektur** von der HVS-Zelle bis zum Mittelspannungsnetz
- ein **ultra-schnellladefähiges Elektrofahrzeug** von BMW (*siehe Kapitel 5*)
- ein **ultra-schnellladefähiges Elektrofahrzeug** von Porsche (*siehe Kapitel 6*)
- zwei ultraschnellladefähige **Fahrzeug-Inlets** für Elektrofahrzeuge von BMW und Porsche von Phoenix Contact
- **Ultra-Schnellladesysteme** mit je zwei Ladepunkten mit bis zu **450 kW DC-Ladeleistung** inkl. des Mittelspannungstransformators zur Netzanbindung von Siemens (*siehe Kapitel 3*)
- Leistungsmodule mit einem verfügbaren Spannungsbereich von über **800 V**
- **UI-Frontends** / Allego CPO IT Backend (CMS)
- Vier ultra-schnellladefähige **Ladeschnittstellen** inkl. der notwendigen Temperierung sowie deren Steuerung von Phoenix Contact (Fokus: Kühlkonzept mit Wasser-Glykol und Temperatursensorik im Kontext des notwendigen Sicherheitskonzepts)
- Nutzergerechte Umsetzung der Konzepte inkl. Plug and Charge für DC Laden (*siehe Kapitel 3.2 & 3.4*)
- **Modellhafter öffentlicher und barrierefreier Betrieb** der oben genannten Ladesysteme und Fahrzeuge (Im Schnitt wurden zwei Ladevorgänge pro Tag aufgezeichnet)
- **Roadmap** mit Technologie- und Marktentwicklung, u.a. mit Rolloutszenarien für Ultra-Schnellladeinfrastruktur in Deutschland (Nachfrage / Ladekapazitäten / Standortempfehlungen / Investitionen / notwendige Rahmenbedingungen und operative Planungsschritte) (*siehe Kapitel 4.2 & Kapitel 10*)
- Neues **Fahrzeugkonzept**: Batterieelektrische Fahrzeuge mit Fokus auf Ultra-Schnellladen für die Langstreckentauglichkeit
- Entwicklung und Aufbau von **Batteriepacks** mit Ladeleistungen von bis zu 400 kW (mit kommerziell verfügbaren Speicherzellen)
- **Weiterentwicklung** der **CCS-Ladeschnittstelle** für Ladeleistungen von bis 500 kW ohne Kompatibilitätsverluste (Rückwärtskompatibel in Bezug auf Status Quo von 50 kW);
- Elektrofahrzeug- und infrastrukturseitige Anpassung an die notwendige neue Spannungs- und / oder Stromlage

Durch die Entwicklung, Umsetzung und Erprobung von batterieelektrischen Fahrzeugen mit stark verkürzten Ladezeiten und der dafür notwendigen Ladeinfrastruktur wird ein Grundstein für die nachhaltige Technologieführerschaft Deutschlands im Bereich Elektromobilität gelegt. Mit konkreten Empfehlungen für Rollout-Szenarien, operativen Planungsschritten und notwendigen Rahmenbedingungen zeigt das Projekt FastCharge klare Handlungsempfehlungen für Wirtschaft und Politik auf und bietet somit einen bisher einzigartigen Beitrag zur „**Next Generation E-Mobility**“ in Deutschland.

Das Konsortium bedankt sich für die Unterstützung und das Vertrauen des Fördergebers.

1.1 Zielsetzung des FastCharge Projektes

Die Erfüllung der oben beschriebenen Emissionsgrenzwerte erfordert eine schnelle und weitgehende Umstellung der Antriebe. Das kann nur gelingen, wenn Endkunden überzeugende Angebote präsentiert werden können.

Das Projekt „FastCharge“ setzt genau dort an, indem es die Voraussetzungen dafür schafft, mit der Verkürzung der Ladedauer, eine der wichtigsten Fragestellungen der Kunden hinsichtlich der Langstreckentauglichkeit von batteriegetriebenen Fahrzeugen zu beantworten. Wenn zusätzliche Kundengruppen durch die Einführung ultra-schnellladefähiger Fahrzeuge und der entsprechenden Infrastruktur dazu gebracht werden können, von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf Elektromobilität umzusteigen, kann – bei gleichzeitigem Ausbau der regenerativen Energieerzeugung im Rahmen der Energiewende – ein maßgeblicher Anteil zur Reduzierung des CO₂ Ausstoßes in Deutschland geleistet werden.

FastCharge setzt ein wichtiges Signal bereits heute zukunftsicher zu investieren. Das Engagement des Fördergebers sowie der namhaften Projektpartnern kann als Signal für nachhaltige Investitionssicherheit im Bereich Ladeinfrastruktur und Elektromobilität verstanden werden.

Für die Projektpartner und auch weiteren deutschen Technologieunternehmen mit ihrer hohen Vernetzung bietet sich hier eine einmalige Chance auf dem Gebiet der Schnellladetechnik einen Vorsprung gegenüber dem internationalen Wettbewerb zu gewinnen. Durch den Aufbau zweier Forschungsfahrzeuge verschiedener deutscher Fahrzeughersteller aus unterschiedlichen Fahrzeugsegmenten ist sichergestellt, dass die gefundenen Lösungen herstellerübergreifend eingesetzt werden können. Die beteiligten Unternehmen können die gesamte Wertschöpfungskette zum Thema Ultra-Schnellladen abdecken und das erworbene Wissen vollumfänglich zum Aufbau entsprechender Produkte in Deutschland nutzen.

Nebst diesen förderpolitischen Zielen zielt FastCharge auf die Erforschung, Entwicklung und Erlebbarkeit von Fahrzeug- und Infrastrukturlösungen ab, die eine interurbane Nutzung (z.B. für Langstrecken- und Urlaubsfahrten) von Elektrofahrzeugen zulässt. Für die detaillierten technischen Ziele wird auf die jeweiligen Fachkapitel verwiesen.

Um ein einheitliches Verständnis der zentralen Begrifflichkeiten dieses Abschlussberichtes zu schaffen wird im Folgenden der Begriff High-Power-Charging³/Ultra-Schnellladen⁴ definiert. Beide Begriffe werden im Text mit HPC abgekürzt.

Die im Text verwendete Bezeichnungen High-Power-Charging/Ultra-Schnellladen oder abgekürzt HPC stehen für Ladeleistungen von 150 kW bis 450 kW.⁵

³ englisch

⁴ deutsch

⁵ Die hier gewählten Begrifflichkeiten und Leistungsbereiche sind ausschließlich im Rahmen des FastCharge Projektes gültig. Weitere Synchronisation durch Standardisierungsgremien, welche Begrifflichkeiten und Leistungsbereiche über 150 kW allgemeingültig definiert, ist zukünftig wünschenswert.

1.2 Projektaufbau - das FastCharge Konsortium

Für das Projekt FastCharge wurde ein gesamthafter Ansatz verfolgt. Sowohl Automobil- als auch Infrastrukturhersteller, Komponentenhersteller und Betreiber von Ladeinfrastruktur arbeiten zusammen, um alle Herausforderungen, die sich beim Ultra-Schnellladen ergeben, zielgerichtet, effizient und ganzheitlich angehen zu können.

Das Projekt wurde als Verbundvorhaben unter der Gesamtprojektleitung der Bayerischen Motoren Werke AG, zur Förderung beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beantragt, von der NOW GmbH koordiniert und über den Projektträger Jülich eingereicht. An dem Verbundvorhaben sind vier weitere deutsche Industrieunternehmen beteiligt: Allego GmbH, PHOENIX CONTACT E-Mobility GmbH, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG und Siemens AG. Das Projekt hatte eine Laufzeit von 35 Monaten von Anfang Juli 2016 bis Ende Mai 2019. Das Gesamtbudget liegt bei ca. 16 Mio. Euro, davon wurden rund 7,8 Mio. Euro gefördert.

Im Projekt wurden mit wissenschaftlichen Methoden und gebündelter Fachkompetenz Konzepte zur kundenorientierten, flexiblen, ultraschnellen Ladung von Elektro-Fahrzeugen erforscht und dargestellt.

Für eine reibungslose Kommunikation wurde bei BMW ein zentraler Datenserver aufgebaut. Für die regelmäßige Kommunikation im Projekt fand ein wöchentlicher „Jour Fix“ statt.

Der Konsortialführer, die BMW AG, hat die Arbeitsaktivitäten koordiniert, synchronisiert und die Bündelung des anfallenden Knowhows inklusive der Dokumentation sichergestellt. Vierteljährlich haben zweitägige Konsortialtreffen aller Partner, inkl. Förderkoordinator, zum direkten persönlichen Austausch stattgefunden.



Abbildung 1 Das FastCharge Konsortium

Für die Konzeption, Entwicklung und den Aufbau des Ladeinfrastruktursystems waren die Firmen Siemens und Allego verantwortlich. Siemens entwickelte dabei die Ladeleistungselektronik (Base-Charge-Unit) und Allego die Ladesäule (UI-Frontend). Es wurden insgesamt vier Ladesysteme in Betrieb genommen: Bei Siemens in Neuperlach (zentrale Forschung München), bei BMW in Aschheim und bei Porsche in Weissach standen Testsysteme zur Verfügung. Ergänzt wurden die drei Forschungsstandorte durch ein öffentliches System an der Autobahn A8 in Jettingen-Scheppach, welches zur Sammlung von öffentlichen Ladedaten unter Realbedingungen verwendet wurde. Der operative Betrieb erfolgt über den Betreiber Allego. Die Ladeschnittstelle zwischen der Infrastruktur und den Fahrzeugen verantwortete Phoenix Contact. Die Teilung der Verantwortung zwischen den beiden Unternehmen kann der detaillierten Beschreibung der Teilprojekte und Teilaufgaben im weiteren Textverlauf entnommen werden.

Die ultra-schnellladefähigen Forschungsfahrzeuge wurden von BMW und Porsche aufgebaut, jeweils ein Versuchsträger pro Unternehmen wurde speziell für das Projekt entwickelt. Teilprojektübergreifende Arbeitspakete wurden von allen Projektpartnern gemeinsam behandelt. Beispiele dafür sind die Erarbeitung von Konzepten und Funktionen sowie das Testen und die Datenauswertung inklusive der Ableitung von Empfehlungen in Form der bereits beschriebenen Roadmap. Auch das Thema Plug and Charge wird übergreifend bearbeitet.

2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

2.1 Use-Cases

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Teilaufgabe „Definition Use-Cases“ vorgestellt. Zu Beginn des Projekts wurde seitens der Projektpartner die User Story definiert. Die User Story enthält die Folge der Situationen (Use Cases), die Kunden mit dem Schnellladesystem durchleben. Dazu zählen beispielsweise das Parken an der Ladestation, die Durchführung des Ladevorgangs an sich oder der Bezahlvorgang. Zur Ableitung spezifischer Kundenwünsche wurden die Use Cases mit zuvor definierten User Typen simuliert. Aus den Kundenwünschen wurden anschließend technische Anforderungen an Einzelkomponenten und das Gesamtsystem abgeleitet. Auf Grundlage der Anforderungen wurde die Gesamtsystem-Architektur für die ersten drei Prototypen (Ladestation bei Siemens, BMW und Porsche) erarbeitet und in Enterprise Architekt grafisch abgebildet. Ebenso sind die Schnittstellen zwischen den Teilsystemen und vom Gesamtsystem in das Umfeld spezifiziert und abgestimmt. Abschließend wurden die Funktionen pro Teilsystem für die drei Systeme spezifiziert und abgestimmt.

Definition Use-Cases

Die im Rahmen des Projektes FastCharge erforschten Ladelösungen hinsichtlich Infrastruktur und Fahrzeugen zielen drauf ab, die technischen und physikalischen Grenzen der CCS Technologie zu erforschen.

Im Rahmen des Ladevorgangs gibt es eine Vielzahl von Situationen, die der Kunde durchläuft. Eine wesentliche Zielsetzung dieses Teilprojekts ist die Erfassung sämtlicher Kundensituationen (hier Use-Cases genannt). Aus den jeweiligen Kundensituationen lassen sich spezifische Kundenanforderungen ableiten.

Aus den Kundenanforderungen und den gegenüber dem Projektträger kommunizierten Projektzielen lassen sich die technischen Spezifikationen an die Ladeinfrastruktur und die Fahrzeuge ableiten. Gleichzeitig dienen die ermittelten Kundenanforderungen der Kontrolle. Ein Abgleich der vor Projektbeginn definierten Zielsetzungen mit den identifizierten Kundenanforderungen kann bei Bedarf zu Veränderungen hinsichtlich der Projektumfänge führen.

Neben der Beschreibung der Kundensituationen werden im Rahmen dieser Teilaufgabe weitere Aktivitäten vorgenommen. Um die Kundensituationen richtig bewerten zu können, ist es erforderlich, mögliche Fahrertypen und Fahrscenarien zu definieren. Je nach Fahrer, Fahrzeug und Fahrstrecken ergeben sich spezifische Ladeszenarien mit unterschiedlichen BEV-Durchdringungsraten. Mit Hilfe der Fahrscenarien lassen sich die benötigten Ladeleistungen ableiten.

Motivation und Zielsetzung

Die Erkenntnisse aus dem Projekt FastCharge sollen einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Elektromobilität leisten. Momentan sind viele potenzielle Kunden gegenüber der neuen Technologie noch sehr skeptisch. Insbesondere die im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen höheren Anschaffungskosten, die geringen Reichweiten sowie die langen und umständlichen Ladevorgänge schrecken noch viele Interessenten ab.

Um die Masse der Kunden von Elektrofahrzeugen und der dazugehörigen Ladeinfrastruktur überzeugen zu können müssen alltagsfähige und nutzerfreundliche Lösungen entwickelt werden. Neben den technischen Eigenschaften interessieren die Kunden im stark umkämpften Mobilitätssektor, vor allem die mit der Reisetätigkeit verbundenen Kosten.

Daher ist es sowohl für die technischen Entwickler als auch für den Vertrieb oder die Betreiber von Geschäftsmodellen unumgänglich, frühzeitig auf sämtliche Fragestellungen und Erwartungen der Kunden hinsichtlich neuer Technologie einzugehen.

Die wesentlichen Ziele des Projekts sind die Steigerung der Ladeleistung und die Reduktion der Ladedauer. Die Erreichung dieser Ziele ist jedoch keine Garantie für den Erfolg der neuen Lösungen. Vielmehr sind das Gesamtsystem sowie dessen Nutzung mit Kundenaugen zu betrachten. Ultra-Schnellladen ist ein Produkt mit einem immer noch sehr hohen Innovationsgrad. Der Großteil der Fahrzeugnutzer hat keinerlei Erfahrungen mit Ladeleistungen von über 150 kW. Um den nächsten Schritt von der Markthochlaufphase der Elektromobilität zum Massenmarkt möglichst zeitnah zu gehen, sind eine einfache Handhabung und attraktive Nutzungsmodelle, die aus Kostensicht wettbewerbsfähig sind, notwendig.

Um dies zu gewährleisten, ist es alternativlos, sich in die Lage des Kunden zu versetzen. Die Teilaufgabe befasst sich daher mit den Situationen, die Kunden vor, während und nach dem Ladevorgang durchleben. Das bietet den Vorteil, dass diese Situationen zugleich aus Betreibersicht bewertet werden können.

Zusammenfassend werden im Rahmen der „Definition Use-Cases“ folgende Ziele anvisiert:

- Identifikation von Kundensituationen im Zusammenhang mit dem Ladevorgang (Use-Case Liste)
- Identifikation von Kundenanforderungen an Einzelkomponenten, Gesamtsystem und Fahrzeuge
- Identifikation technischer Spezifikationen an Einzelkomponenten, Gesamtsystem und Fahrzeuge
- Definition von Fahreigenschaften/-präferenzen, die das Fahrverhalten beeinflussen (u.a. Geschwindigkeitsprofil, Reiseprofil, Pausenprofil)
- Simulation der Fahrscenarien (Berücksichtigung von Fahrzeugkategorie, Wegstrecke, Fahrweise, Reiseursache)

2.1.3 Ergebnisse

2.1.3.1 Nutzertypen

Ziel war es zunächst Eigenschaften von Kunden und deren Fahrzeugen zu identifizieren, welche das Fahr- und Ladeverhalten beeinflussen könnten. Das später folgende Simulieren der User Stories erfolgte mit Charakteren und Fahrzeugen, die sich anhand der Merkmalsausprägungen beschreiben lassen. Tabelle 4 (siehe Anhang) enthält die Merkmale und deren Ausprägungen, die Einfluss auf das Fahr- und Ladeverhalten haben könnten.⁶

2.1.3.2 Fahrzeugtypen

Neben dem Fahrer und den anderen Fahrzeuginsassen ist es vor allem das Fahrzeug, welches das Fahr- und Ladeverhalten entscheidend beeinflusst. Um die Fahrscenarien möglichst realistisch durchspielen zu können, war es notwendig, zukünftig am Markt vorhandene Fahrzeuge einzubeziehen. Die Projektpartner von BMW und Porsche haben für

⁶ Eigene Annahmen, die im Rahmen des Projektes erarbeitet wurden.

2020 und 2025 Fahrzeugtypen inkl. entsprechender Eigenschaften definiert (s. Tabelle 11 im Anhang).

2.1.3.3 Kundensituationen (Use-Cases)

Im Rahmen dieser Teilaufgabe wurden mehr als 60 Kundensituationen detaillierter betrachtet und seitens der Projektpartner hinsichtlich Relevanz und abzuleitender Kundenanforderungen bewertet.

Das Ergebnis ist ein umfangreicher Fragenkatalog, der aus einer Kundensicht heraus abgeleitet wurde. Die Beantwortung von möglichst vielen dieser Fragestellungen ist zugleich der Input für die technische Umsetzung. Im Anhang (siehe Use Cases) sind die aus Projektsicht relevantesten Kundensituationen, geordnet nach 14 Kategorien, dokumentiert.

2.1.4 Fahrscenarien

Das Projekt FastCharge verfolgt das Ziel, Elektrofahrzeuge für Langstrecken Fahrten zu befähigen. Für die Simulation dieser Fahrten wurden daher gezielt typische Langstrecken Fahrten ausgewählt. Im Rahmen dieser Teilaufgabe wurden 15 mögliche Langstreckenfahrten mit unterschiedlichen Fahrzeugen und Fahrerpräferenzen simuliert.

Mit dem Durchlaufen der Szenarien wird erkenntlich, ob die Fahrer mit den jeweiligen Fahrzeugen in der Lage sind, die Strecke gemäß den Präferenzen des Fahrers zurückzulegen.

Mit Hilfe der Fahrtszenarien wird zudem die benötigte Ladeleistung in Abhängigkeit folgender Eingangsgrößen ermittelt:

- Fahrtstrecke (Dauer)
- Zurückzulegende Entfernung [kM]
- Fahrzeugtyp (u.a. Verbrauch, Batteriekapazität)
- Geschwindigkeit
- Sicherheitslimit vor Rast
- Pausendauer
- Präferenz bzgl. Pausenanzahl

2.1.4.1 Simulation Fahrsczenarien

Fahrsczenario	Fahrzeugtyp	Batteriekapazität [KWh]	Batteriekapazität [KWh] bei Start [%]	Sicherheitslimit Reichweite [KM]	Entfernung [KM]	⊖ Geschwindigkeit [KM/h]	⊖ Verbrauch [KWh /100 KM]	Anzahl Ladestops	1. Pause nach KM	max. Pausendauer [min]	Restkilometer bis Ende der Strecke oder 2. Pause [KM]	benötigte Ladekapazität [KWh]	benötigte ⊖ Ladeleistung [KW]
Pendler Wochenende	Kompaktklasse	70	80%	80	476	130	23,4	1	159,3	15	316,7	74,1	296,4
Pendler täglich	Oberklasse	100	50%	50	250	100	22	1	177,3	5	72,7	16,0	192,0
Vertreter mit Firmenwagen	Kompaktklasse	70	70%	60	540	120	21,6	2	166,9	10	250,0	54,0	324,0
Wochenendausflug (2 Personen)	Kleinwagen	50	80%	60	389	100	17,6	1	167,3	15	221,7	39,0	156,1
Urlaubsreise 4 köpfige Familie	Kompaktklasse	70	90%	80	416	90	18,9	2	253,3	10	125,0	23,6	141,8
Skiurlaub (Gruppe 4 Erwachsene)	Oberklasse	100	90%	80	789	120	24	2	295,0	10	280,0	67,2	403,2
Taxi (Stadt- und Flughafenverkehr)	Oberklasse	100	80%	40	360	35	20	1	360,0	10	0,0	0,0	0,0
Carsharing	Kleinwagen	50	40%	50	80	30	16	0	75,0	20	5,0	0,8	2,4
Mietwagen	Oberklasse	100	100%	60	567	120	24	2	356,7	5	150,0	36,0	432,0
vollautonomes Fahren Abendfahrt (Fahrer schläft während Fahrt)	Oberklasse	100	70%	80	400	100	22	1	238,2	10	161,8	35,6	213,6
Elektro Sportwagen Fahrt abends	Sportwagen	100	80%	80	300	150	28	1	205,7	10		0,0	0,0
Polizeifahrzeug Autobahn	Kompaktklasse	70	80%	100	400	130	23,4	1	139,3	10	260,7	61,0	366,0
Pendler Stadtverkehr	Kleinwagen	50	50%	40	65	60	19,2	0	90,2	5		0,0	0,0
Lieferfahrt (Post, Transport UPS, ...; z.B. von großen Verteilzentren; Kleintransporter < 7,5 t)	Lieferwagen	80	100%	50	220	50	22	0	313,6	10		0,0	0,0
Urlaub Wohnwagen (Rentner Paar)	Oberklasse	100	80%	70	530	70	30	3	196,7	15	150,0	45,0	180,0

Tabelle 1 Simulation Fahrsczenarien

2.1.5 Fazit

Gegenüber dem heutigen Tankvorgang erscheint ein Ladevorgang für viele Kunden noch ungewohnt. Der Wunsch nach automatischer Erkennung, automatischer Abrechnung, Reservierungsmöglichkeiten, etc. führt zu einer Reihe technischer Anforderungen, die im Rahmen des Projekts mit der Expertise aller Partner pilothaft erforscht oder anschließend in der Serienentwicklung umgesetzt werden.

Der Ladevorgang wird gerade zu Beginn des Infrastrukturaufbaus und bei noch geringen Reichweiten seitens der Fahrzeuge präzise in die Fahrtplanung zu integrieren sein. Hier helfen dem Fahrer diverse Kommunikationssysteme (Navigation, Apps,...).

Das Ladeverhalten an sich hängt in hohem Maße von persönlichen Präferenzen (Anzahl Ladestopps, Ladedauer, ...), den Eigenschaften des Fahrzeugs (Reichweite, Speichergröße, Bordnetz, Ladeleistung) und der Ladeinfrastruktur (Anzahl Ladepunkte, Ladeleistung,...) ab.

Die Fahrscenarien belegen, dass Ladeleistungen bis zu 400 kW notwendig sein können. Aber auch auf das Fahrverhalten wirken sich persönliche Eigenschaften, individuelle Präferenzen sowie unterschiedliche Fahrzeugeigenschaften aus. Die Anzahl der notwendigen Ladestopps wird mit steigender Batteriekapazität reduziert.

2.1.6 Ausblick

Die Ergebnisse dieses Kapitels fließen in andere Teilpakete mit ein und beeinflussen so beispielsweise den Aufbau der Gesamtarchitektur. Insbesondere werden die Use Cases in das Teilarbeitspaket Rollout-Konzept und Netzintegration miteinfließen. Nicht untersucht wurde, der Kostenaspekt für den Ladevorgang. Erfolgt die Abrechnung nach Ladedauer, Ladeleistung, Kapazität oder Standzeit. Was kostet das Blockieren des Ladeplatzes? Was kostet das Ultra-Schnellladen im Vergleich zum herkömmlichen Laden mit 50 kW oder dem Laden daheim? Diese Fragen wirken sich entscheidend auf den Ladevorgang aus und sind seitens der Betreiber noch zu beantworten.

Im Zuge weiterer Teilprojekte im Projekt FastCharge fallen darüber hinaus noch folgende mit den Use Cases verbundene Aufgaben an:

- Simulation von Ladeszenarien mit unterschiedlichen BEV-Durchdringungsraten bei "Normal"-Verkehr und in Urlaubszeit
- Abschätzung von Ladeleistungsprofilen (abhängig von Tageszeit, Wochentag, Urlaubszeit, BEV-Durchdringungsrate, Infrastrukturabstand)
- Kalkulation Anzahl notwendiger Ultra-Schnellladesäulen

Die genannten Inputgrößen fließen in die Auswertung in Kapitel 4.2 mit ein. Die Methodik der Auswertung sowie die Ergebnisse werden in Kapitel 4.2 beschrieben.

3 Ladestation

Das mit den Projektpartnern abgestimmte technische Gesamtkonzept für insgesamt vier Ladestationen (Aschheim, Neuperlach, Weissach, Jettingen-Scheppach) wurde umgesetzt. Die neu gewonnenen Erfahrungswerte während der Entwicklung der ersten Ladestation sind kontinuierlich bei den drei weiteren Ladestationen eingeflossen. Das Zusammenspiel der Leistungselektronik wurde optimiert, so dass die zuletzt aufgebaute, einzigartige Ladestation das erfolgreiche Ergebnis dieser Teilaufgabe im Forschungsprojekt aufzeigte.

Das technische Gesamtkonzept für Ultra-Schnellladen von Fahrzeugen mit der erforderlichen Ladestation bestehend aus Ladecontainer und zwei Kiosken (Kiosk = Ladesäule) mit jeweils einem Ladepunkt (Ladekabel und Stecker) wurde mit den Projektpartnern abgestimmt. Die Kioske des Projektes hatten hierbei unterschiedliche technische Parameter (Kiosk 1 = Ladeleistung bis 450 kW mit bis zu 500 A Ladestrom; Kiosk 2 = Ladeleistung bis 175 kW mit bis zu 200 A Ladestrom).

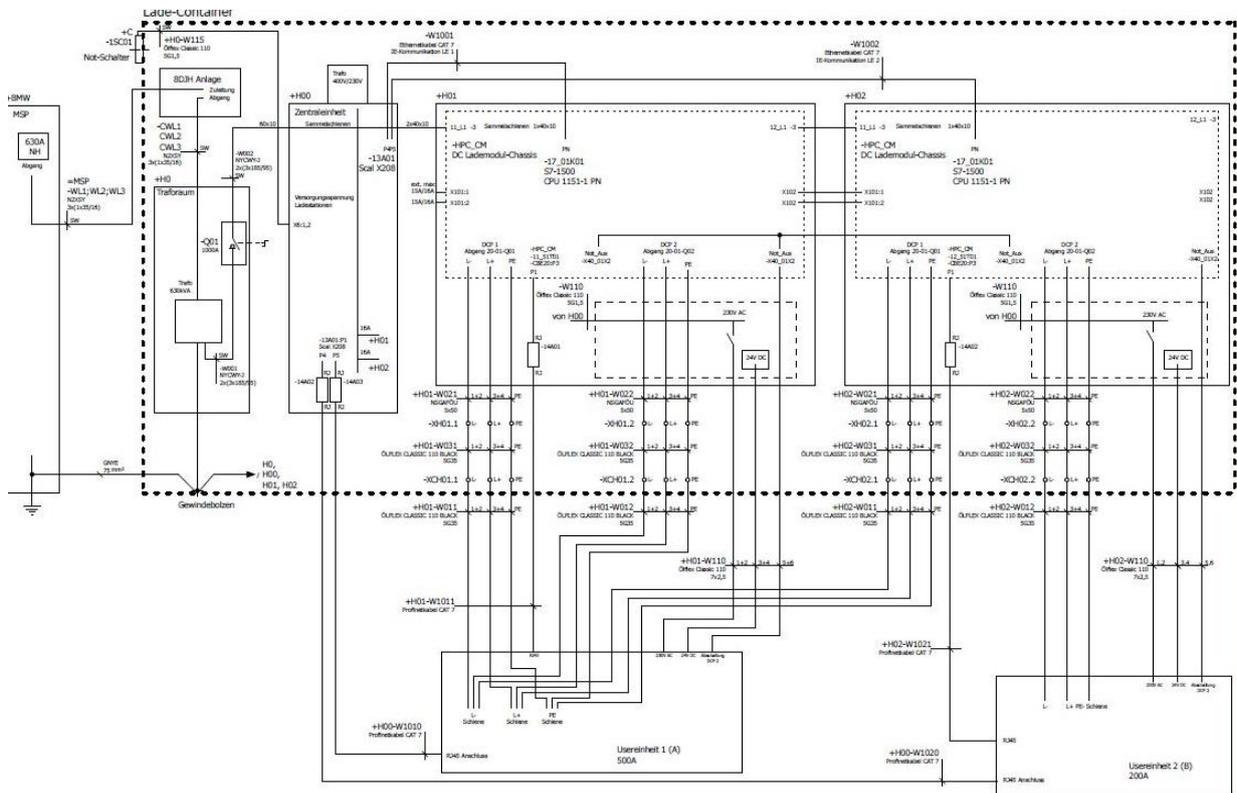


Abbildung 2 Ladecontainer Architektur



Abbildung 3 Container und Kioske nach Aufbau in Aschheim



Abbildung 4 Ladetests mit Container und Leistungssenke

3.1 Base-Charge-Unit (inkl. EV-Interface)

Das Fundament für den Ladecontainer ist über fertige Einzelfundamentblöcke (Trockenbau) zeitoptimiert und kostengünstig aufbaubar. Ein Streifenfundament mit Schalung für Flüssigbeton ist auf Grund der Trocknungszeit des Betons nicht von Vorteil. Es ist zudem darauf zu achten, dass das Fundament die Einlasspunkte für die Verkabelung nicht beeinträchtigt.



Abbildung 5 Einzelfundamentblöcke

- Der Ladecontainer ist senkrecht über einen Kran auf dem Fundament zu platzieren. Unter dem Ladecontainer ist staubfreier Untergrund nötig, da sonst durch die angesaugte Luft die im Container eingebauten Filter schnell verschmutzen.



Abbildung 6 Containerplatzierung

- Die Abgänge der Leistungselektronik sind auf Klemmleisten im Doppelboden verdrahtet. Dadurch ist die Leistungsverkabelung besser vorbereitet und ein einfacher und schneller Anschluss der Kabel möglich.
- Die Energieversorgung der Ladestation ist über einen Mittelspannungs- oder Niederspannungsanschluss möglich. Beide Varianten sind umgesetzt und getestet. Bei der Versorgung der Ladestation über Mittelspannung (z. B. 10kV oder 20kV) sind ein Verteilerttransformator und eine Mittelspannungsschaltanlage im Container vorzusehen.

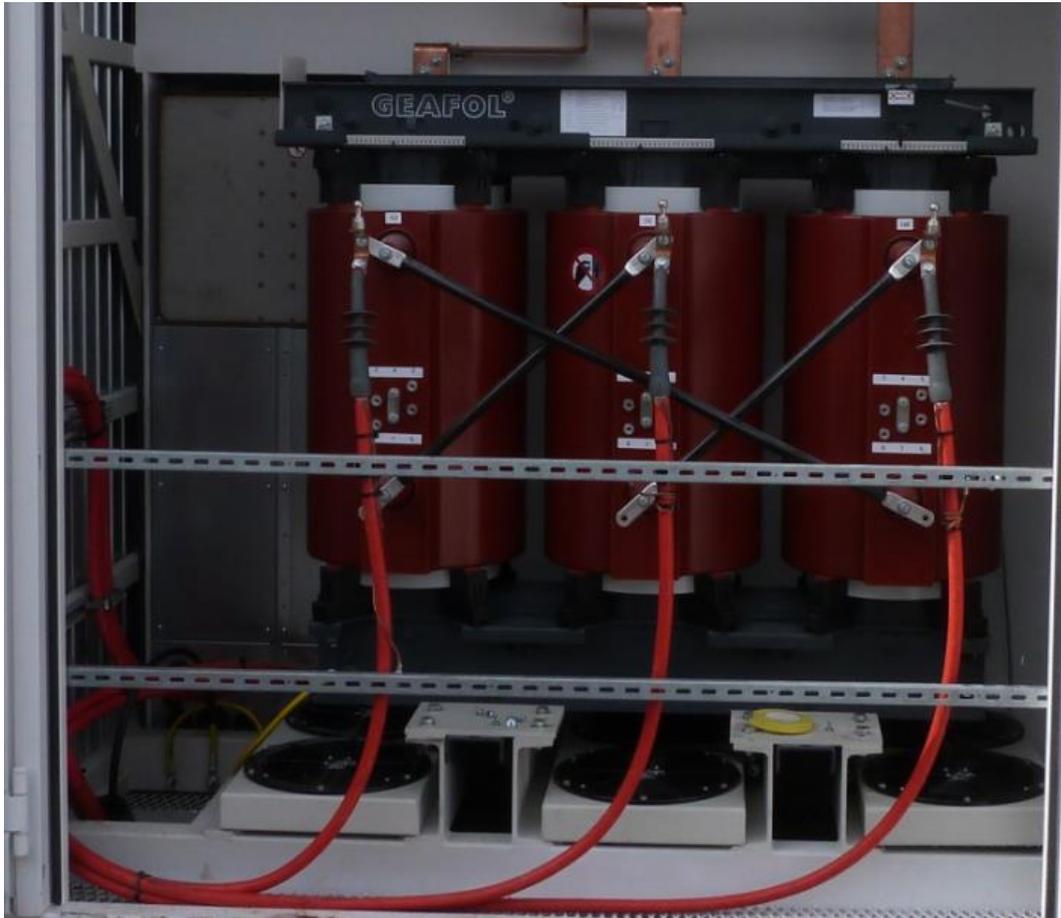


Abbildung 7 Mittelspannungstransformator

- Komponenten für die Überspannungsableitung und Trennschalter für den Niederspannungsbereich sind Sicherheitsfunktionen, die im Projektverlauf dazu gekommen sind und den Personen- und Anlagenschutz erfüllen.
- Entscheidend für die einwandfreie Funktion der Ladestation und der darin verbauten Leistungselektronik ist die Be- und Entlüftung des Ladecontainers. Die gefundene Lösung über gezielte Luftführung und die damit verbundene Kühlung der Leistungselektronik ist eine wesentliche Erkenntnis die bei der Konstruktion weiterer Ladecontainer zum Einsatz kommen wird.
- Über die Verwendung einer Wärmekamera ist das Abbild der Wärmeverteilung im Ladecontainer und an Klemmstellen sichtbar. Bauteilerwärmungen wurden überprüft.



Abbildung 8 Untersuchung der "Hotspots"

- Für besondere klimatische Anforderungen kann eine Klimaanlage im Container installiert werden.
- Der TÜV-Süd untersuchte die BCU hinsichtlich elektrischer Sicherheit, sowohl hinsichtlich Betrieb als auch Reparatur und Wartung der Anlage. Das Ergebnis der TÜV-Untersuchung ist in die mechanische und elektrische Konstruktion eingeflossen.
- Der funktionelle Nachweis der Dauerbelastbarkeit der Leistungselektronik gemäß den Anforderungen durch das Pflichtenheft ist durch Dauertests über einen Verbraucher (DC-Wirklastbank) erwiesen. In der Realität treten solche Belastungen beim Laden eines PKW nicht auf. Nach ca. einer Stunde bei 800 V (Batteriespannung Porsche) und 500 A (max. übertragbarer Strom des Ladesteckers) stellte sich eine Beharrungstemperatur ein. Die o. g. Einstellwerte wurden eine weitere Stunde gehalten. Das entspricht in Summe einer abgegebenen Leistung von 800 kW/h.



Abbildung 9 Leistungstest mit DC-Wirklastbank

Die Dauerlastfestigkeit wurde mit 800 V/500 A (Parallelschaltung von drei Leistungsmodulen) über zwei Stunden Dauer getestet. Die Kenndaten der vier Leistungsmodule in der BCU sind über ein Display visualisiert (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11). Drei Leistungsmodule sind parallelgeschaltet. Dadurch addiert sich der Strom, die Spannung bleibt jedoch gleich. Die aktuell abgegebenen Leistungen der Module können daher addiert werden (133 kW + 134 kW + 135 kW = 402 kW).

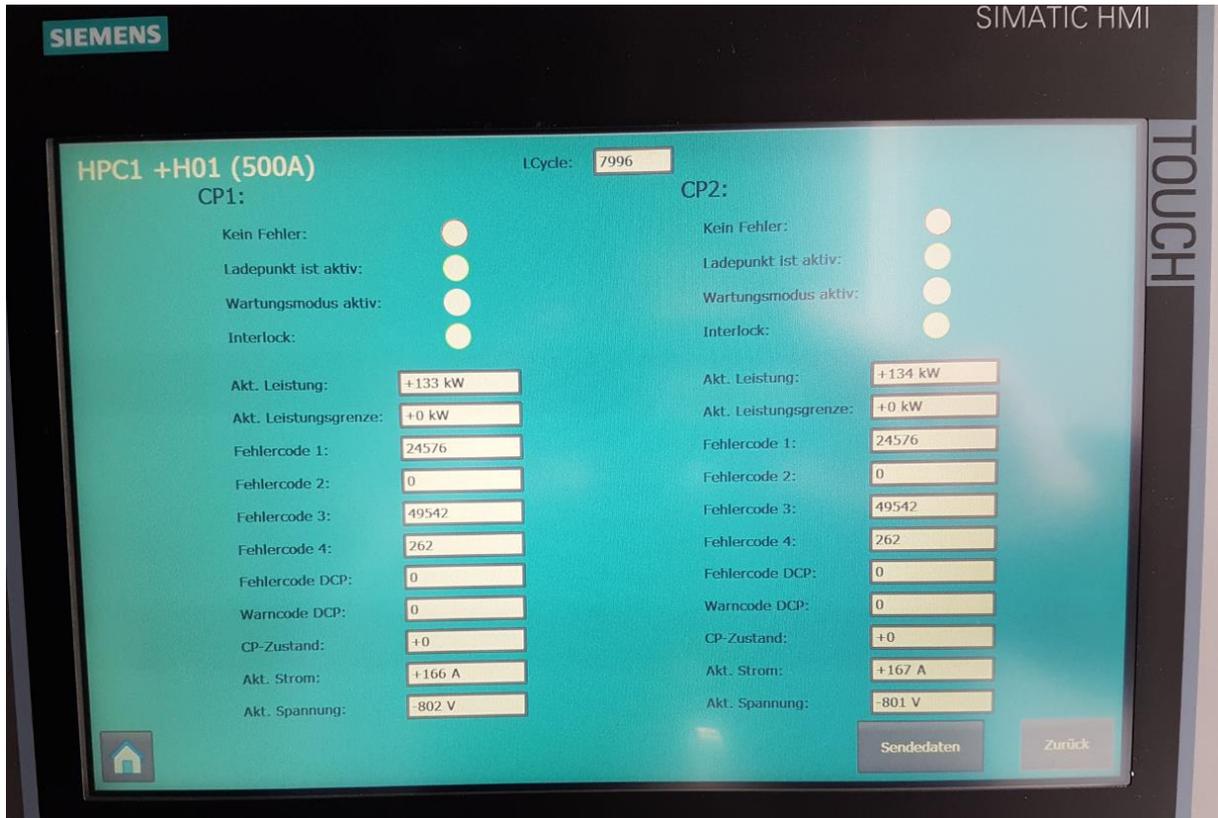


Abbildung 10 Zwei von drei Leistungsmodulen (HPC + H01 CP1 & CP2)

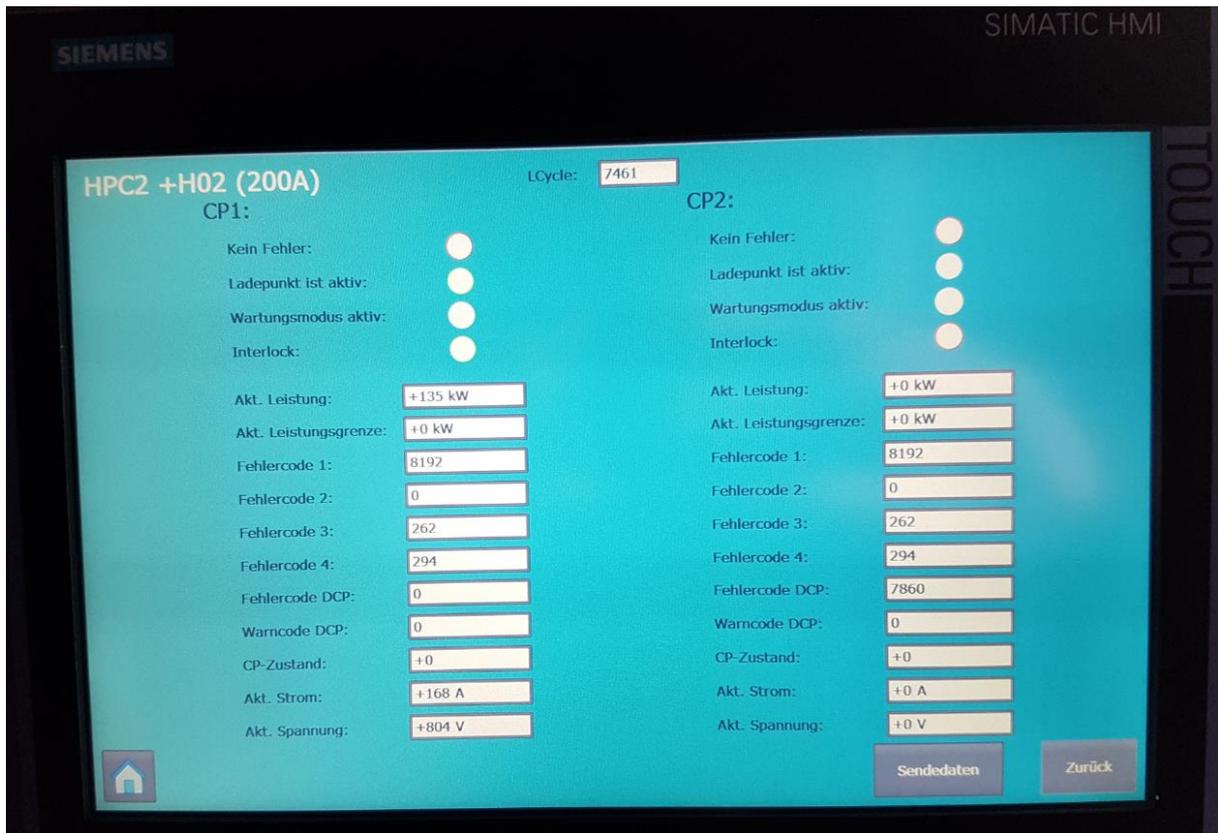


Abbildung 11 Drittes Leistungsmodul (HPC + H02 CP1)

- Die Inbetriebnahme der Leistungsschränke erfolgt direkt im Fertigungsumfeld. Dadurch kann eine zeitoptimierte und problemlose Inbetriebnahme der Ladestationen am Aufstellungsort umgesetzt werden.

Betriebsdaten: 1 Ladepunkt (LP) mit 500 A und 1 LP mit 200 A (Auszug aus Pflichtenheft Siemens):

Eingangsgrößen:

- 3-phasig
- Spannung: 10 kV / 20 kV AC oder 400 V AC
- Netzeinspeisung: über MS-Schaltanlage oder NS-Sicherungsabgang (in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort)
- Frequenz: 50 Hz
- Netzanschlussleistung an Container: < 1MVA

Ausgangsgrößen:

- Ladestrom: bis zu 500 A DC / 200 A DC
- Ladespannung: 200 V bis 1000 V DC

Ladeleistung Ladepunkte 1 / 2: bis zu ca. 450 kW / 175 kW

Umgebungsbedingungen:

- Betriebstemperaturbereich ohne aktive Klimatisierung: -25° bis +40°
- Ausführung in IP54 (Container)

3.2 User Interface-Frontend

Beschreibung der Bedieneinheiten

Die Bedieneinheit des Gesamtsystems besteht aus zwei Ladepunkten UI, die für die jeweiligen maximalen Ladeleistungen ausgelegt sind: 500 A und 200 A.

UI Bedieneinheit

Die Ladepunkte UI besteht aus den Komponenten: Kommunikationseinheit CCS zum EV, Kommunikationseinheit zur BCU Siemens, HMI Ansteuerung, Kommunikation zum CPO Backend sowie Anschlussbox und Ladekabel mit integrierter Kühlung (bei 500 A).

Betriebsdaten

Eingangsgrößen:

- DC Eingang : max. 500 A DC bis 1000 V
- Anschluss : 3x 5G35 (6 Adern pro DC-Pol + 3x Schutzleiter) + 24 V Versorgung
- Versorgungseingang für die Zusatzkomponenten : Spannung: 230 V AC, Frequenz: 50 Hz
Leistung : ca. 500 W – 700 W inkl. des Kühlaggregates

Ladepunkt Ladeleistung:

- Ladestrom: bis zu 500 A DC
- Ladespannung: 200 V bis 1000 V DC
- Ladeleistung: bis zu 450 kW temporär
- Anschluss EV: CCS Typ 2 Kabel , fest angeschlagen

Umgebungsbedingungen:

- Kiosk Ausführung in IP54

Beschreibung der internen Komponenten

Die Bedieneinheit besteht aus den folgenden Komponenten inkl. der verantwortlichen Lieferanten. :

- Pro LP 1x ECC3xxx Kommunikationscontroller zum EV, Lieferant Siemens
- Pro LP 1x ET200-Peripheriestation, Lieferant Siemens
- HMI Interfacecontroller inkl. OCPP Kommunikation, Lieferant Allego
- HMI Screen inkl. Bedien-Buttons und RFID Reader, Lieferant Allego
- Modem with GSM connection, Lieferant Allego
- Switchbox inkl. Anschlußklemmen Leistung und Kühlung, Lieferant Phoenix
- Gekühltes Ladekabel mit Typ 2 CCS Stecker, fest fixiert, Lieferant Phoenix
- Kühler (intern oder extern) , Lieferant Phoenix, siehe Spezifikation Phoenix

Die grundsätzlichen Leistungsbeschreibungen der UI ergeben sich aus den technischen Spezifikationen der BCU (Siemens) und des gekühlten Ladesystems (Phoenix Contact)

Beschreibung der UI Funktionalitäten

Die Bedieneinheiten sind zueinander galvanisch getrennt ausgelegt und autark voneinander betreibbar. Das System ist so ausgelegt, dass ein Fehler in einem Ladepunkt nicht zu einem Fehler am anderen Ladepunkt führt.

Der Gefahrenübergang erfolgt an den Eingangsklemmen des UI bzw. an der Schnittstelle zum CCS Ladekabel.

Der Betrieb mit bis zu 500 A DC Ladestrom ist nur mit einem geeigneten Stecker und entsprechend ausgelegter Sicherheitstechnik freigegeben. Das gekühlte Ladesystem als Lieferumfang und Beschreibung von Phoenix Contact ist in der UI integriert, die Kühleinheit dem Siemens Standort separat installiert und bei den BMW, Porsche und Allego Standort integriert.

In der UI ist eine Not-Aus Funktionalität integriert, die basierend auf dem Sicherheitskonzept der BCU den Ladevorgang sofort beendet und die DC-Verbindung zum Fahrzeug auf BCU-Seite trennt.

DC Metering

Es war geplant, beide Bedieneinheiten jeweils mit einer eigenen eichrechtskonformen Ladestrommessung auszurüsten. Die Entwicklung eines eichfähigen DC Messsystems wurde bis zu einem funktionsfähigen Prototyp ausgeführt. Die eichrechtskonforme Datenübertragung wurde nicht realisiert. Die gesamte Messeinrichtung besteht aus einem DC Messsensor der Firma Isabellenhütte (Abbildung 12) einer Auswertungs elektronik (Abbildung 13), die mit dem Sensor mittels CAN Bus und dem Controller der Bedieneinheit kommuniziert. Bei dem Sensor handelt es sich um einen Messwiderstand mit CAN Bus Schnittstelle der Firma Isabellenhütte. Die Auswertungs elektronik wurde von der Firma Control-Q für dieses Projekt entwickelt. Die Herausforderung bestand darin, einen Messwiderstand zu finden und auszuwerten, der eine möglichst hohe Genauigkeit über den gesamten Strom und Spannungsbereich liefert (0-500 A, 200-920 V DC).



Abbildung 12 DC Messsensor (max. 940 V, max. 500 A)



Abbildung 13 Auswertungs elektronik

Die Komponenten wurden dafür in eine Ladesäule der Firma Efacec eingebaut und getestet (Abbildung 14).



Abbildung 14 Versuchsaufbau

Während der Entwicklung stellte sich heraus, dass ein Messsystem gemäß den Vorgaben der PTB Verordnung PTB-A 6.03-ST-Q nicht als Ergebnis des Projektes entstehen kann. Wie sich bis heute zeigt, ist der Umfang der Entwicklung einer eichrechtskonformen Ladestrommessung weit umfangreicher als zu Beginn des Projektes angenommen. Der ursprüngliche Gedanke, dass Allego eine geeichte Ladestrommessung eigenständig erstellt und diese in jede Ladestation integriert, wurde aufgegeben. Bei der mittlerweile verfolgten Lösung liegen die Verantwortung der Integration und die Freigabe durch die PTB bei den Herstellern der Ladestationen und nicht beim CPO.

Kommunikation zum Fahrzeug

Die Kommunikation zum Fahrzeug (EVSE-Controller) wird über eine in der Bedieneinheit enthaltene ECC-Box [Siemens MCH] geführt.

Auf der ECC-Box wird Software für die Kommunikation nach folgenden Standards entwickelt:

- ISO/IEC 15118-2 (Ed. 1)
- DIN SPEC 70121

Die Hardwareschnittstelle für die Kommunikation zum Fahrzeug (PLC) entspricht der IEC 61851.

Kommunikation zum CPO Backend

Die Kommunikation zum CPO Backend wird über den im Leistungsumfang enthaltenen HMI Kommunikationscontroller durchgeführt.

Auf dem HMI Controller wird Software für die Kommunikation nach folgendem Standard entwickelt:

- OCPP 1.6 JSON

Die Kommunikationsanbindung an die ET200-Box zur Steuerung des Ladeprozesses erfolgt über die RS485 Schnittstelle beider Systeme nach Vorgabe Allego (RS485 Spezifikation).

Gehäuse UI Bedieneinheit

Es sind für das Projekt zwei verschiedene Gehäusedesigns für die UI Bedieneinheit mit folgenden Eigenschaften erstellt worden:

- Standard Gehäuse (Abbildung 16)
 - Installation bei Siemens: Industriegehäuse ohne integrierte Kühlung für die ersten Tests
 - Installation bei Porsche und BMW: Industriegehäuse mit integrierter Kühlung
 -
- Premium Look and Feel Designgehäuse (Abbildung 15)
 - Installation bei in Jettingen-Scheppach: Designgehäuse mit integrierter Kühlung und verbesserter Kabelführung
 - Aufnahme des Ladekabels inkl. Stecker mit entsprechendem Schutz des Steckers im eingehängten Zustand
 - Monitor sowie Bedienelemente zur Kundenführung



Abbildung 16 Standard Gehäuse



Abbildung 15 Designgehäuse

- Visualisierung des aktuellen Zustandes (verfügbar, besetzt, Störung – Abbildung 17)
 - 3 farbige LED Streifen an den Bedieneinheiten
 - Grün - verfügbar
 - Blau - besetzt, laden
 - Rot - Störung
- RFID reader Mifare classic
- Not Aus Installation

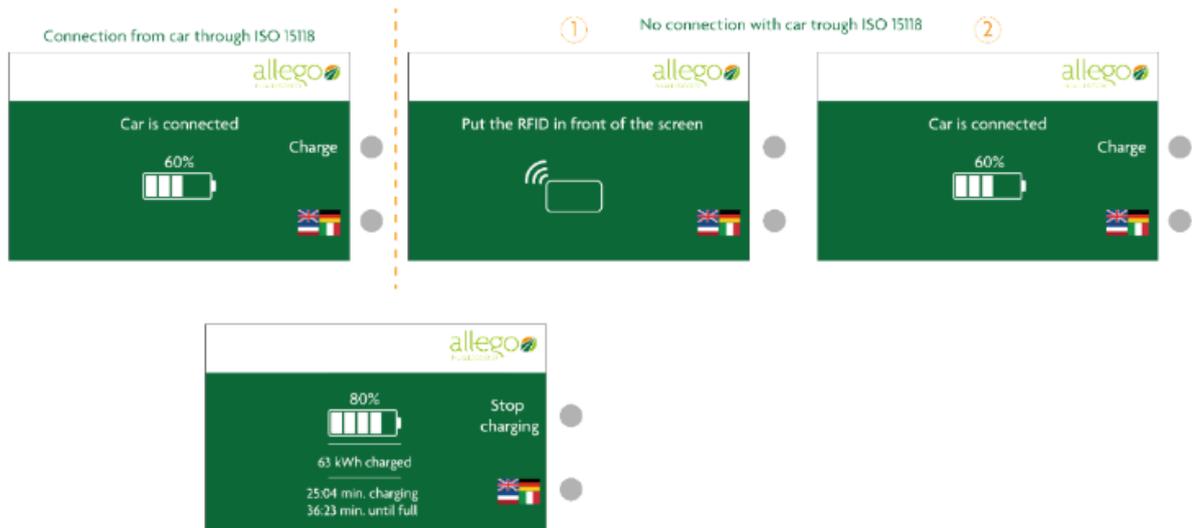


Abbildung 17 Menüführung auf dem Monitor

3.3 Ladeschnittstelle

3.3.1 Notwendigkeit einer gekühlten Schnelllade-Schnittstelle

Grundsätzlich wird für eine Verkürzung der Ladezeit eines Elektrofahrzeuges eine hohe Ladeleistung benötigt. Die elektrische Leistung ist dabei die Multiplikation aus Spannung und Strom in der Gleichstrombetrachtung. Da die Spannung in der Regel eine nahezu fest Größe ist, muss der Strom variiert bzw. erhöht werden, um die Ladeleistung zu steigern. Für die Bestimmung der Verlustleistung (P_v) geht der Strom quadratisch in die Gleichung $P_v = R \cdot I^2$ ein. Eine Stromerhöhung bewirkt somit eine Vervierfachung der Verlustleistung. In der Regel bewirkt damit die technisch notwendige Erhöhung des Leitungsquerschnittes eine Erhöhung des Leitungsgewichtes (oft angegeben in kg/m). Zudem wird die Leitung oft unflexibel und dadurch schwer handhabbar. Um die Ladeleitung weiterhin alltagstauglich zu gestalten, ist eine Kühlung der Leitung, bei hohen Strömen und geringen Querschnitten, zwingend erforderlich. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich mit einer 125 A Leitung, wie sie zum Beispiel heute bei ungekühlten CCS-Systemen verwendet wird. Die Zielsetzung für die HPC-Leitung ist somit eine nahezu ähnliche Querschnittdimensionierung, wie beim CCS-System zu erreichen, jedoch bei höherer Stromdichte. Ziel ist es mit einem Querschnitt von 50 mm² zu arbeiten. Um dies zu ermöglichen, bedarf es einer zusätzlichen Kühlung von Leitung und Stecker.

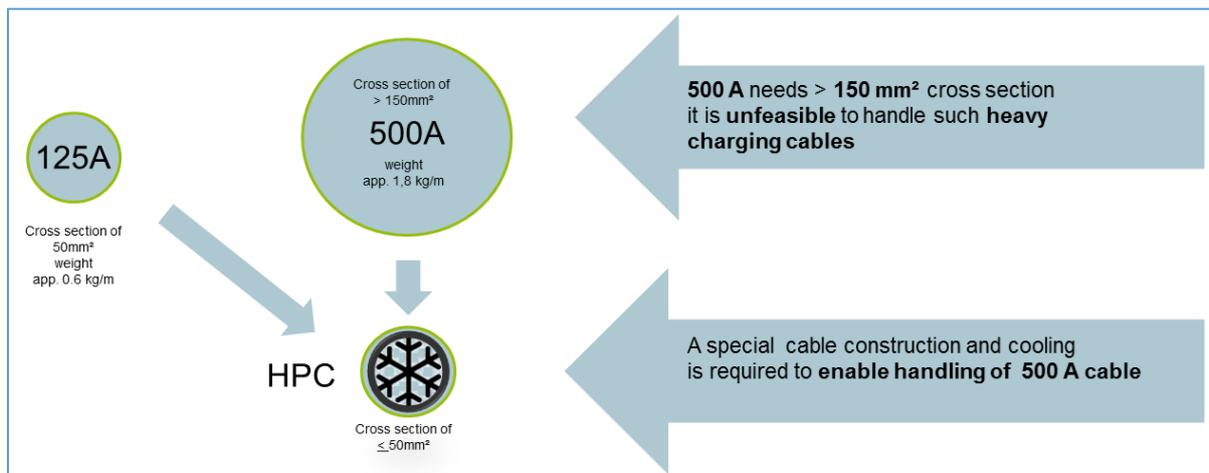


Abbildung 18 Der Ladestrom bestimmt den Leitungsquerschnitt

3.3.2 Normative Anforderungen eines gekühlten Systems

Die wesentlichen normativen Anforderungen für HPC-Anwendungen finden sich im aktuellen Normentwurf der IEC 62196-3-1 niedergeschrieben. Die in der Abbildung 19 genannte Anwendungsregel wird somit zukünftig von dieser internationalen Norm abgelöst. Phoenix Contact ist in diversen Normgremien aktiv vertreten und begleitet auch das Thema HPC (High Power Charging) in den Gremien mit. Die nachfolgende Abbildung beschreibt den Zusammenhang von Einsatzbereich der westlichen Normen in der E-Mobility.

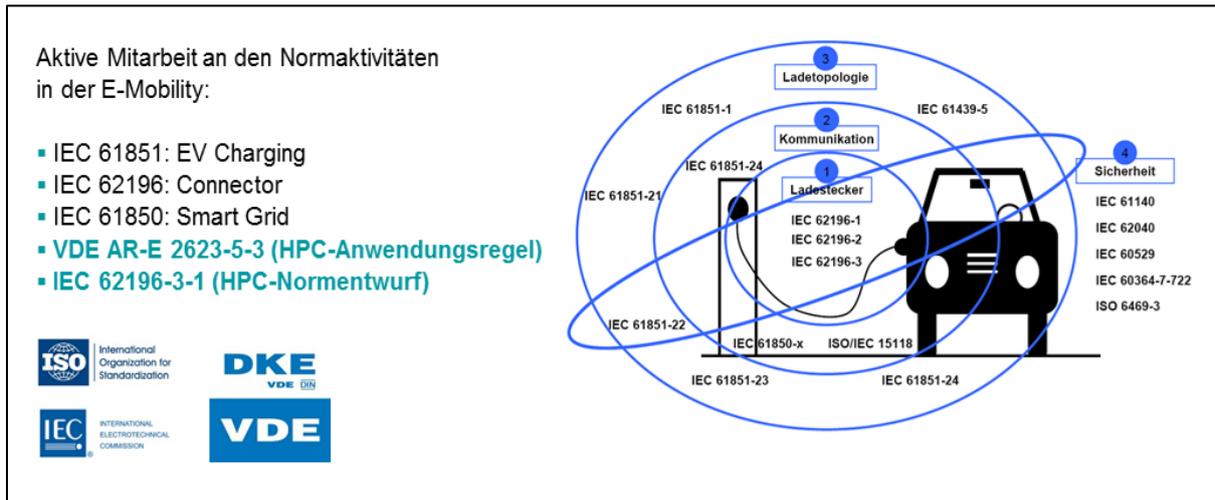


Abbildung 19 Zusammenhang normativer Einsatzbereiche

Generell werden in der IEC 62196-3 die Anforderungen an Stecksysteme beschrieben. Der Teil 3-1 beschreibt dabei die thermischen Anforderungen an den gekühlten Ladestecker. Die nachfolgende Abbildung beschreibt den Einfluss der Kühlung und gleichzeitig die Einhaltung der 50K Grenze (ΔT_{max}) sowie die Darstellung der absoluten Temperaturgrenze von 90°C für die Einzelkomponenten (z.B. DC-Kontakte). Für die berührbaren Flächen, wie Mantelleitung, gilt eine Obergrenze von 60°C.

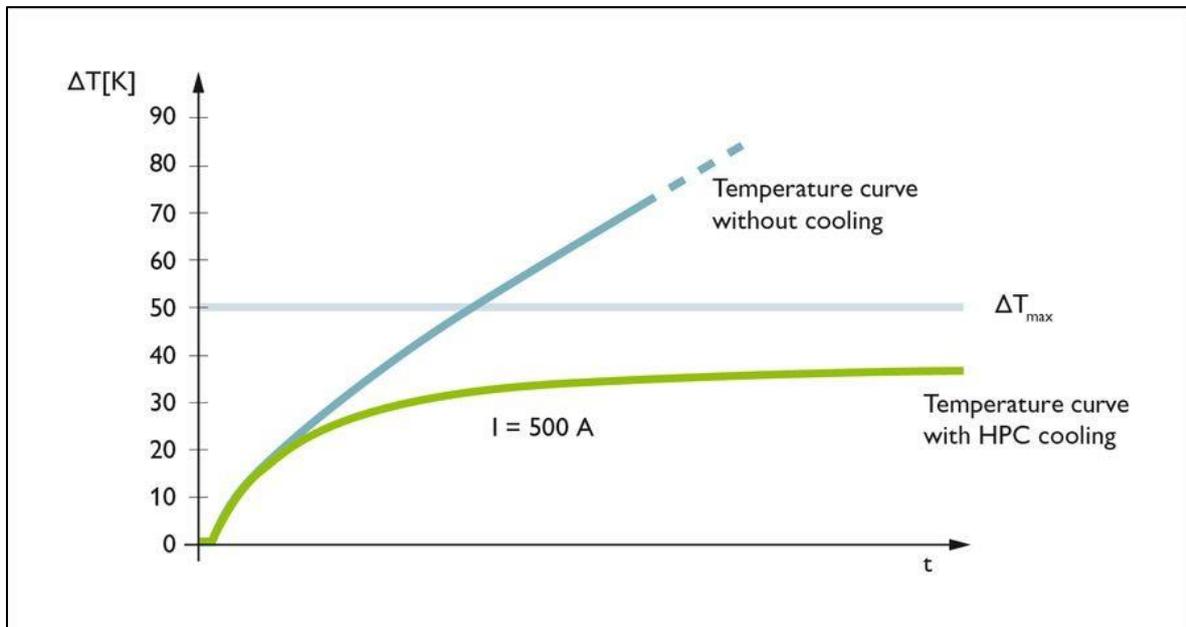


Abbildung 20 Grafische Darstellung Einfluss der Kühlung und normative Anforderungen in Kelvin (K).

Eine der normativen Hauptanforderung, bezüglich der thermischen Belastung, ist die maximale Komponententemperatur, die eine Temperatur von 90°C nicht überschreiten darf. Der zweite Grenzwert ist das Temperaturdelta zwischen Umgebungstemperatur und der maximalen Temperatur im thermischen Gleichgewicht. Beispiel: Ausgehend von einer Umgebungstemperatur von 20°C darf im thermischen Gleichgewicht eine Temperatur der Komponenten, z.B. der Kontakte, von 70°C nicht überschritten werden. Auf Basis der maximalen normativen Umgebungstemperatur von 40°C, liegt somit die Grenztemperatur für

das ausbalancierte thermische Gleichgewicht ebenfalls bei 90°C. Neben der thermischen Anforderung gibt es noch weitere technische und sicherheitsrelevante Vorgaben, die das technische System „Ladestecker“ beschreiben. Im Verlauf des Berichtes wird auf einzelne sicherheitsrelevante Themen eingegangen, jedoch nicht jedes normative Detail erörtert. Diese Erläuterungen dienen zum besseren Verständnis der nachfolgenden Diagramme und Ergebnisse.

3.3.3 Abgrenzung und Beschreibung des Gesamtsystems Ladeschnittstelle

Der praktische Anteil der Teilaufgabe Ladeschnittstelle ist definiert mit der Bereitstellung von Ladestecker mit Ladeleitung, der entsprechenden Kühleinheit sowie Steuerungskomponenten. Die Steuerungskomponenten sind für die Regelung und Überwachung der Kühleinheit notwendig. Zudem übernimmt die Steuerung die Aufgabe der Datenaufnahme und den Transport der Parameter (Temperaturdaten) an die übergeordnete Steuerung der Firma Siemens.

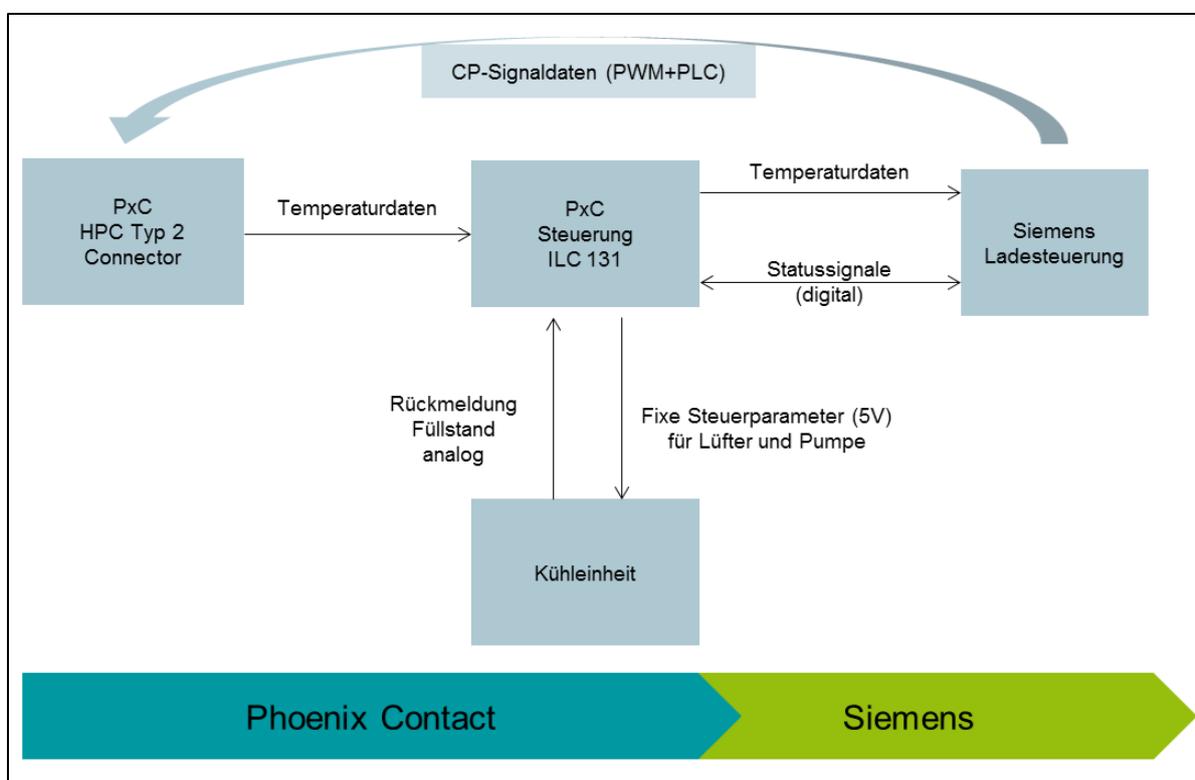


Abbildung 21 Abgrenzung Gesamtsystem Phoenix Contact

Der HPC-Stecker dient als Schnittstelle zwischen Ladesäule und Fahrzeug-Ladedose (Inlet). Die Temperatursensoren nehmen die Wärmeentwicklung an den Gleichstromkontakten auf. Diese Temperaturwerte werden als Widerstandswerte an die Phoenix Contact Steuerung (ILC131) übertragen. Zudem wird, mittels eines Level-Sensors, der Füllstand des Kühlmittels an die Steuerung übertragen. Des Weiteren sorgen zwei Steuersignale für die Drehzahlsteuerung des Lüfters und der Pumpe, um die Kühlleistung bedarfsgerecht bereitzustellen. Die Kühleinheit wird somit, je nach Kühlleistungsbedarf, mittels der Phoenix Contact Steuerung geregelt. Das digitale Statussignal dient als zusätzliches und beidseitiges Freigabesignal. Sollte eines der beiden Systeme kein Freigabesignal vom anderen System erhalten, so kann eine Ladefreigabe nicht erfolgen. Dieses Freigabesignal wird nur dann erteilt, wenn beide Systeme einen definierten und ordnungsgemäßen Zustand (OK-Status) besitzen.

Somit werden beide Systeme gegenseitig überprüft, bevor eine Ladefreigabe erfolgt. Die Temperaturdaten sowie die Statussignale sind somit als gegenseitige Übergabestelle zwischen den Phoenix Contact und den Siemens Komponenten definiert.

Die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule wird mittels des Control Pilot (CP) Signalkontakte und der Ladesteuerung der Firma Siemens realisiert. Über den CP-Kontakt werden alle notwendigen Ladeparameter über die PWM-Kommunikation (Puls-Weiten-Modifikation) übertragen. Zusätzlich wird die Power-Line-Communication auf das PWM-Signal moduliert, um weitere Parameterwerte, zum Beispiel für Plug & Charge Anwendungen, zu übertragen.

3.3.4 Konzeptschritte HPC-Ladeschnittstelle

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Konzeptschritte der HPC-Ladeschnittstelle im Projekt.



Abbildung 22 HPC-Konzeptstufen im Projekt

Auf Basis der ersten Konzepterprobung wurde der vorhandene, ungekühlte CCS Connector, der bis zu 200 A Ladeströme führen kann, für das gekühlte Konzept modifiziert. Die damalige Anforderung bestand darin die Kühlleistung bis 350 kW (350 A) zu erproben. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Schnittbild durch einen CCS-Prototyp zur Erprobung des Funktionsprinzips der Kühlung. Im blauen Bereich ist die Kühlung der DC-Kontakte angebracht. Die Kühlflüssigkeit wird mittels eines Kühlschlauches in diesen Kühlbereich eingeleitet.

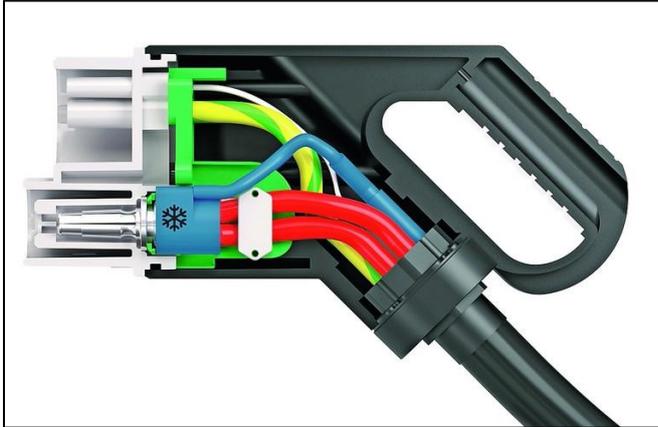


Abbildung 23 Schnittbild Kühlkonzept CCS-Basis

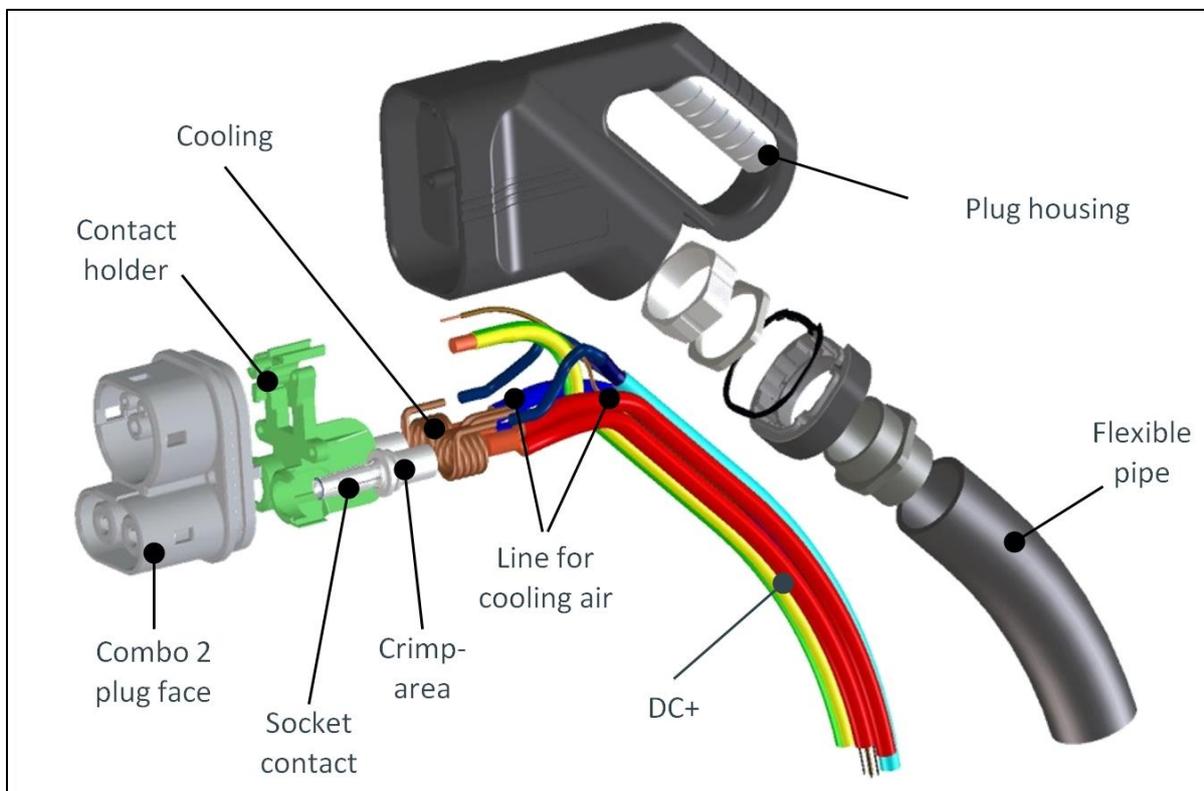


Abbildung 24 Explosionszeichnung CCS-Basis

Aus der Darstellung der Explosionszeichnung (Abbildung 24) lassen sich die einzelnen Komponenten des gekühlten Prototypen-Steckverbinders erkennen. Basierend auf dem bekannten CCS-Gehäuse wurde der Stecker so modifiziert, dass eine Kühlung der Kontakte ermöglicht wird. Die Anbindung der Kupferleitungen erfolgt mittels Standard-Crimpverfahren. Um den Crimpbereich der DC-Kontakte befindet sich die Kühlwendel, die mit einem wärmeleitenden Kunststoffmaterial, jedoch elektrisch isolierend, auf dem metallischen Crimpbereich angebracht sind.

Die Abbildung 25 und die Abbildung 26 zeigen eine Aufnahme der Wärmebildkamera bei einem DC-Kontakt (Buchse), der mit 400 A bestromt wird, jedoch zunächst noch keine Kühlung

erfährt. Man erkennt die maximale absolute Temperatur von rund 104°C. Der Grenzwert von 90°C wird somit überschritten.

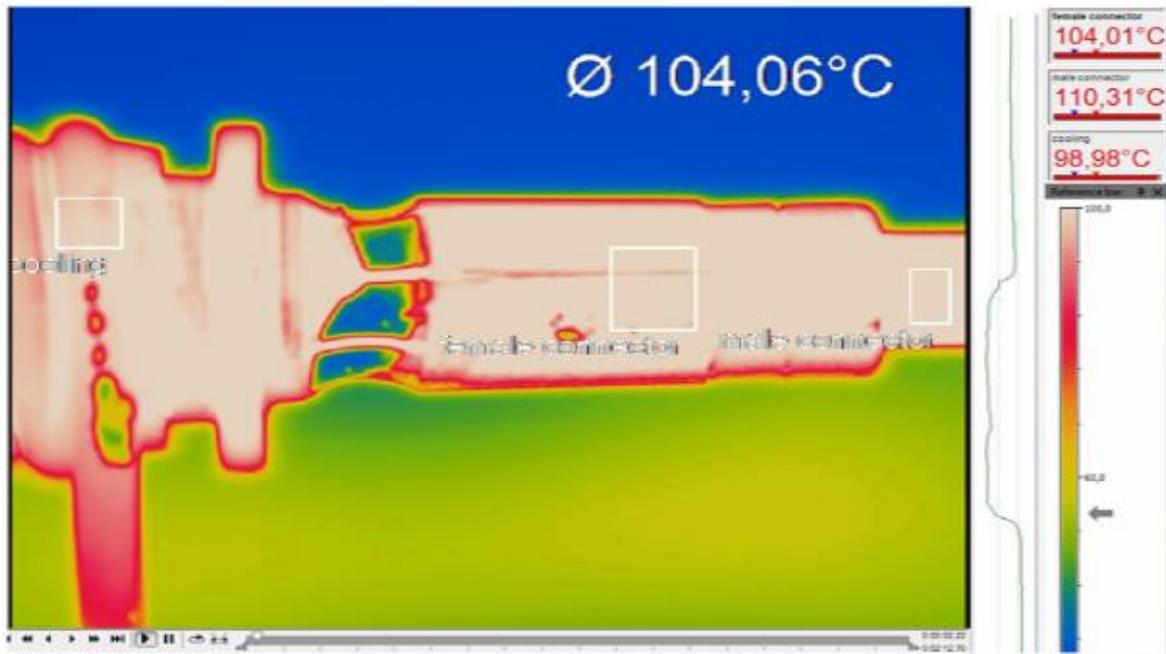


Abbildung 25 Kontakt bei 400 A ohne Kühlung

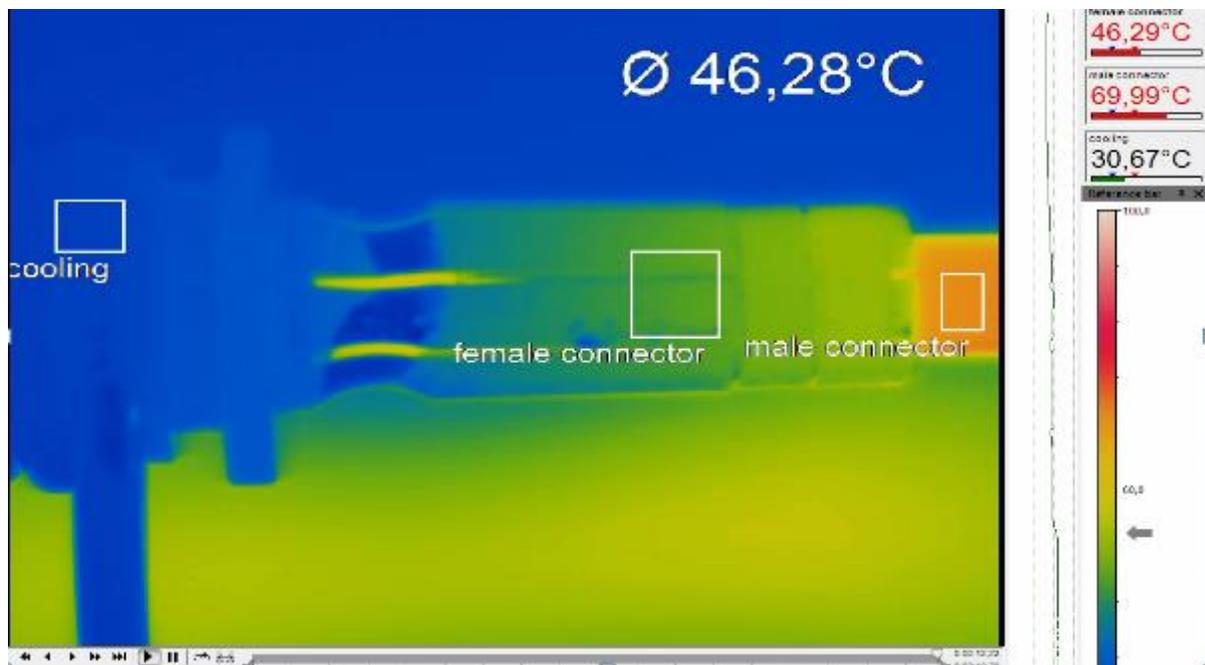


Abbildung 26 Kontakt bei 400 A mit Kühlung

Mit eingeschalteter Kühlung wird der Kontakt deutlich heruntergekühlt so dass die Temperaturen bei ca. 46°C liegen und somit den normativen Anforderungen entsprechen, wie oben beschrieben. Natürlich wirkt sich die Kühlleistung auch auf die Leitung und das Gesamtsystem positiv aus. Die Beschreibung der HPC-Leitung folgt im späteren Abschnitt.

Die Temperatursensoren befinden sich, zunächst im Crimpbereich, später auf den Lamellen der Buchsenkontakte – sind jedoch nicht dargestellt (siehe Abbildung 27, Abbildung 28). Die Optimierung der Temperaturmessung ist notwendig gewesen, da während der ersten Tests ermittelt worden ist, dass ein möglicher Hotspot (Fehlerfall) sich im vorderen Lammellenbereich einstellen kann. Als Fehlerfall wird eine mögliche Temperaturerhöhung am Übergabepunkt DC-Buchsen zu DC-Stiftkontakt des Inlets (Fahrzeugseite) nach normativen Vorgaben simuliert. Diese Simulation wird durch eine zusätzliche Wärmequelle (Heizung) eingebracht. Diese Fehlersimulation ist im Verlauf des Projektes in die normativen Anforderungen aufgenommen worden. Das Temperatur-Monitoring erfasst somit nicht nur die Betriebstemperaturen an den DC-Kontakten, sondern muss ebenso einen möglichen Temperaturanstieg im Fehlerfall rechtzeitig detektieren können. Die nachfolgenden Aufnahmen der Wärmebildkamera zeigen, dass im Fehlerfall der Flansch gut gekühlt wird und die deutliche Wärmeentwicklung im vorderen Buchsenbereich im Fehlerfall vorliegt.

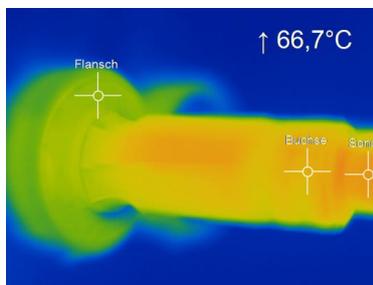


Abbildung 27 Normaler Betriebsfall bei 500A

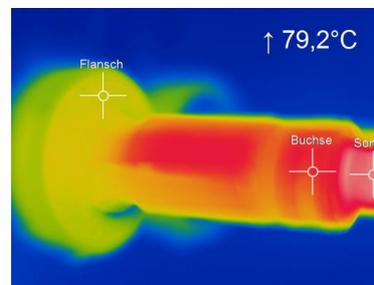


Abbildung 28 Simulation Fehlerfall bei 500A

Bei einem Ladestrom von 500 A liegt die Temperatur nach ca. einer Stunde bei 67°C im Normalbetrieb. Im Fehlerfall d.h. durch eine zusätzliche Heizleistung von ca. 19W über einen Zeitraum von mehr als einer Stunde steigt die Temperatur auf ca. 72°C an den Lamellen der Buchsen. Konsequenz ist somit die Notwendigkeit eine Temperaturerfassung im vorderen Buchsenteil.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen plötzlichen Temperaturanstieg (orange Kennlinie Referenzsensor) und die Reaktion der Temperatur-Sensorik (blaue Kennlinie) im HPC-Stecker. Zu erkennen ist, dass die interne Temperaturmessung mit dem gleichen Gradienten folgt und somit den Fehlerfall erkennt und damit die normativen Vorgaben erfüllt.

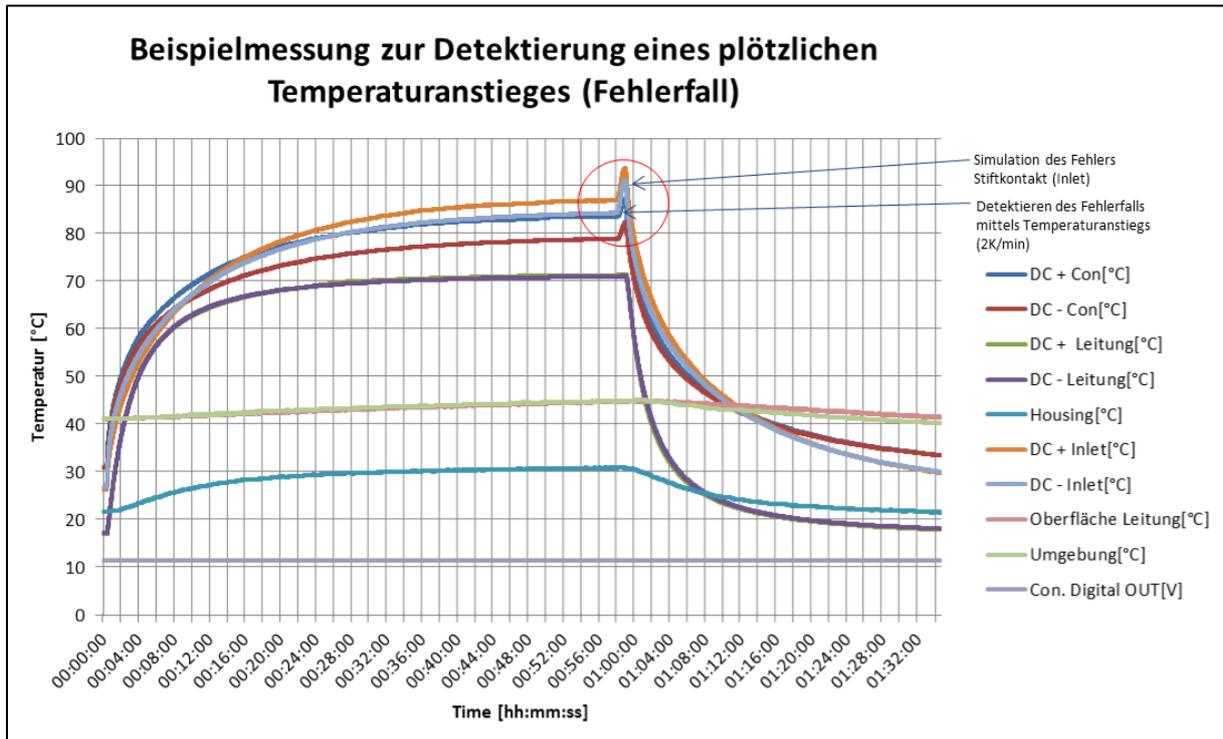


Abbildung 29 Beispielmessung Simulation eines plötzlichen Temperaturanstiegs

Mit zunehmenden internen Anforderungen, Marktanforderungen und der parallel verlaufenden normativen Entwicklung wurde der HPC-Ladestecker weiterentwickelt und optimiert. Hierzu gehört eine komplette Überarbeitung des Stecker-Gehäuses und Dichtkonzeptes. Zudem wurde auch die integrierte Kühlung der DC-Kontakte sowie die Anschlüsse der Leitung und Kühlschläuche überarbeitet und optimiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt das erweiterte Konzept des HPC-Ladesteckers.

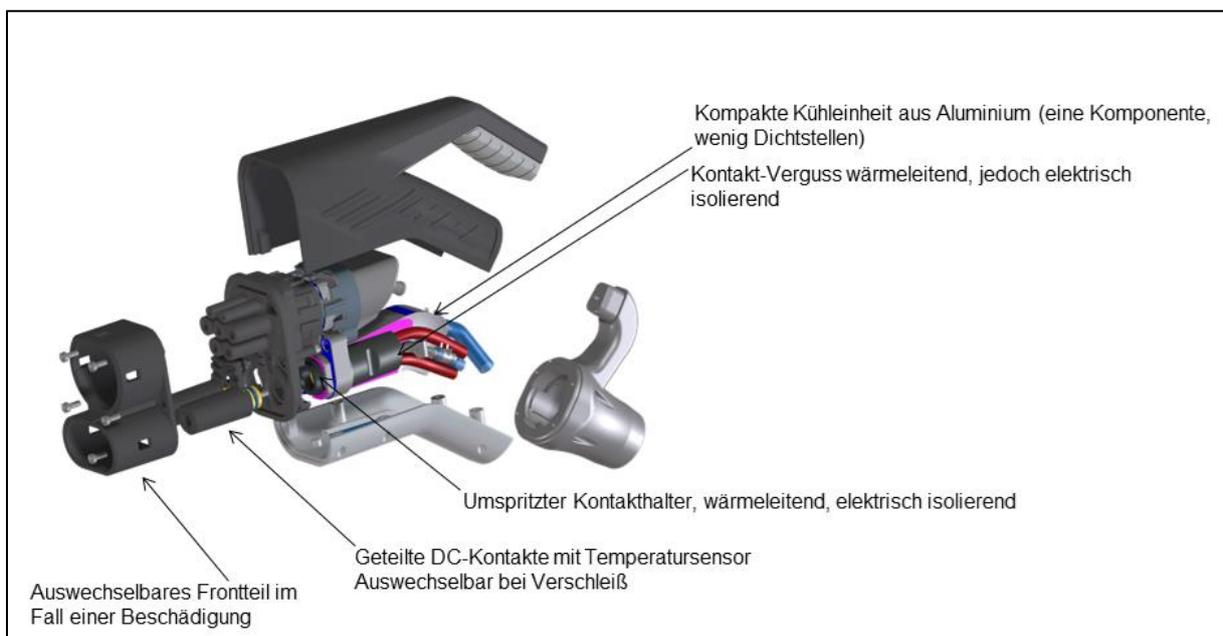


Abbildung 30 Erweitertes, neues Konzept des HPC-Ladesteckers

Wie aus der Abbildung 30 zu erkennen ist, besteht das Gehäuse aus mehreren Komponenten, was die Gesamtmontage erheblich erleichtert. Zudem sind die Dichtstellen bis auf ein Minimum reduziert worden, indem eine Hauptkomponente, die interne Kühleinheit (Aluminiumkühlkörper) integriert wurde. Der sowohl für die Anschlüsse der DC-Leitung als auch für die Anbringung der Kühlschläuche bereitsteht. Der Kontakthalter ist ebenfalls isolierend im Aluminiumkühlkörper untergebracht. Besonders und bisher einzigartig sind die wechselbaren Buchsenkontakte und der Steckerkragen (Frontteil), die im Fall einer Abnutzung oder Beschädigung einfach und schnell durch geschultes Personal gewechselt werden können. Bei einer Beschädigung dieser Komponenten muss bisher das ganze Ladekabel inklusive Stecker getauscht werden.

Den Abschluss bildet der letzte und finale Konzeptschritt, welcher nochmal durch verbesserte Temperaturerfassung und zusätzliche Komponenten in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist. Der wesentliche Integrationsschritt ist die Verarbeitung der Messdaten mittels integrierter Elektronik und damit digitaler Kommunikation über eine Standard CAN-Schnittstelle, was den Anschluss an übergeordnete Steuerungen erleichtert. Dieses finale Konzept ist an den heutigen HPC-Testanlagen in Betrieb. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Schnitt durch das finale Gehäuse. Die Daten werden im Stecker aufgenommen und per CAN an die Ladesäulensteuerung übermittelt, die die Daten dann verarbeitet.

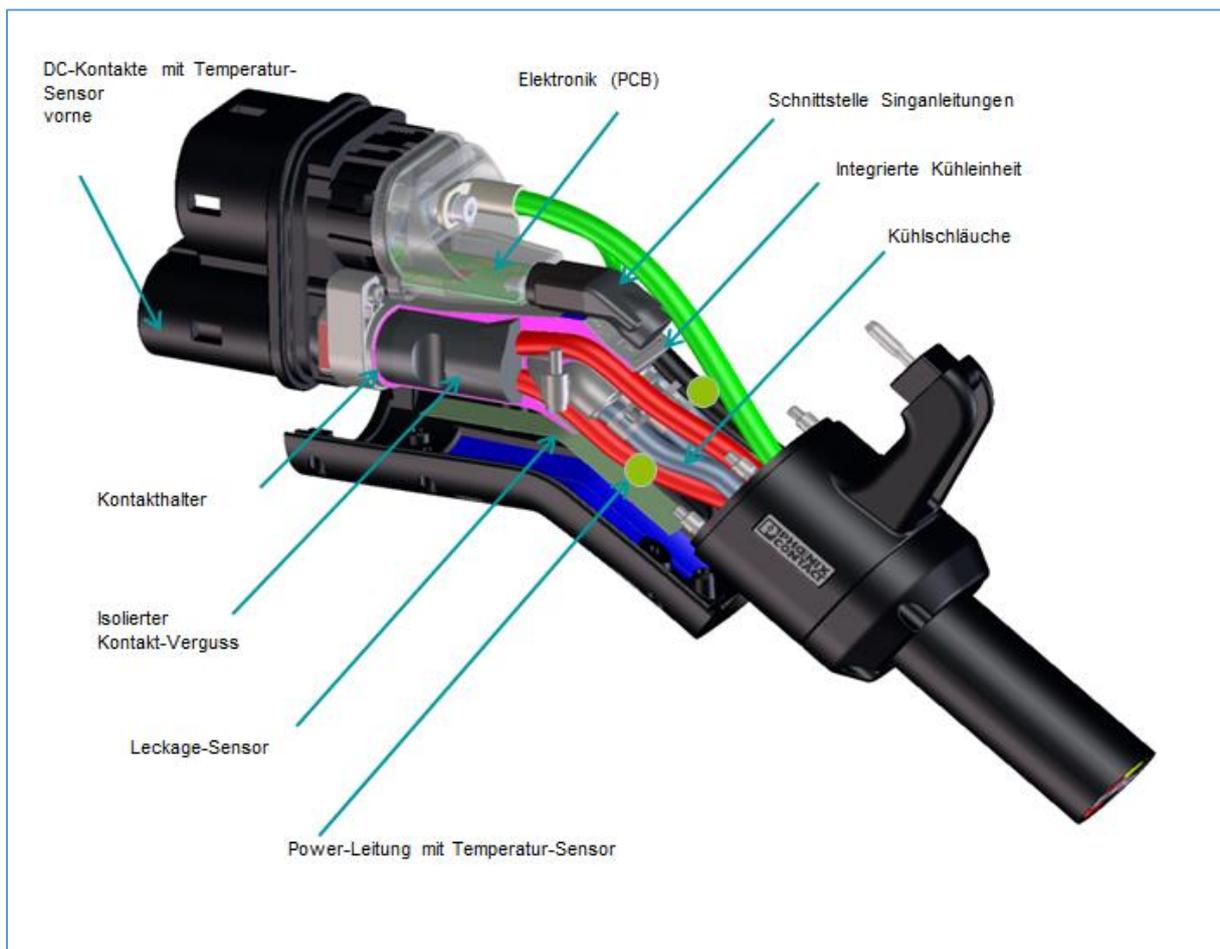


Abbildung 31 Finales Konzept des HPC-Ladesteckers

Über die normativen Anforderungen hinaus sind zusätzliche Temperatursensoren, nicht nur an den DC-Kontakten im Frontbereich untergebracht, sondern auch auf den DC-Leitungen im Stecker, um eine redundante Temperaturüberwachung zu gewährleisten. Ein integrierter Leckage-Sensor warnt vor einer möglichen Leckage der Kühlflüssigkeit. Durch das überarbeitete Dichtkonzept ist der Stecker komplett im Innenbereich gedichtet, so dass bei einer möglichen Beschädigung (Vandalismus, Missuse) des Kunststoffgehäuses keine Feuchtigkeit eindringen kann und keine Gefahr für den Nutzer besteht.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das finale Konzept mit den austauschbaren DC-Kontakten und dem Steckerkragen für den Servicefall. Der besondere Vorteil ist, dass die Kontakte ohne Ablassen der Kühlflüssigkeit getauscht werden können.

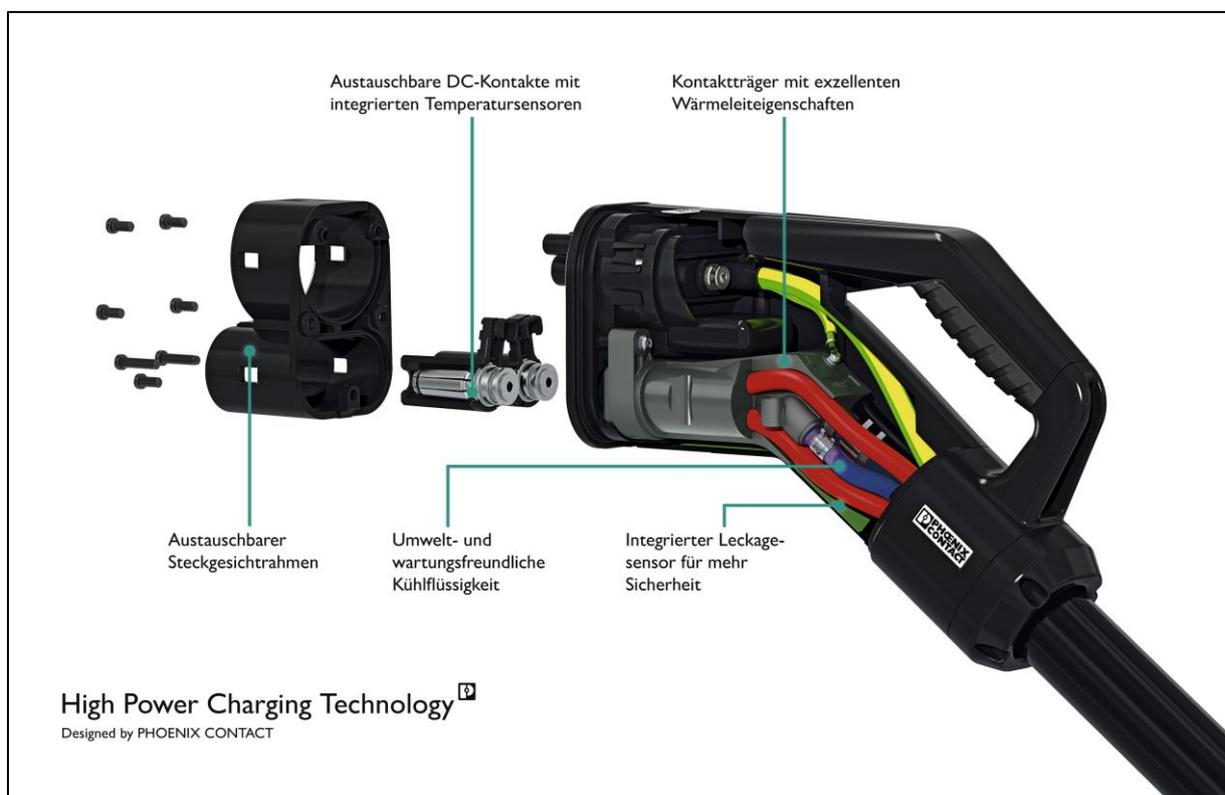


Abbildung 32 Finales Konzept HPC-Ladestecker mit austauschbaren Frontkomponenten.

Abschließend ist zu erwähnen, dass das finale Konzept bei allen HPC- Fast Charge Anlagen im Einsatz ist. Im Laufe des Projektes wurden die entsprechenden Ladestationen auf das neue und finale Konzept umgebaut. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersicht der vier Fast Charge Testanlagen in Zusammenhang mit der projektspezifischen Entwicklung des HPC-Ladesteckers.



Abbildung 33 Projektspezifische Entwicklung des HPC-Ladesteckers mit Kühleinheit

Im Rahmen des Projektes wurden nicht nur diverse Tests bezüglich der Kontakte und des Steckers durchgeführt, auch die speziellen Eigenschaften der Ladeleitung wurden entsprechend untersucht. Zwei wesentliche Aspekte sind die Wärmeentwicklung bzw. der optimale Wärmeabtransport und die damit zusammenhängende Niederohmigkeit der Leitungsanbindung an die Kontakte und die Stromtragfähigkeit der einzelnen Leistungsadern. Die niederohmige Verbindung der Einzelader an den Kontakt und die Stromtragfähigkeit sind zwei wesentliche Ergebnisse, die Phoenix Contact in diesem Projekt beistellt, wie im Gesamtvorhaben beschrieben. Die messbaren Ziele werden von Phoenix Contact dementsprechend erreicht.

3.3.5 Übergangswiderstand – Niederohmige Verbindung zwischen Kontakt und Kupferleiter.

Durch die Nutzung der Ultraschallschweiß-Technologie (USS-Technologie) für die Kontaktierung der DC-Kontakte ist es ermöglicht worden die vorgegebenen Ziele zu erreichen und sogar zu übertreffen. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Auszug der Ergebnisse als Vergleich zwischen der Standard Crimp-Technologie und der USS-Technologie.

Gecrimpter Kontakt

(Ergebnisse stammen aus PB17005)

Artikelnummer Kontakt: 0204133_00
 Artikelnummer Leitung (50mm²): 0144131_00



Sample lower tolerance limit	Crimp heigh [mm]	Contact resistance [mΩ]	Sample upper tolerance limit	Crimp heigh [mm]	Contact resistance [mΩ]
1	7,13	0,010	1	7,54	0,011
2	7,05	0,010	2	7,55	0,012
3	7,05	0,011	3	7,52	0,012
4	7,08	0,011	4	7,62	0,011
5	7,12	0,011	5	7,55	0,013
6	7,05	0,010	6	7,60	0,012
7	7,11	0,011	7	7,56	0,012
8	7,05	0,011	8	7,56	0,012
9	7,07	0,010	9	7,51	0,015
10	7,03	0,011	10	7,57	0,014
MIN	7,03	0,010	MIN	7,51	0,011
MW	7,07	0,011	MW	7,56	0,012
MAX	7,13	0,011	MAX	7,62	0,015

Abbildung 34 Ergebnisse der gecrimpten Kontaktverbindung

Geschweißter Kontakt

(Ergebnisse stammen aus PB18075)

Artikelnummer Kontakt: 0204520_02
 Artikelnummer Leitung (50mm²): 1014444_01



Sample lower tolerance limit	Amplitude % Schweißdr. bar Energie Ws	Contact resistance [mΩ]	Sample upper tolerance limit	Amplitude % Schweißdr. bar Energie Ws	Contact resistance [mΩ]
11	85 / 2,9 / 8000	0,005	11	95 / 3,1 / 12000	0,004
12	85 / 2,9 / 8000	0,004	12	95 / 3,1 / 12000	0,004
13	85 / 2,9 / 8000	0,004	13	95 / 3,1 / 12000	0,004
14	85 / 2,9 / 8000	0,004	14	95 / 3,1 / 12000	0,004
15	85 / 2,9 / 8000	0,005	15	95 / 3,1 / 12000	0,004
16	85 / 2,9 / 8000	0,004	16	95 / 3,1 / 12000	0,004
17	85 / 2,9 / 8000	0,004	17	95 / 3,1 / 12000	0,004
18	85 / 2,9 / 8000	0,004	18	95 / 3,1 / 12000	0,004
19	85 / 2,9 / 8000	0,004	19	95 / 3,1 / 12000	0,004
20	85 / 2,9 / 8000	0,004	20	95 / 3,1 / 12000	0,004
MIN	85 / 2,9 / 8000	0,004	MIN	95 / 3,1 / 12000	0,004
MW	85 / 2,9 / 8000	0,004	MW	95 / 3,1 / 12000	0,004
MAX	85 / 2,9 / 8000	0,005	MAX	95 / 3,1 / 12000	0,004

Abbildung 35 Ultraschallgeschweißte Kontaktverbindung

Aus den Tabellen ist zu erkennen, dass die Übergangswiderstände bei einem gecrimpten Kontakt zwischen 10 und 15 $\mu\Omega$ liegen. Im Vergleich dazu liegt der Übergangswiderstand ultraschallgeschweißter Verbindungen bei 4 bis 5 $\mu\Omega$.

Als Ergebnis lässt sich für das messbare Ziel Nr. 4 festhalten:

Bei ultraschallgeschweißten Kontakten wird der Durchgangswiderstand im Vergleich zu den gecrimpten Kontakten über 50% verbessert. Das Ziel von einer 25% Verbesserung ist somit erreicht bzw. übertroffen worden. In der unten stehenden Abbildung lässt sich zudem die gute Kompression der Einzellitzen ohne schadhafte Luft/Gaseinschlüsse ersehen.



Abbildung 36 Beschrieben durch Ultraschallangeschweißte Kontakt (links) gasdichte Kompression (rechts)

Zusätzlich zur Reduzierung des Übergangswiderstandes wurde der Kontakt auch einer Alterung unterzogen, um eine mögliche Widerstandserhöhung über die Nutzungsdauer aufzuzeigen. Dabei werden die Prüflinge in einem Temperatur-Schock nach DIN EN 60352-2 gelagert.

Messwerte / measuring data

Nr. No.	name of specimen	Contact resistance values [$\mu\Omega$]		
		resistance value		Change
		New	Aged	
235	CCS+ 01	6,3	7,2	0,9
236		6,6	7,1	0,5
241		6,2	6,4	0,2
243		5,9	6,4	0,5
244		6,4	5,9	0,5
245	CCS+ 02	5,7	5,8	0,1
246		5,6	5,9	0,3
250		6,1	6,4	0,3
251		6,0	6,3	0,3
252		6,1	6,5	0,4
259	CCS+ 03	5,7	6,0	0,3
260		5,8	6,3	0,5
261		5,6	5,8	0,2
262		5,8	6,1	0,3
267		5,6	5,6	0,0

Standard: Thermal shock: DIN EN 60352-2_2014-04 chapter 5.2.4.2

Sample 15 samples

Top temperature 130 °C (125°C is normatively required)
 Lower temperature -55 °C
 Cycle duration 60 min (30 min per chamber)
 Number of cycles 500 (5 are normatively required)
 Duration of repositioning < 3 s

Abbildung 37 Widerstandswerte nach Alterung der Kontakte

Als Ergebnis lässt sich aufzeigen, dass nur minimale Veränderungen des Übergangswiderstandes von 0 – 0,9 $\mu\Omega$ festgestellt wurde.

Des Weiteren wurden weitere Prüfungen durchgeführt um die Kontaktübergänge auf Umwelteinflüsse (Korrosion) zu prüfen. Dazu gehört ein Feuchte-Wärme-Test unter Einleitung von Schadgasen wie Schwefeldioxid. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse im Micro-Ohmbereich.

Kontakte an der unteren Toleranzgrenze Anzugsmoment

Nr.	Kontaktwiderstand [$\mu\Omega$]					[Nm]
	Neuzustand	nach 4.2.1 500 Zyklen TST	nach 4.2.2 1110 h 130°C	nach 4.2.3 Kesternich	nach 4.2.4 6 Zyklen Feuchte Wärme mit Frost	Lösemoment
1	3,6	3,3	3,2	3,2	3,2	1,84
2	4,0	3,3	3,2	3,2	3,3	1,69
3	3,7	3,4	3,2	3,2	3,2	1,99
4	3,6	3,2	3,1	3,2	3,2	1,86
5	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	1,61
MIN	3,40	3,20	3,10	3,20	3,20	1,61
MW	3,66	3,30	3,20	3,20	3,22	1,80
MAX	4,00	3,40	3,30	3,20	3,30	1,99

Tabelle 2 Ergebnisse nach Umwelteinflüssen nach DIN EN ISO 6988 / DIN 50018

Die Widerstandswerte haben sich nach 500-Zyklen (Simulation Alterung 25 Jahre) und den Anforderungen nach Kesternich (Schadgasprüfung), sowie der Feuchte- Wärmelagerung nicht verändert und entsprachen damit dem Neuzustand.

Das zweite messbare Ziel (Ziel Nr. 5 aus der Gesamtbetrachtung) ist die Stromtragfähigkeit der Leitung bzw. der Einzeladern untersucht worden. Wie schon in den einleitenden Worten erwähnt, müsste der Querschnitt der Stromübertragung von 400 A oder 500 A deutlich größer dimensioniert werden. Durch den spezifischen Aufbau der HPC-Leitung und der eingesetzten Kühlung lässt sich der Querschnitt der Leistungsadern deutlich reduzieren ohne den maximalen Ladestrom zu reduzieren.

Rückblick:

Das Ziel Nr. 5 beschreibt eine Erhöhung der Stromtragfähigkeit auf 7A/mm² Leiterquerschnitt. Zum Vergleich sei auf die Tabelle 3 der DIN 43671 verwiesen, nach der ungekühlte Stromschienen mit maximalen Stromdichten i.H.v. 2,3-3,1 A/mm² dauerhaft betrieben werden dürfen.

Optimierung der HPC-Leitung

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Aufbau der HPC-Leitung. Für die Stromführung sind jeweils 2x25mm² Einzeladern (Power-Leitungen) eingesetzt. Die Aufteilung der insgesamt 50mm² Leitung pro Pol bewirkt, dass sich die Kühlschläuche (Vor- und Rücklauf) an jeweils zwei Punkten miteinander berühren. Im verseilten Zustand ergibt das eine entsprechende Flächenkontaktierung und damit eine optimale Kühlleistung der Leitungsader und der gesamten Leitung. Zusätzlich sind in der Leitung noch Kommunikationsadern untergebracht, die die Signalübertragung zur Steuerung und Fahrzeug übernehmen.

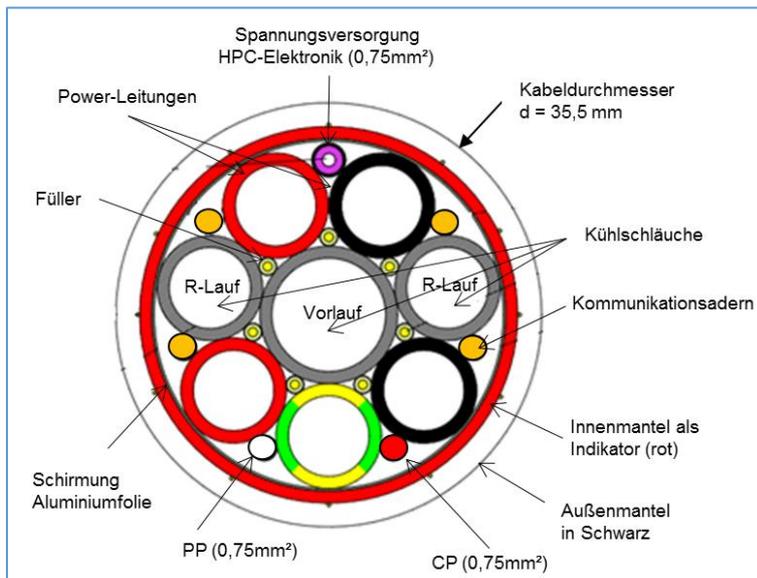


Abbildung 38 Schnittbild / Aufbau der HPC-Leitung.

Die Messergebnisse zeigen in der nachfolgenden Abbildung, dass durch diese Anordnung. Ausgehend von einer Umgebungstemperatur von ca. 23 °C ergeben sich die im Diagramm dargestellten Temperaturen der HPC-Mantelleitung.

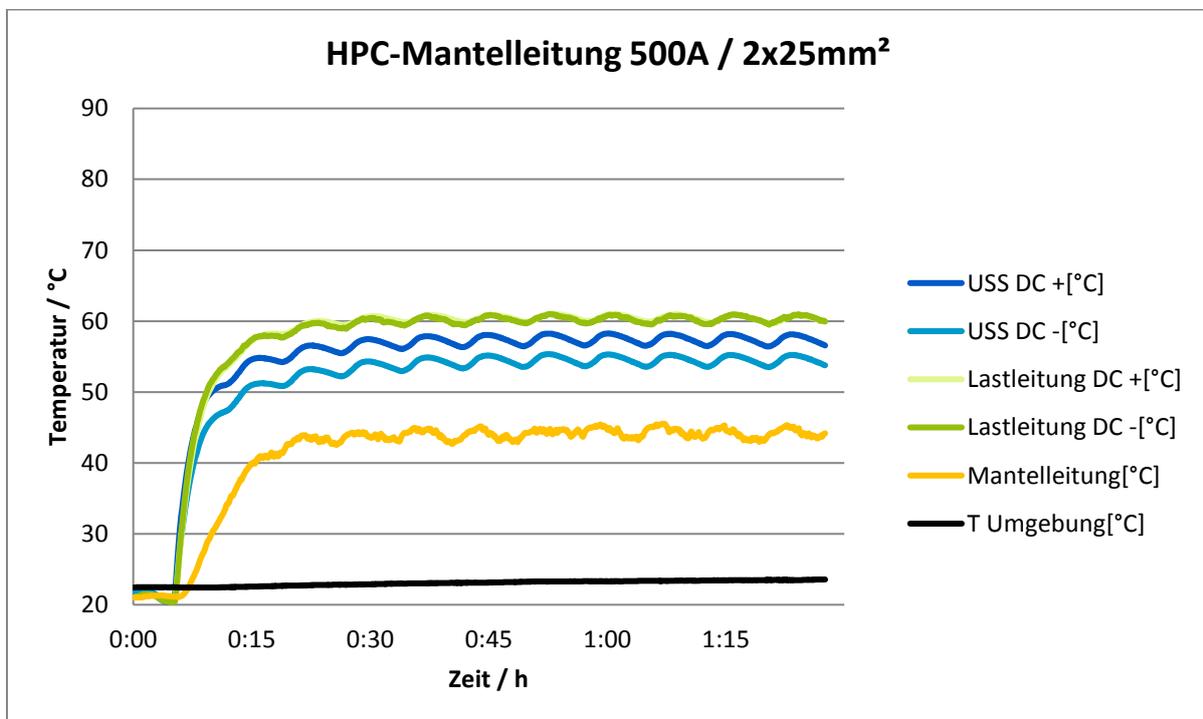


Abbildung 39 Temperaturkurven HPC-Mantelleitung bei 500 A und 20°C Umgebungstemperatur

Die Berührttemperatur außen am Mantel liegt bei ca. 45°C (Grenzwert ist 60°C). Die Temperaturen der DC-Kontakte (USS DC) liegt im Bereich von 55 bis 58 °C. Die Einzelader selbst im Stecker hat eine Temperatur von ca. 60°C.

Als Ergebnis lässt sich für das Messbare Ziel Nr. 5 festhalten:

Als Fazit lässt sich festhalten, dass alle Grenzwerte eingehalten werden und somit eine Stromtragfähigkeit von 10 A /mm² des Leiterquerschnittes möglich ist. Das zweite messbare Ziel ist somit erreicht.

Zum finalen Konzept gehört auch eine Ladesäuleneinführung, die das Gesamtsystem abrundet. Mittels der Ladesäuleneinführung wird eine definierte Schnittstelle geschaffen und damit ein einfacher Anschluss der Power- und Kommunikationsleitungen sowie Kühlschläuche.



Abbildung 40 Konzept mit Ladesäuleneinführung und Stromschienenanschluss für die Leistungsleitungen. Konzeptschritte Kühleinheit

Über die Laufzeit des Projektes FastCharge durchlief auch die Kühleinheit einige Integrationsschritte vom Standard-Kühlgerät (Testgerät) bis zur projektspezifischen, integrierten Lösung. Die nachfolgende Abbildung zeigt die einzelnen Integrationsschritte.

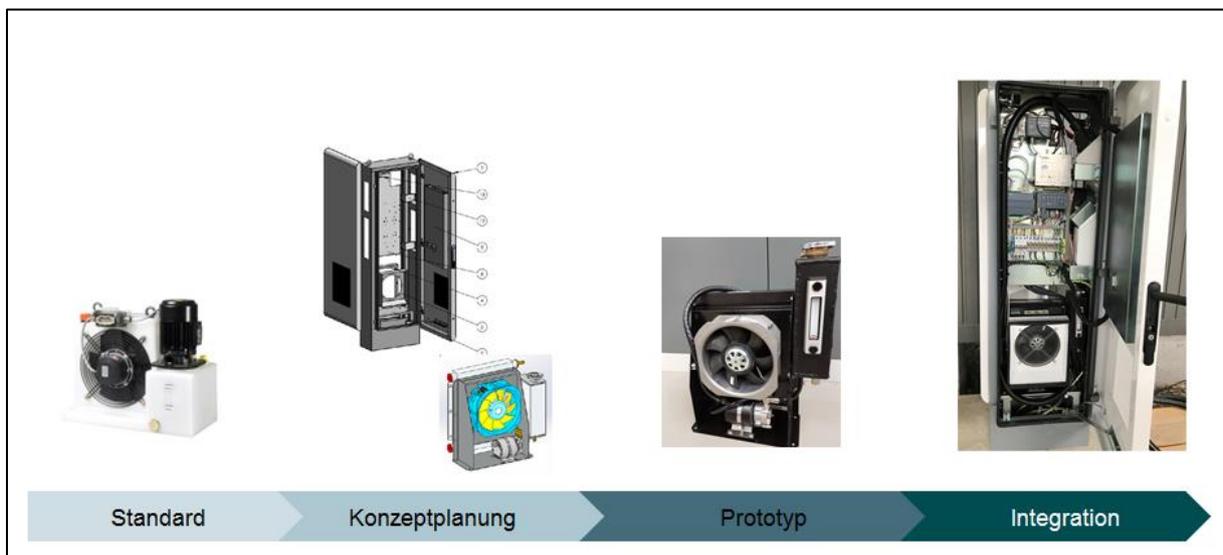


Abbildung 41 Integrationsschritt der Kühleinheit.

Beginnend mit einem ausgewählten Standard-Kühlgerät des Technologiepartners Firma Hydac wurden die ersten Tests durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf der Bestimmung der notwendigen Kühlleistung für einen maximalen Ladestrom von 500 A bei maximaler normativer Umgebungstemperatur von 40°C. Hierzu wurden aktive und passive Kühlaggregate getestet. Der wesentliche Unterschied liegt in der technischen Tatsache, dass eine aktive Kühleinheit (Kompressorkühler oder auch Chiller genannt) nahezu unabhängig von der Umgebungstemperatur arbeiten kann. Hierzu werden allerdings mehr Komponenten sowie mehr Platzbedarf benötigt. Zudem fallen ein erhöhter Energieaufwand für die Kompressor Einheit sowie aufwendigere Vorgaben zur Wartung und Service ins Gewicht. Im Gegensatz dazu besteht eine passive Kühleinheit aus weniger und einfacheren Komponenten, wie Lüfter, Pumpe und Wärmetauscher. Der Energiebedarf ist somit auch geringer. Nicht zuletzt liegt ein wesentlicher Unterscheid in den Investitionskosten. Eine aktive Kühleinheit ist um den Faktor zwei kostenintensiver im Vergleich zu einer passiven Einheit. Ein Punkt ist in Bezug auf die passive Kühleinheit zu beachten: Diese ist von der Umgebungstemperatur abhängig und hat somit ihre technischen Einsatzgrenzen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine kurze Übersicht der beiden Systeme mit Bildern von Standardgeräten, die für die Integration in die Ladesäule modifiziert werden.

Varianten und Typen von Kühleinheiten	Passive, offene oder halb-geschlossene Systeme Flüssigkeit-Luft-Kühler  <small>Quelle: Fa. Hydac</small>	Active, halb geschlossene oder geschlossene Systeme Kompressor-Kühleinheiten (Chiller)  <small>Quelle: Fa. Hydac</small>
Betriebstemperaturen* Umgebungstemperatur	-20°C bis + 45°C	- 10°C bis + 60°C
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Wenig Komponenten - Geringer Investitionens- und Betriebskostenn - Platzsparender Aufbau - Abhängig von der Außentemperatur - Variable Lüfter- und Pumpenregelung 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Komponenten (z.B. kompressor notwendig - Zusätzliche, erhöhte Kosten für Anschaffung und Betrieb - Mehr Platzbedarf notwendig - Unabhängig von der Umgebungstemperatur
Kosten für Anschaffung und Betrieb	gering	hoch
Aufwand für Wartung Service	Sichtkontrolle Einfache Reinigung	Sichtkontrolle, Reinigung Kontrolle Kühlmedium
Kundenspezifische Anpassungen in Bauraum und Applikation möglich <small>*Thermische Optimierung / Anpassung durch Verwendung entsprechender Komponenten (z.B. Pumpe, Pumpenlager)</small>		

Abbildung 42 Unterschiede passive und aktive System (Standard Bauformen)

Testergebnisse zeigen, dass auch passive Kühleinheiten für Umgebungstemperaturen bis 40°C eingesetzt werden können und die Kühlleistung für einen Ladestrom von 400 und 500 A ausreicht, was einer maximal bereitgestellten Ladeleistung von 400 bis 500 kW bei 1000 V Ladespannung entspricht. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige Messdiagramme mit den Ergebnissen der resultierenden maximalen Temperaturen der DC-Kontakte bei 400 A und 500 A mit dem Prototyp der Kühleinheit.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf der DC-Kontakte bis zum thermischen Gleichgewicht bei 400 A und 20°C Umgebungstemperatur, gekühlt mit einem passiven Kühlgerät. Wie man erkennt, liegen die Temperaturen der beiden DC-Kontakte weit unter dem normativen Grenzwert von 90°C. Die die zweite normative Anforderung ein ΔT von 50 K zu Umgebungstemperatur wird ebenfalls sehr gut eingehalten.

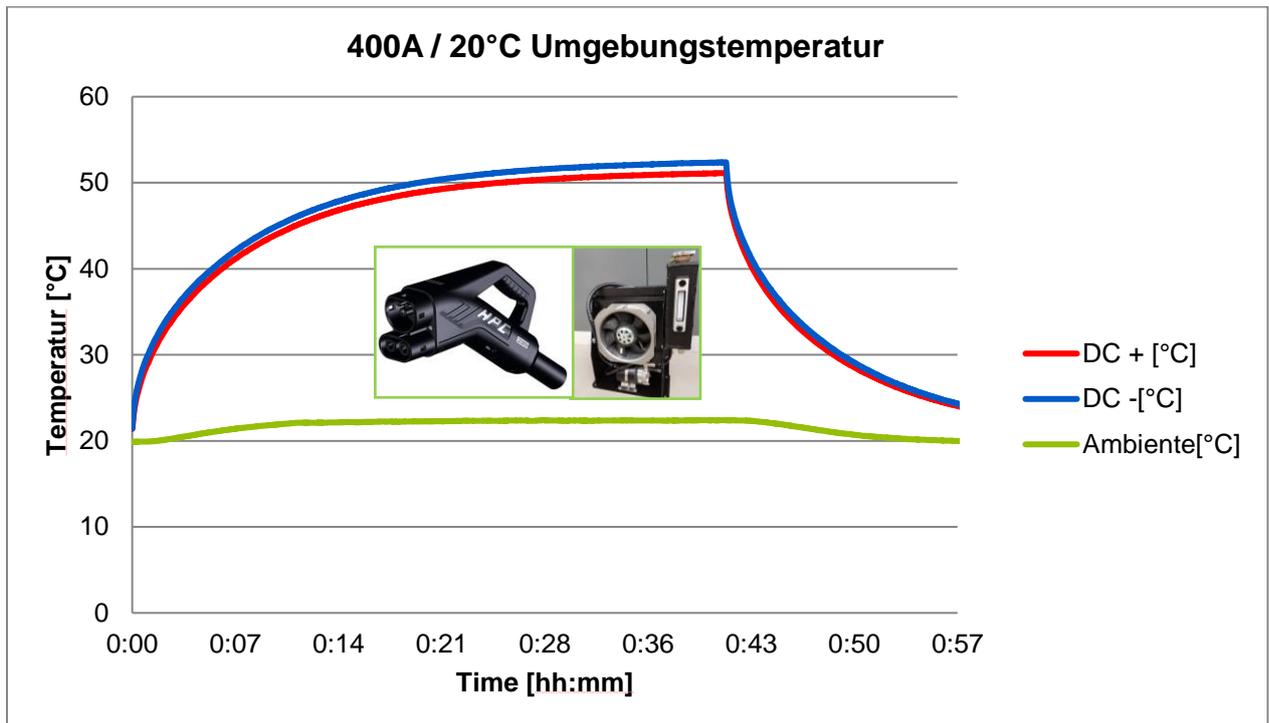


Abbildung 43 400 A Ladestrom bei 20 °C Umgebungstemperatur

Die Umgebungstemperatur liegt bei ca. 22°C, die Temperaturen der DC-Kontakte pendeln sich nach ca. 40 Minuten auf 52°C ein.

Aus der nächsten Abbildung lässt sich erkennen, dass bei ca. 44°C Umgebungstemperatur die Kontakttemperatur bei rund 75°C im thermischen Gleichgewicht verharrt. Bei einem Ladestrom von 400 A und einer Umgebungstemperatur von über 40°C, werden der Stecker und die Kontakte ausreichend gekühlt.

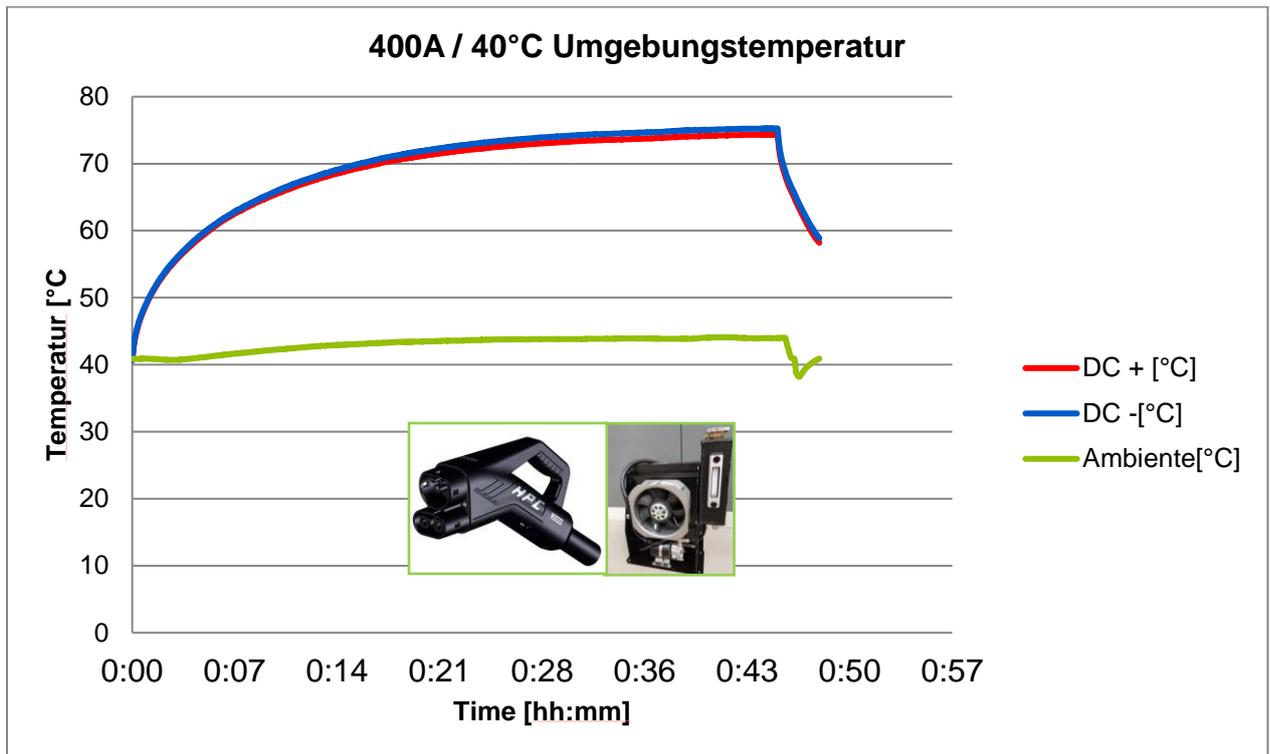


Abbildung 44 400 A Ladestrom bei 40 °C Umgebungstemperatur

Bei Erhöhung des Ladestroms auf 500 A und gleichzeitiger Beibehaltung von hohen Umgebungstemperaturen um die 40°C, wird die Grenztemperatur der Komponenten von 90°C nach ca. 14 Minuten erreicht.

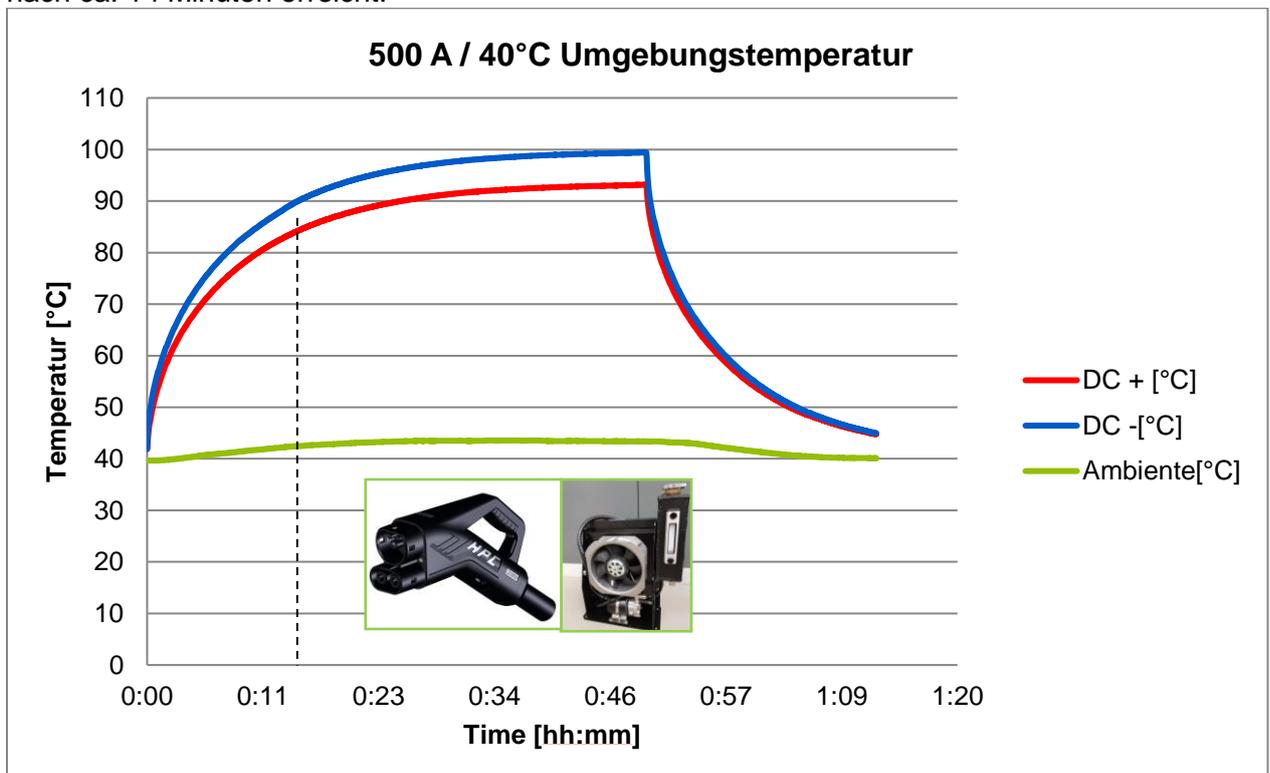


Abbildung 45 500 A Ladestrom bei 40 °C Umgebungstemperatur

Das bedeutet bei hohen Umgebungstemperaturen $\geq 40^{\circ}\text{C}$ und Nutzung eines passiven Kühlgerätes wird der Stecker für 14 Minuten bei 500 A ausreichend gekühlt. Sollte die Ladezeit verlängert werden, so müsste der Strom reduziert werden, also ein Derating der Ladeleistung erfolgen. Als Alternative zur Leistungsreduzierung, lässt sich ein aktives Kühlgerät einsetzen, welches unabhängig von der die entsprechende Kühlleistung bereitstellen kann. Jedoch reicht in der Regel eine Ladezeit von wenigen Minuten aus, da ja mit sehr hohen Leistungen und Strömen geladen wird, um eine kurze Wartezeit zu realisieren. Zudem ist eine Umgebungstemperatur von 40°C eher selten. Dennoch lässt sich aus der nachfolgenden Grenzwertbetrachtung erkennen, dass bei einem Bedarf von 450 A Dauerstrom ein aktives Kühlgerät für das Phoenix Contact Steckersystem zu verwenden ist.

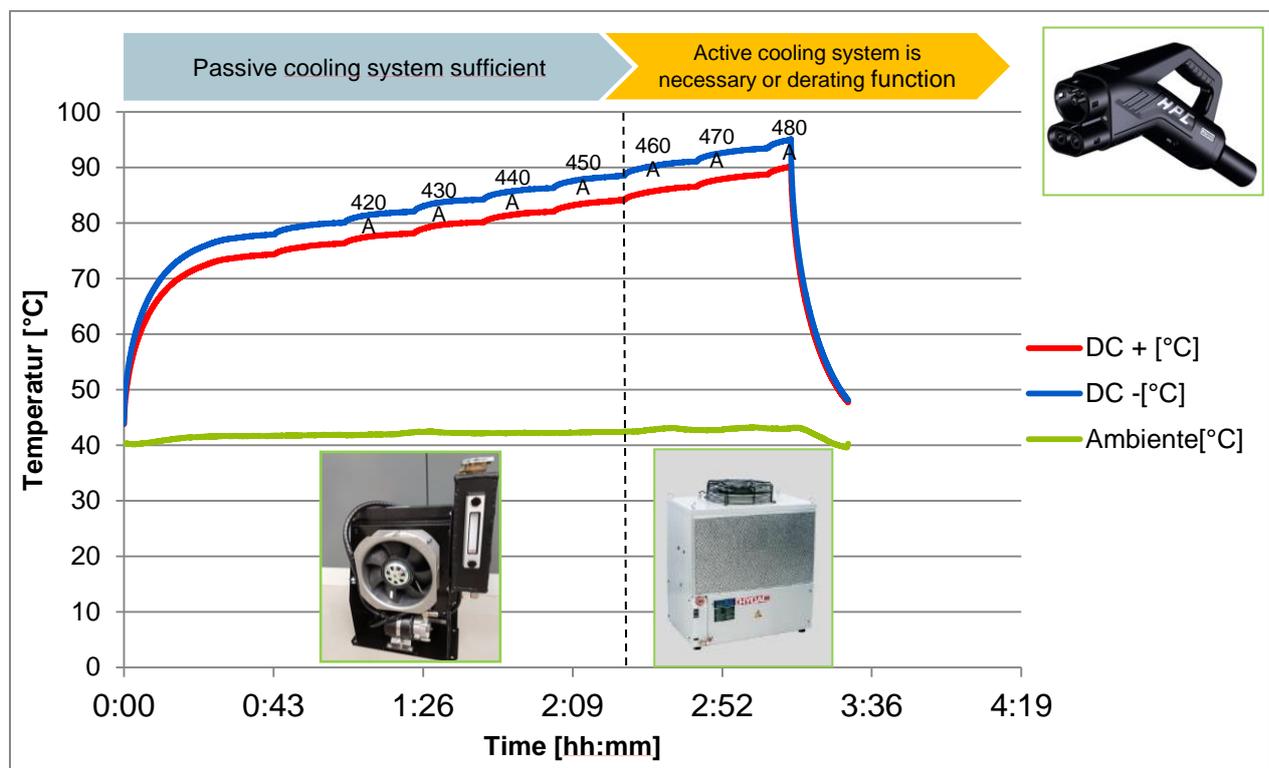


Abbildung 46 Stufenmessung zur Grenzwertbestimmung von passiven Kühlsystemen mit dem Phoenix Contact Steckersystem

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Stufenmessung jeweils mit 30 Minuten mit einem aktiven Kühlgerät bis zu 500 A Ladestrom. Zu erkennen ist, dass alle Komponenten die 90°C absolute Temperaturgrenze einhalten und dass auch der 50 K Grenzwert nicht überschritten wird.

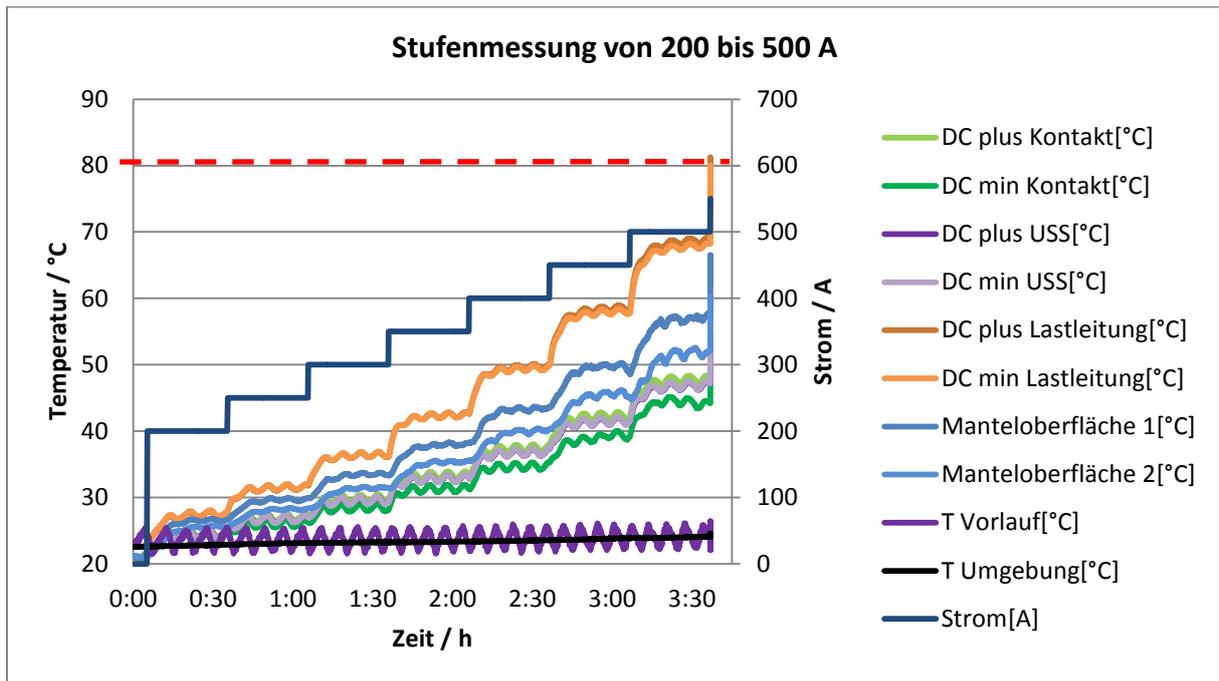


Abbildung 47 Stufenmessung zur Grenzwertbestimmung mit einem aktivem Kühlgerät und dem Phoenix Contact Stecksystem

Bei genauerer Betrachtung lässt sich erkennen, dass die Maximaltemperatur (68°C @ 500 A) der DC-Leitung im inneren der Mantelleitung zuzuordnen ist. Die berührbare Manteloberfläche liegt bei ca. 55°C und somit ebenfalls unter der normativen Anforderung von 60°C. Die Kontakttemperaturen liegen bei ca. 48°C bei 500 A Ladestrom und aktiver Kühlung.

Für die optimale Kühlleistung ist eine Durchflussmenge von 2 Litern pro 1 Minute notwendig, um die Wärmeabfuhr aus der Leitung und dem Kontaktbereich des Steckers zu gewährleisten. In der nachfolgenden Abbildung lässt sich herauslesen, dass bei einer Durchflussmenge (Volumenstrom) von rund 2l/min, sich ein Druckverlust von kleiner 1bar einstellt.

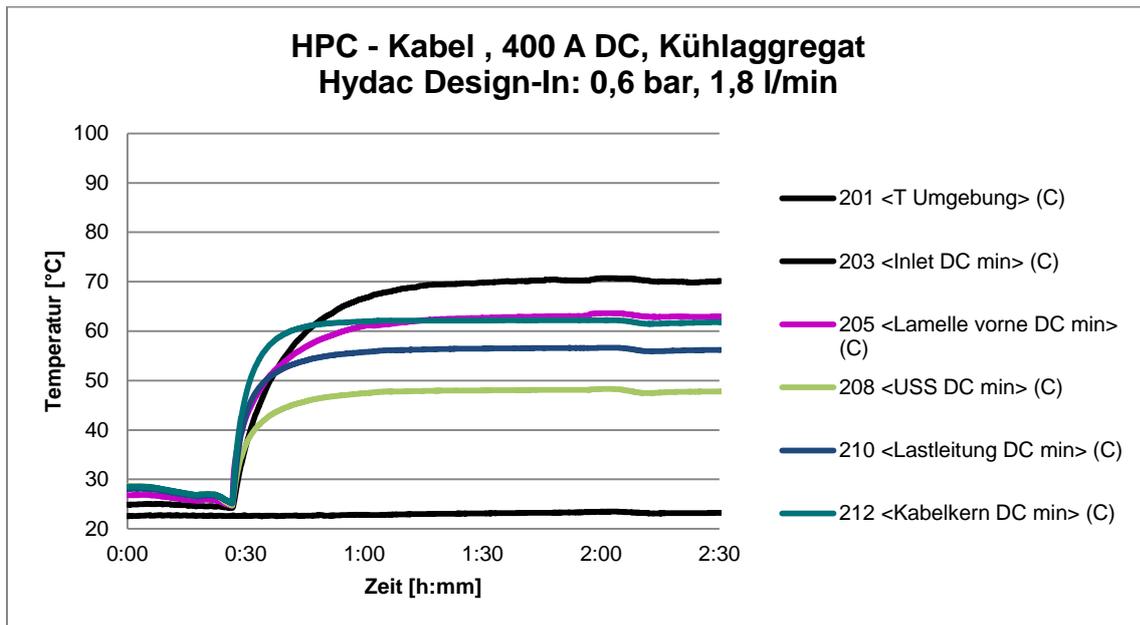


Abbildung 48 Ermittlung optimaler Arbeitspunkt der Pumpe bei ausreichender Kühlleistung

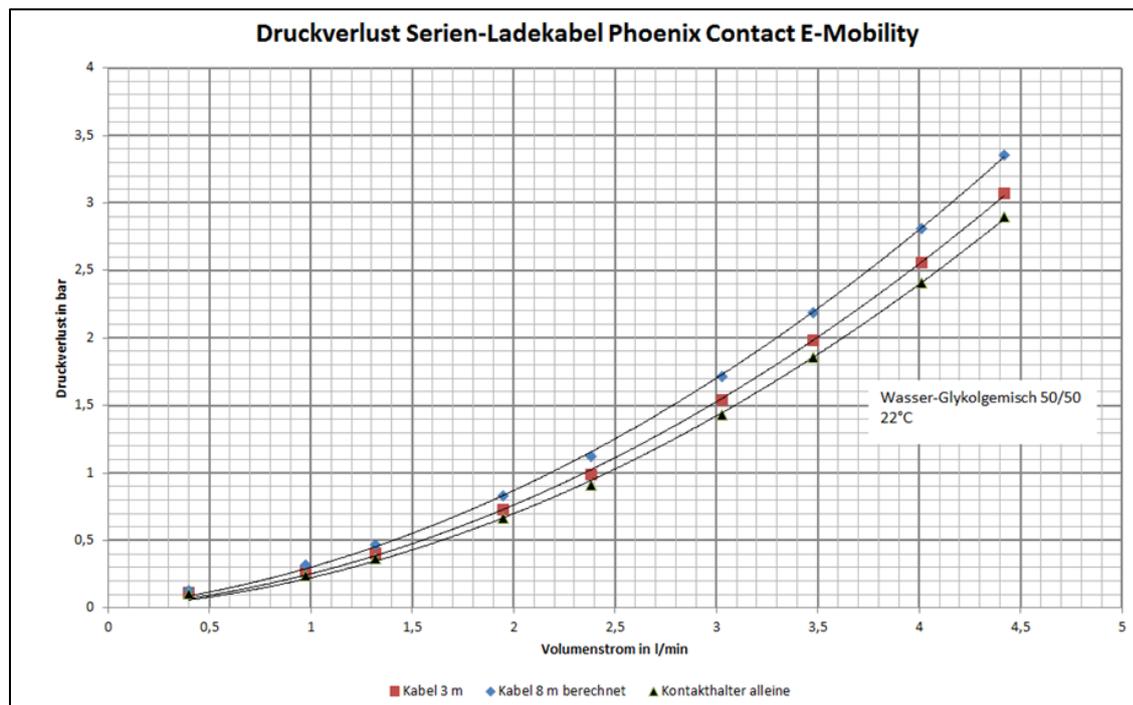


Abbildung 49 Diagramme Volumenstrom und Druckverluste

Dieser geringe resultierende Druck ist ein wichtiger Bestimmungspunkt für die Auslegung des optimalen Arbeitspunktes der Pumpe. Da die Pumpe einen wesentlichen Kostenfaktor ausmacht, ist die möglichst optimale Auslegung und damit effiziente Pumpe entscheidend für die Auslegung der Kühleinheit.

Für die Integration wurden verschiedene Konzeptideen diskutiert und auf den Bauraum der Ladesäule abgestimmt. Die Komponenten der Kühleinheit bestehen aus Standard Industriekomponenten, die bereits diverse separate Erprobungen und Prüfungen durchlaufen haben. Der finale Prototyp wird dann in die Ladestation integriert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die einzelnen Arbeitsschritte in der zeitlichen Abhängigkeit nach finaler Konzeptfestlegung bis zu geprüften Prototypen.

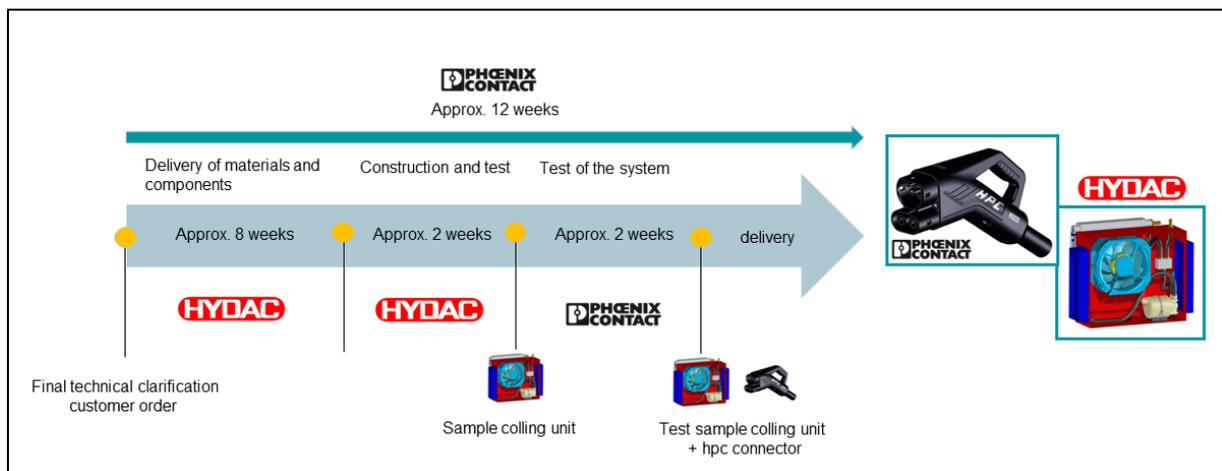


Abbildung 50 Projektzeitdurchlauf „projektspezifisches Kühlgerät“ nach Konzeptfestlegung

Vor der finalen Konzeptbestimmung wurden das Konzept sowie die einzelnen Komponenten auf den entsprechenden Bauraum abgestimmt. Eine Kühleinheit besteht aus einem Montageblech, Lüfter, Pumpe und Wärmetauscher sind dabei am Gehäuse montiert. Das Ausgleichsgefäß (Tank) wurde zunächst auf der Gehäuseoberseite untergebracht. Später jedoch, aus Platzgründen, beim finalen Konzept an der Seite montiert. Die Verrohrung für den Vor- und Rücklauf ist innerhalb des Gehäuses integriert. Die Luftleitbleiche dient zur optimalen Anbringung zur Luftzufuhr und Abfuhr der Wärme.

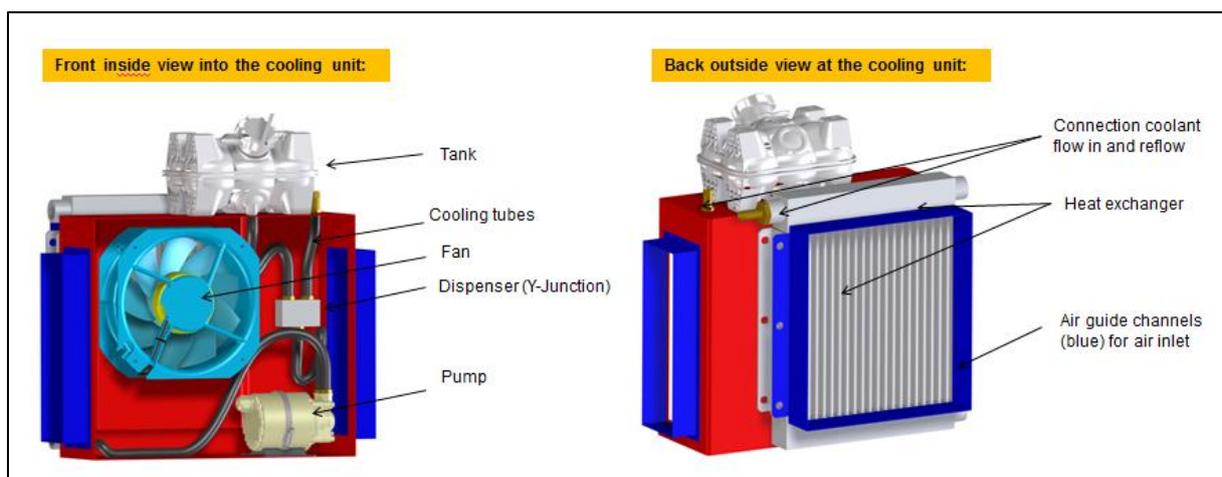


Abbildung 51 Konzeptdarstellung - Komponenten einer passiven Kühleinheit

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Konzept der Integration des Kühlgerätes als 3D-Modell in der Ladesäule mit Luftein und-austritt. Im Laufe des Projektfortschrittes wurde der Luftein

und -austritt noch angepasst, so dass die Frischluft von der Frontseite durch den Lüfter eingesaugt wird und durch die hinteren Öffnungen austritt. Grund für die Anpassung waren die nicht optimalen Luftströmungen (Verwirbelungen) bei einem seitlichen Austritt bei diesem Konzept.

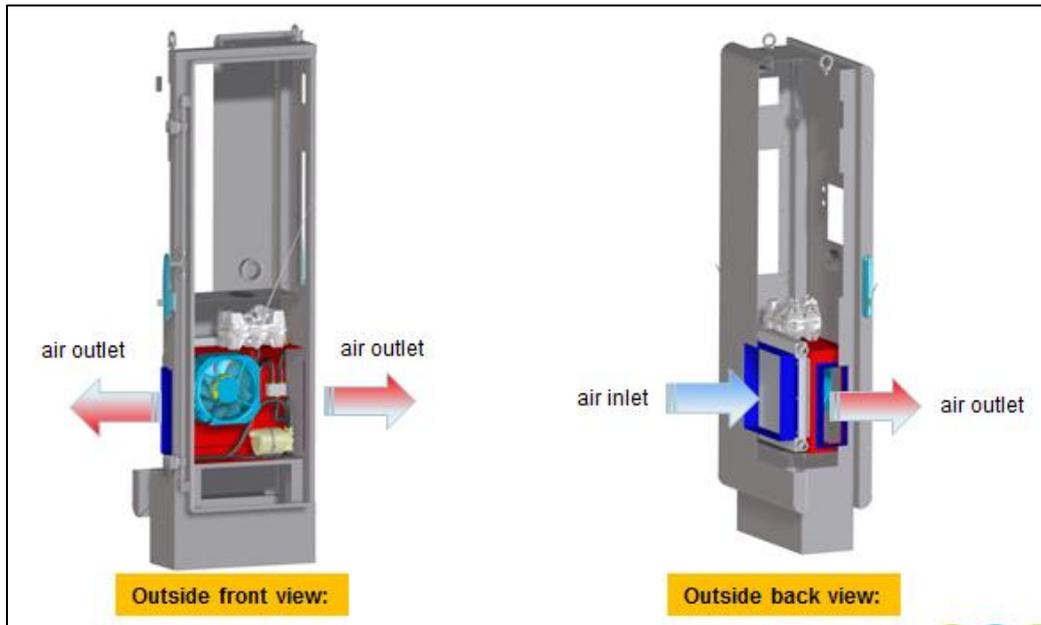


Abbildung 52 Integration der Kühleinheit im 3-D Modell

Die nachfolgende Abbildung zeigt den finalen Einbaustand des Ladesäulengehäuses mit den Lüftungsgittern in der vorderen und hinteren Tür.

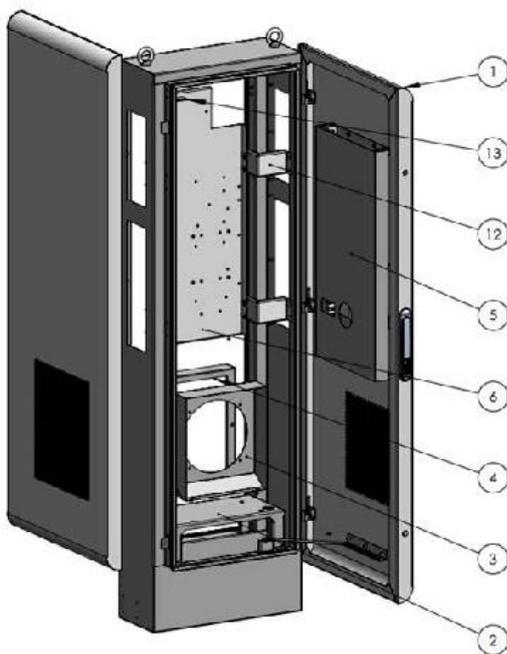


Abbildung 53 Finales Konzept mit optimierten Luftein- und -austritt

Bei der vierten HPC-Anlage in Jettingen-Scheppach wurde eine andere Bauform der Ladesäulen gewählt und die Anordnung der Kühlkomponenten in einem zweiten Konzept modifiziert. Das Grundkonzept einer passiven Kühleinheit ist jedoch geblieben.



Abbildung 54 Integration der Kühleinheit für die Anlage Jettingen-Scheppach.

3.3.6 Kühlmittelauswahl – Wasser Glykol Gemisch

Ebenso wie die Analyse, Prüfung und Auswahl eines einfach zu betreibenden und kostengünstigen Kühlgerätes, wurde das passende Kühlmedium untersucht.

Mit Unterstützung der Fa. Hydac wurden nicht nur die Kühlgeräte sondern auch diverse Kühlmedien diskutiert. Für die offenen und passiven Kühlsysteme, wurde ein Wasser-Glykolgemisch (Monoethylene Glykol der Marke Glysofor N) ausgewählt, dass kostengünstig und umweltfreundlich ist. Zudem sollte die Beschaffung einfach sein und somit eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Seitens der Materialverträglichkeit wurden entsprechende Prüfungen durchgeführt und bestanden.

Auch die Anwendung ist insbesondere bei offenen System einfach durchführbar.

Service und Wartung der Kühleinheiten

Wie schon beschrieben ist das Thema Wartung und Service bei passiven Kühlgeräten sehr einfach und kostengünstig zu behandeln.



Abbildung 55 Passives Kühlgerät für HPC-Testanlagen

3.3.7 Wartungsplan von passiven Kühleinheiten

Optische Inspektion und bei Bedarf Reinigung der Lamellen (Wärmetauscher) und des Lüfters sind notwendig. Ansonsten ist das System wartungsfrei. Zeitintervall: kundenspezifisch (Empfohlen nach Erstinbetriebnahme 3-6 Monate)

3.3.8 Reinigung der Kühlelemente:

Um die Kühlleistung zu gewährleisten, ist es notwendig, die Kühlelemente sauber zu halten. Vor dem Reinigen des Kühlers müssen die Lüfter Motoren abgeschaltet und gegen Wiedereinschalten gesichert werden.

Es sind folgende Reinigungsmöglichkeiten möglich:

- a) Mechanische Reinigung mit weichen Bürsten. Beim Reinigen mit Bürsten dürfen die Lamellen des Kühlelementes nicht verbogen werden.
- b) Reinigung mit Staubsauger: Die Reinigung mit dem Staubsauger sollte allen anderen Reinigungsmethoden vorgezogen werden, sofern die Verschmutzung mit Unterdruck vom Kühlelement gelöst werden kann.
- c) Pneumatische Reinigung mit Druckluft: Bei der Reinigung mit Druckluft muss bei einem max. Arbeitsdruck von 8 bar ein Abstand zu den Lamellen von > 50 mm eingehalten werden. Dabei sollte die Druckluft immer senkrecht auf die Kühlelementfläche treffen, um ein Verbiegen der Lamellen zu vermeiden.

3.3.8 Bereitstellung Fahrzeug-Ladeschnittstelle für Fast Charge Anwendungen

Im Rahmen des FastCharge Projektes wurde an die jeweiligen Konsortialpartner BMW und Porsche jeweils ein Prototyp einer Fahrzeug-Ladeschnittstelle (Inlet) geliefert. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Universalinlet, welches für das Fahrzeugprojekt FastCharge entsprechend modifiziert wurde. Die Modifikation besteht im Wesentlichen aus der Anbindung der DC-Leitung, in der Ausführung 95 mm² sowie der bauraumspezifischen Leitungsführung und Befestigungsvorrichtung. Grundsätzlich werden die Ladeschnittstellen in diesem Projekt ohne zusätzliche Kühlung aufgebaut.



Abbildung 56 Standard Universalinlet

Nach projektspezifischen und bauraumspezifischen Anforderungen wurden die Fahrzeug-Schnittstellen entsprechend angepasst.

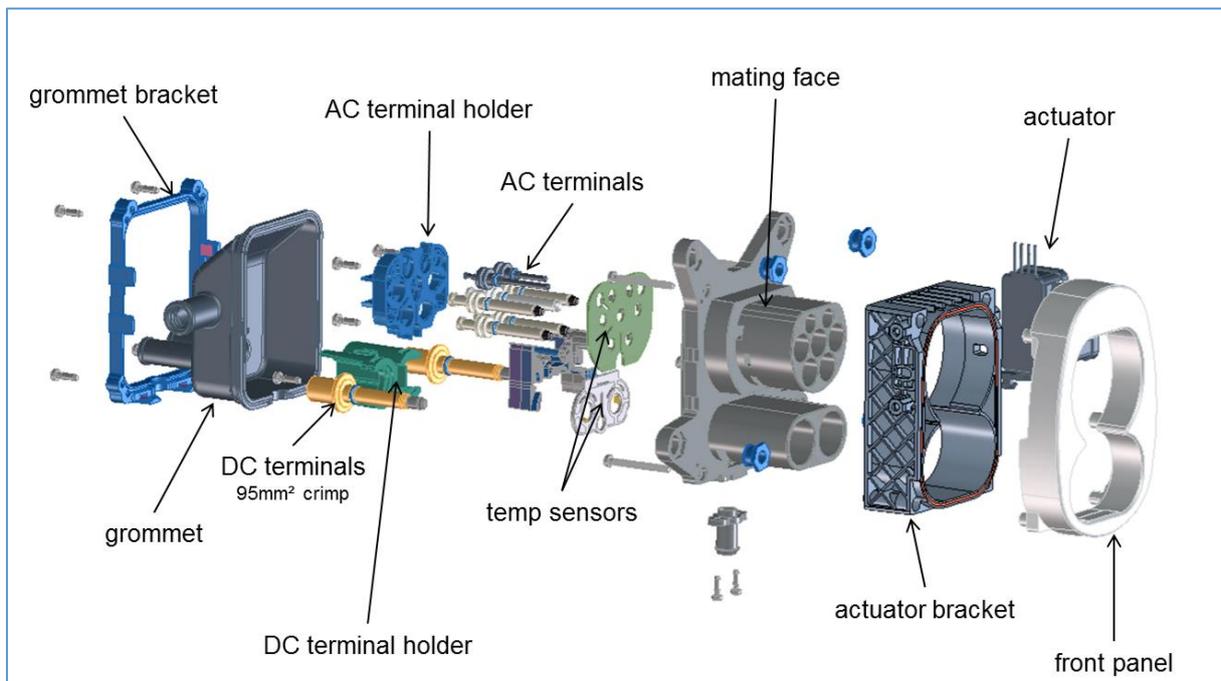


Abbildung 57 Explosionsdarstellung der Einzelkomponenten im Inlet

Wie erwähnt, wurden die Fahrzeugschnittstellen (Inlets) speziell für den vorhandenen Bauraum der Prototypenfahrzeuge angefertigt und zu Beginn des Projektes bereitgestellt. Die

nachfolgenden Abbildungen zeigen den spezifischen Aufbau der Inlets mit den jeweiligen Anforderungen.

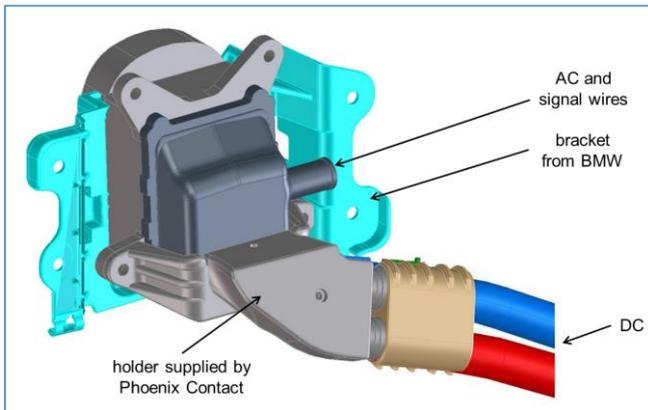


Abbildung 58 BMW Prototyp Fahrzeugschnittstelle

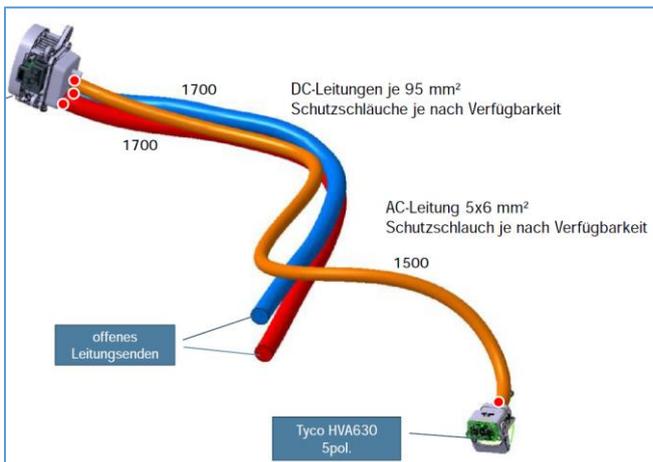


Abbildung 59 Porsche Prototyp Fahrzeugschnittstelle

Nach erfolgreichem Aufbau wurden die Fahrzeugschnittstellen für Anwendungen bis 500 A Ladestrom getestet. Die nachfolgende Abbildung 60 zeigt das Ergebnis der Tests.

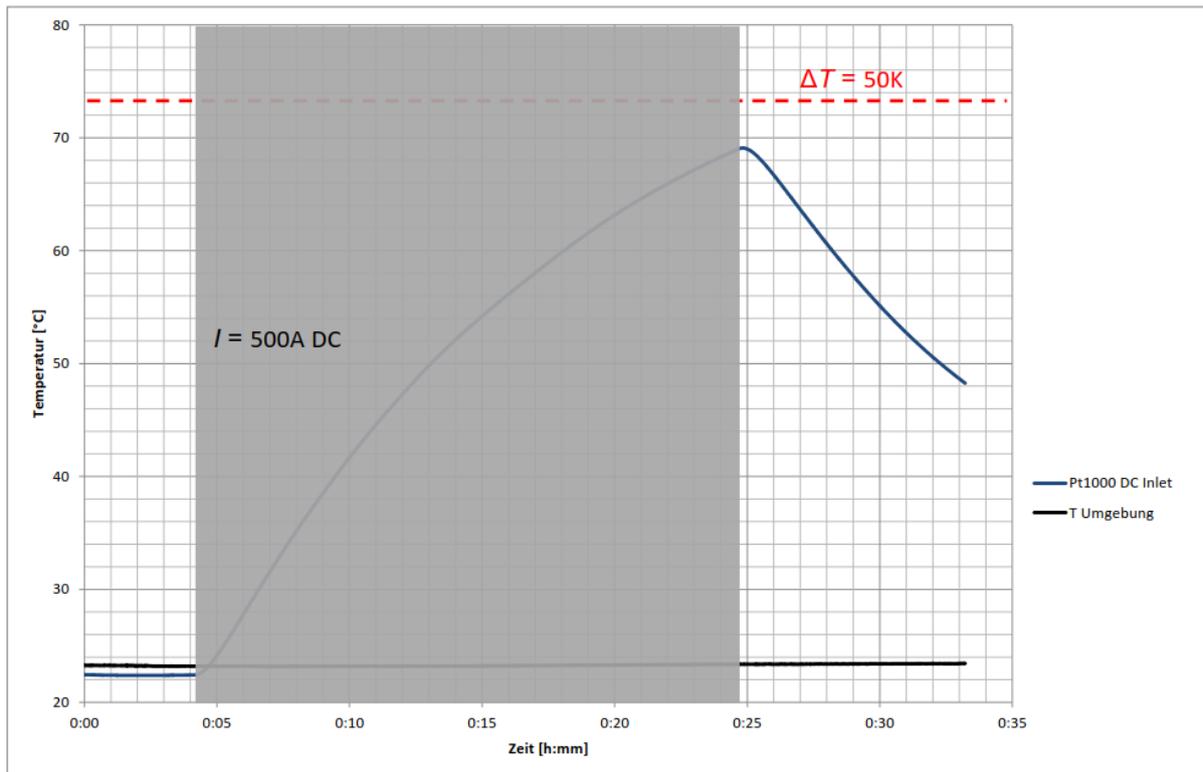


Abbildung 60 Messdiagramm Prototyp Fahrzeugschnittstellen 500 A Test

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Muster bzw. Prototypen Fahrzeug-Schnittstellen, in der beschriebenen Ausführung, den maximalen Ladestrom von 500 A für 20 Minuten führen können, ohne dass Temperaturgrenzwerte überschritten werden. Um für längere Zeit mit 500 A dauerhaft zu laden, müsste der Querschnitt auf 120mm² erhöht werden oder eine zusätzliche Wärmeabfuhr (Kühlung) an den Inlets erfolgen. Für die spezifizierten Anforderungen im Fast Charge Projekt wurde eine Bereitstellung von 500 A für 20 Minuten Ladezeit als ausreichend festgelegt.

3.3.9 Fazit und Zusammenfassung zum Thema Ladeschnittstelle

Im Projekt FastCharge werden die technischen und physikalischen Grenzwerte auf Basis des CCS-Standards ermittelt und ausgereizt. Auf Basis dieses Standards wird die HPC-Steckverbindung entwickelt und zur Schnelllade-Technologie erprobt.

Durch den Einsatz einer Kühlung wird die technische Machbarkeit aufgezeigt, dass mit akzeptablen Leiterquerschnitten ein alltagsgebräuchliches Ultra-Schnellladen mit bis zu 450 kW möglich ist. Ebenso konnte der Übergangswiderstand der Kontakthanbindung sowie die Stromtragfähigkeit verbessert werden. Durch den speziellen inneren Aufbau der Leitung, wird die Wärmeabfuhr in der HPC-Mantelleitung, auch bei hohen Ladeströmen bis zu 500 A und hohen Umgebungstemperaturen bis zu 40°C, gewährleistet. Die Auswirkungen einer Grenzwertbetrachtung oberhalb von 350 A werden damit durchgeführt. Durch zusätzliche Sensorik und das Monitoring von Ereignissen, wie Temperatur, Leckage, Erschütterung sowie die interne Plausibilitätskontrolle im Stecker selbst, ist das Sicherheitskonzept deutlich erweitert worden. Mittels der Standard CAN-Schnittstelle, ist es einfach den Ladestecker an eine Industriesteuerung anzubinden und auch eine entsprechende Fernwartung durchzuführen. Somit ist das dargestellte Steckerkonzept für künftige Anwendungen über das Backend der Schnellladetechnik in der Machbarkeit erprobt und einsatzbereit.

3.4 Plug and Charge

Das Laden von Elektrofahrzeugen wird von manchen Nutzern aufgrund von unterschiedlichen Zahlungs- und Authentifizierungsmethoden als unkomfortabel wahrgenommen. Plug & Charge (PnC) ist ein auf dem Standard ISO 15118 bzw. der DIN Spec 70121 basierendes System, welches Identifikations- und Abrechnungskarten und Apps überflüssigmachen wird. PnC ermöglicht den automatisierten und verschlüsselten Austausch relevanter Ladedaten zwischen einem Elektrofahrzeug und der Ladeinfrastruktur. Bei einem Ladevorgang mit PnC wird einfach das Ladekabel der Ladestation in das Fahrzeuginlet gesteckt. Anschließend beginnt automatisch der TLS verschlüsselte Authorisierungsvorgang zwischen Fahrzeug und Ladestation. Ist die Prüfung erfolgreich, beginnt die Ladung des Fahrzeugs, der abschließende Zahlungsvorgang erfolgt im Nachgang automatisch, sofern zusätzlich eine Anbindung an ein Backendsystem eines E-mobility providers oder e-Roaming Anbieters, wie Hubeject, besteht. Der entscheidende Kommunikationsstandard, der den Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Roaming Backend beschreibt ist der sog. OCPP Standard (Open Charge Point Protocol). Bei diesem Standard handelt es sich um einen offenen Kommunikationsstandard, der von der Open Charge Alliance veröffentlicht wird. Der Fokus liegt hier auf der Überwachung und Abrechnung. In der noch nicht fertiggestellten Version OCPP 2.0 wird auch die Ladevorgangsteuerung mittels ISO 15118 integriert sein. Für dieses Projekt wurde die bereits bestehende Standardversion OCPP 1.6 um nötige Erweiterungen für PnC ergänzt.

Die Umsetzung PnC im Projekt umfasst entsprechende Lösungen im Fahrzeug, in der Ladeinfrastruktur und im Backend, sowie für die Kommunikationsstrecken zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur einerseits und zwischen Ladeinfrastruktur und Backend andererseits. Sie erfolgt in zwei Phasen. Zunächst wird ein Konzept für PnC entwickelt und anschließend wird dieses Konzept prototypisch umgesetzt. Das Konzept ist vollständig erstellt und sieht auf der Seite von Fahrzeug und Ladeinfrastruktur die Implementierung und Integration von ISO/IEC 15118-2 Ed.1 mit PnC als Grundlage für die Unterstützung von PnC Funktionalität vor.

Auf Fahrzeugseite wurde PnC entsprechend der Anforderungen der ISO15118-2 Ed.1 umgesetzt. PnC Integrationstests wurden mit der Siemens Ladesäule erfolgreich durchgeführt. Das Fahrzeug war in der Lage, die Ladesäule zu authentifizieren und mit der Ladesäule eine sichere Verbindung zu etablieren.

Die Ladesäule könnte die Contract Data des Fahrzeugs verifizieren und den Ladevorgang freischalten. Certificate Installation über die Ladesäule konnte im Rahmen des Förderprojektes nicht getestet werden. Contract Certificates wurden für die Tests im Fahrzeug vorinstalliert.

Auf der Seite von Ladeinfrastruktur und Backend ist aus dem Projekt ein Ergebnisdokument hervorgegangen, das eine Erweiterung des Open Charge Point Protokolls (OCPP) in der zum Zeitpunkt des Projektstarts aktuellen Version 1.6 spezifiziert. Das Dokument wird dem Förderkoordinator separat zugesendet. Diese Erweiterung ist von Allego und Siemens gemeinsam erarbeitet worden und sieht Mechanismen vor, die für eine Unterstützung von Plug and Charge erforderlich sind, die aber in der OCPP 1.6 Spezifikation noch nicht berücksichtigt sind, wie z.B. die Übertragung von Zertifikaten. Im Zuge der Spezifikation der Erweiterung haben Siemens und Allego insbesondere die für die Unterstützung von Plug and Charge notwendigen Nachrichten zwischen Ladeinfrastruktur und Allego Backend abgestimmt. Diese Abstimmung umfasst sowohl die Phase zur Installation der Ladesäulenzertifikate als auch den detaillierten Ablauf der Autorisierungsphase.

In der zweiten Phase hat Siemens das ISO/IEC 15118-2 Protokoll mit PnC auf der Seite der Ladeinfrastruktur implementiert und mit den Testfahrzeugen von BMW und Porsche integriert und getestet.

Die Implementierung umfasst dabei im Wesentlichen die folgenden Punkte:

- Integration eines TLS Servers für die gesicherte Verbindung zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug
- Remote Tests der Implementierung über Internet
- Erfolgreiche Teilnahme am ISO/IEC 15118 Testival in Kanada, noch mit dem Ladeprofil External Identification Means (EIM) und Verbesserung der Implementierung auf der Basis der dort gesammelten Erfahrungen
- Vollständige Implementierung des ISO/IEC 15118-2 Ed. 1 Protokolls inklusive PnC
- ISO/IEC 15118-2 Ed. 1 Tests auf Controller-Ebene mit den Projektpartnern Porsche & BMW
- Verifikation der ISO/IEC 15118-2 Ed. 1 Implementierung mit PnC mit dem Verisco Testsystem
- Intensive Integrationstests mit dem BMW Versuchsfahrzeug für ISO/IEC 15118-2 mit PnC
- Integrationstests mit dem Porsche Versuchsfahrzeug für ISO/IEC 15118-2 mit PnC

Eine Implementierung auf der Seite von Ladeinfrastruktur und Backend ist bis zum Erstellungszeitpunkt dieses Berichtes aufgrund fehlender Backend-Infrastruktur für die Integration nicht erfolgt.

Details zum Thema Datenauswertung und Testmanagement bei Plug and Charge finden sich in Kapitel 7.

3.5 Inbetriebnahme

Die Leistungsstufen in den High Power Units werden im Fertigungswerk vorab in Betrieb genommen, bevor sie in den Container eingebaut werden. Dadurch können etwaige Hardware-Fehler schnell lokalisiert und behoben werden. Für die Inbetriebnahme wird ein User Interface (UI) benötigt. Nach erfolgreichen Tests mit einer Testsoftware ist die Vorinbetriebnahme abgeschlossen.

Ist die BCU an Ort und Stelle aufgebaut, werden die Isolationsüberwachungsgeräte und Leistungsanschlüsse aller Ladepunkte überprüft. Die Funktion der Schutzleiterverbindungen ist zu prüfen und zu dokumentieren. Nun kann die Nieder- bzw. Mittelspannung zugeschaltet werden. Danach erfolgt die Adaptierung auf das spezifische UI, wobei die reibungslose Kommunikation zwischen BCU und UI sichergestellt wird.

Der Not-Aus der Gesamtanlage und der jeweilige Not-Aus an den UI's muss auf einwandfreie Funktion geprüft und dokumentiert werden, ehe weitere Tests durchgeführt werden.

Sobald dies erfolgt ist, können Ladetests mit Fahrzeugen zum Ende einer Inbetriebnahme erfolgen.

Im Folgenden sind Abbildungen der Standorte zu sehen.



Abbildung 61 Bedieneinheit 200 A BMW Aschheim



Abbildung 62 Bedieneinheiten 200A (links) und 500A (rechts) BMW Aschheim



Abbildung 63 Bedieneinheiten 500 A (links) und 200 A (rechts) Porsche Weissach



Abbildung 64 Bedieneinheiten 500 A (links) und 200 A (rechts) Jettingen-Scheppach

4 Standortfindung und Betrieb

4.1 Standortkonzept

Standortkonzept

Die Ladeinfrastruktur wurde an bereits geplanten Standorten des Projekts SLAM installiert. Als optimalem Standort für das Projekt ergab sich der Eurorastpark in Jettingen-Scheppach an der A8 zwischen Stuttgart und München. Er liegt zwischen den Standorten von BMW/Siemens und Porsche und kann somit optimal für Testfahrten und Ladungen genutzt werden.

An dem Standort war bereits ein ausreichend dimensionierter Mittelspannungstransformator vor Ort vorhanden.

Prüfung Feinplanung

Mit Hilfe eines Planungsbüros wurden Pläne für den Umbau des Standortes Jettingen-Scheppach erstellt.



Abbildung 65 3D Model des geplanten Standortes

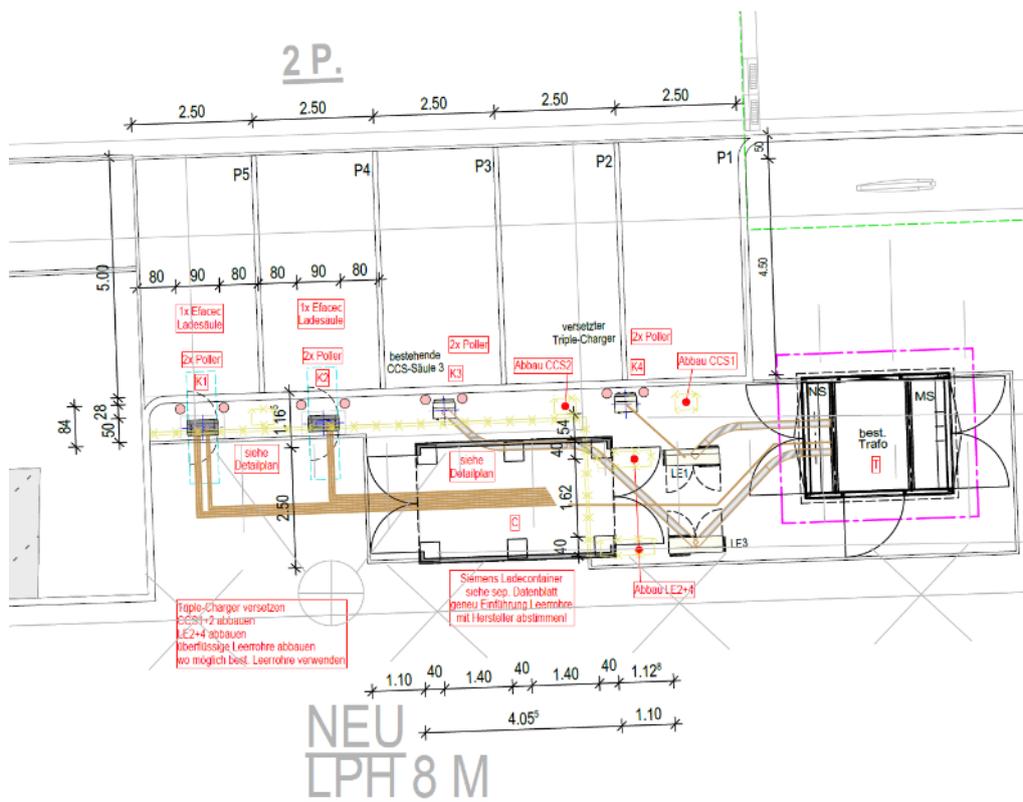


Abbildung 66 Standortplanung Umbau Jettingen-Scheppach

Diese Pläne wurden dem Bauamt zur Genehmigung vorgelegt. Die Notwendigkeit einer Baugenehmigung wurde in der zuständigen Behörde mehrmals diskutiert. Lange Zeit war unklar, ob überhaupt eine Baugenehmigung benötigt wird und wenn ja, ob diese dann genehmigt werden kann. Der Hauptdiskussionspunkt war die Aufstellung des Energiecontainers. Final wurde der Umbau des Standortes ohne Notwendigkeit einer Baugenehmigung freigegeben.

Installation

Der Installationspartner muss in der Lage sein, sämtliche Arbeiten an dem Standort nach finaler Abstimmung, durchzuführen.

Dies umfasst folgende grob beschriebene Arbeitsschritte:

- Demontage der bestehenden Hardware
- Entfernung der vorhandenen Erdkabel und Fundamente
- Erstellung der neuen Fundamente (Kioske und Energiecontainer)
- Verlegung neuer Erdkabel
- Aufstellung der gesamten Hardware
- Anschluss der elektrischen Verbindungen und Kommunikationsleitungen

Erfassung technischer Betriebsdaten mit Auswertung

Zusätzlich zu den für die Abrechnung eines Ladevorganges benötigten Daten wurde ein virtueller Datenspeicher bei Allego eingerichtet, welcher mit Betriebsdaten von Siemens kontinuierlich befüllt wurde. Sämtliche Daten stehen allen Konsortialpartnern zur Verfügung. Sämtliche Ladevorgänge am Standort Jettingen-Scheppach sind darin gespeichert. Mittels dieser Daten lässt sich die Nutzung der Kioske erkennen. Im Schnitt waren es gegen Projektende drei bis vier Ladevorgänge am Tag. Ein Großteil der Ladungen erfolgte mit bis zu 50kW. Es wurden aber auch Ladungen von bis zu 150kW von nicht FastCharge Fahrzeugen aufgezeichnet. Die folgenden Ladekurven zeigen einen kleinen Ausschnitt der gewonnenen Daten. Detaillierte Auswertung und Rohdaten werden dem Förderkoordinator separat zur Verfügung gestellt.

Ladestrom in A = grün, Batterieladezustand in % = orange, Ladeleistung in kW = lila

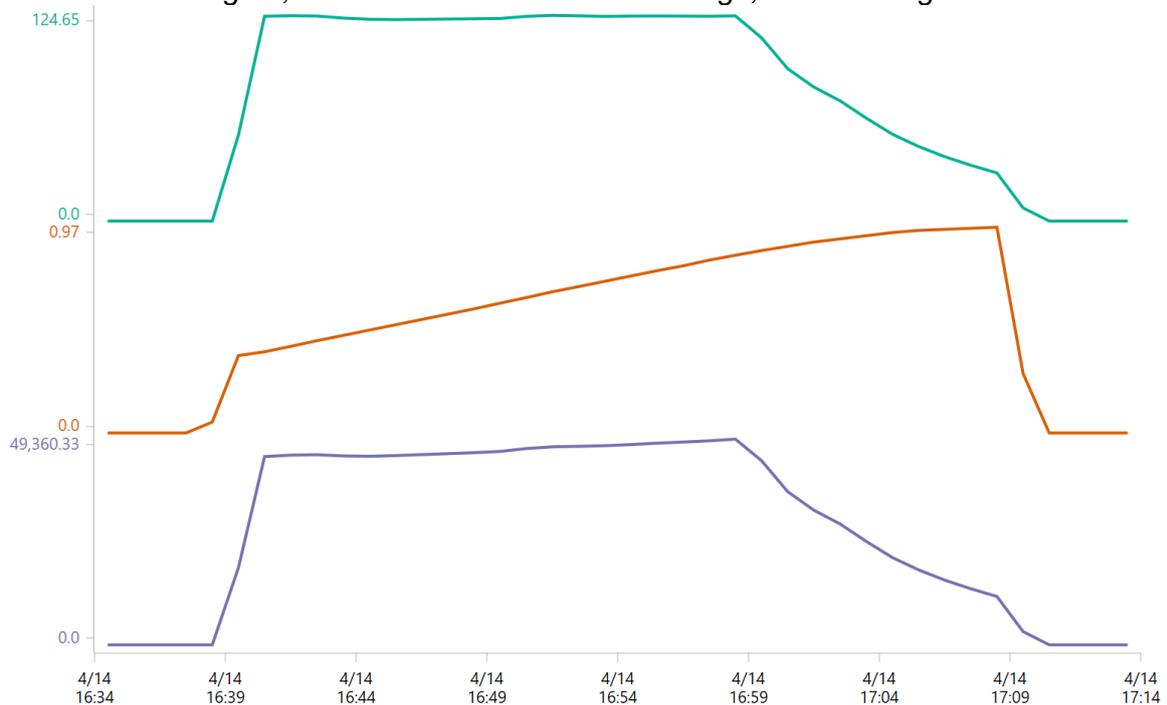


Abbildung 67 Ladevorgang 50 kW

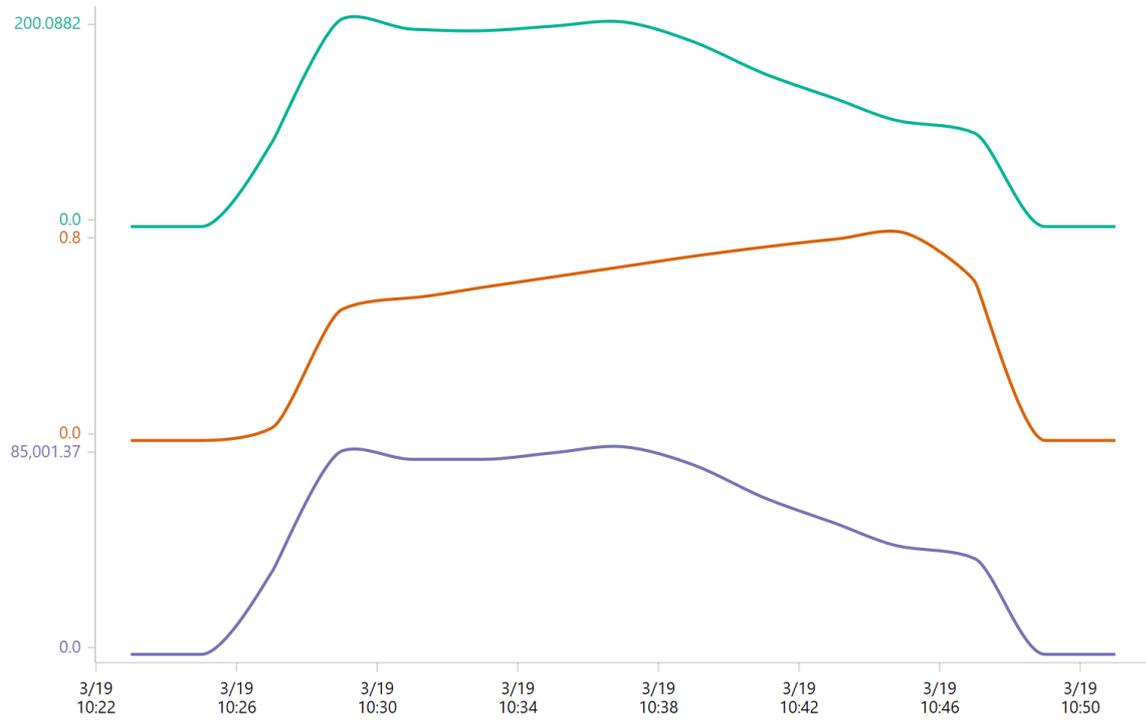


Abbildung 68 Ladevorgang 86 kW

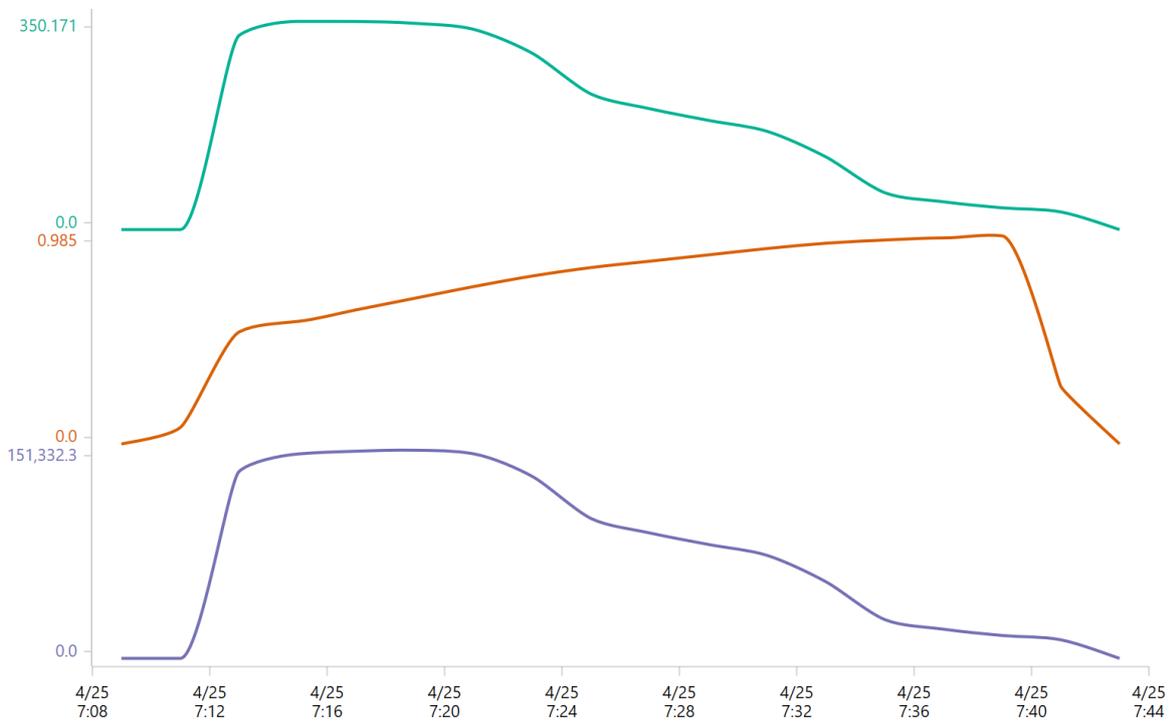


Abbildung 69 Ladevorgang 153 kW

Die Ladekurven oben (Abbildung 67, Abbildung 68, Abbildung 69) zeigen den charakteristischen Verlauf, bei dem bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung mit fast konstantem Strom / Leistung geladen wird. Danach folgt der sogenannte CV-Bereich, in dem der Strom zurückgeregelt wird, damit die Spannung nicht überschritten wird. Bei Batterien mit niedriger Ladeleistung (Abbildung 67) ist die Phase konstanter Leistung tendenziell länger.

Die Daten zeigen deutlich, dass bereits heute der Bedarf an Ladestationen mit einer Ladeleistung von mehr als 50 kW vorhanden ist.

Um den Benutzern bei möglichen Fragen und Problemen zu unterstützen steht eine Hotline für die Ladestationen in Jettingen-Scheppach 24/7 zur Verfügung.

4.2 Rollout-Konzept und Netzintegration

Mit dem signifikanten Anstieg der Leistung der Schnellladesysteme und der gleichzeitigen Erhöhung der Anzahl von Schnellladesystemen an einem Standort, steigt die Wirkung auf das örtliche Netz. Dies umfasst zwangsläufig wechselhaft hohe Lastspitzen, schnelle Änderung der aus dem Netz aufgenommenen Leistung, aber gegebenenfalls auch induktive und kapazitative Effekte. Diese Effekte gilt es für Standorte verschiedener Größen zu bewerten. Die Gesamtkosten eines deutschlandweiten Netzes aus Hochleistungsladern hängen auch vom Aufwand ab, mit dem die Geräte an das Stromnetz angeschlossen werden müssen. Die Art des Aufbaus eines solchen Netzes (enge Maschen und kleine Knoten; grobe Maschen mit großen Knoten; Mischform) und die Form des Anschlusses (z.B. Verwendung von Leistungspuffern, Gleichzeitigkeitsfaktoren) bestimmen den technischen und finanziellen Aufwand.

Fokus der Betrachtung / Kategorien Laden

Im Rahmen dieses Arbeitspakets liegt der Fokus auf Ultra-Schnellladestationen (HPC) mit Leistungen von ≥ 150 kW.

AC/DC	Leistung	Anmerkung
AC	≤ 43 kW	Konventionell
DC	50 kW	DC Quick Charge
	$\geq 150 - 450$ kW	HPC

Tabelle 3 High Power Charging (HPC) Klassifizierung

Das aktuelle Arbeitspaket konzentriert sich auf die Anforderungen und Auswirkungen des Aufbaus eines HPC-Netzwerks für die verfügbaren, HPC-fähigen Fahrzeuge.

Bedarf an öffentlichen Hochleistungsladestationen

Dieses Kapitel zeigt den verkehrsbedingten Bedarf an öffentlichen Hochleistungsladern in Deutschland für die Jahre 2025 und 2030. Der Bedarf wurde für den Zeitraum von 2018 bis 2030 untersucht und mittels dem Datenanalyse- und Modellierungstool „STELLA“ (Standortfindungsmodell für elektrische Ladeinfrastruktur) räumlich dargestellt.

Während herkömmliche Ladetechnologien (AC und DC <150 kW) lange Parkzeiten zum Aufladen von Fahrzeugen mit sich bringen, zielt ein Netzwerk von HPC -Ladesäulen darauf ab, große Fahrzeugbatterien durch hohe Leistungen, in kurzer Zeit zu laden. Damit wird die Lücke hinsichtlich Dauer und Komfort zwischen Tanken und Laden geschlossen.

Beeinflussende Faktoren

1. Hochlaufkurve Elektrofahrzeuge
2. Erwartete HPC-fähige Fahrzeuge in Deutschland
3. Speichergrößen / Reichweiten
4. Fahrverhalten der Nutzer
5. Öffentliches Ladeverhalten 2025 und 2030
6. Ladetarife/-kosten (Unterschied zwischen Laden daheim und öffentlich)
7. Geschäftsmodell (reines Laden wie heute Tanken oder Laden während Shopping o.ä.)
8. Alternative Mobilitätskonzepte (Entwicklung alternativer Antriebe, neue Mobilitätslösungen, usw.)

Hochlaufkurve Elektrofahrzeuge

Die Aufgabe, den Rollout der HPC-Infrastruktur für Deutschland zu bestimmen, beginnt mit der Abschätzung der potenziellen Anzahl von HPC-fähigen Fahrzeugen (PKW) bis 2030. Basierend auf diesen Schätzungen sowie weitere Inputgrößen wie bspw. das Fahrverhalten, werden geeignete HPC-Infrastruktur Standorte bestimmt. Die daraus resultierenden Standorte werden anschließend bewertet und kategorisiert, um eine strategische Einschätzung für den Rollout der HPC-Infrastruktur im nächsten Jahrzehnt geben zu können.

Nach Hypothese des Konsortiums, liegt der Gesamtbestand an PKW in Deutschland in 2020 bei ca. 48 Millionen. Bis 2030 wird der Fahrzeugbestand leicht zurückgehen auf ca. 46 Millionen.

Die Gesamtzahl der Elektrofahrzeuge in Deutschland⁷ ist von ca. 19.000 (davon 1.400 BEV) im Jahr 2008 auf ca. 290.000 (davon 53.900 BEV) im Jahr 2018 gestiegen. Basierend auf Literaturrecherche, Berichten und Branchenschätzungen, offiziellen Statistiken und Marktschätzungen der Partner des Konsortiums, wurde ein Überblick über den deutschen Fahrzeugmarkt entwickelt. Die Basis der Prognose bilden KBA-Daten (Bestands- und Neuzulassungsstatistiken), der CAM⁸ sowie Annahmen des FastCharge-Konsortiums. Innerhalb dieser Übersicht wurden drei verschiedene Szenarien mit unterschiedlich hohen Graden an xEV-Anteilen konzipiert: ein zentrales erwartetes Szenario mit ca. 36% der Neuzulassungen in 2030, ein konservatives contra-EV-Szenario mit 25% der Neuzulassungen in 2030 und ein progressive Szenario mit 50% der Neuzulassungen in 2030.

⁷ Bestehend aus HEV+PHEV+BEV

⁸ Bratzel, S., 2018.

Der Bestand an Elektrofahrzeugen (xEV) wird in 2030 zwischen ca. 5.2 (Contra-EV Szenario) und 9.9 (Progressives Szenario) Millionen betragen (siehe Abbildung 70).

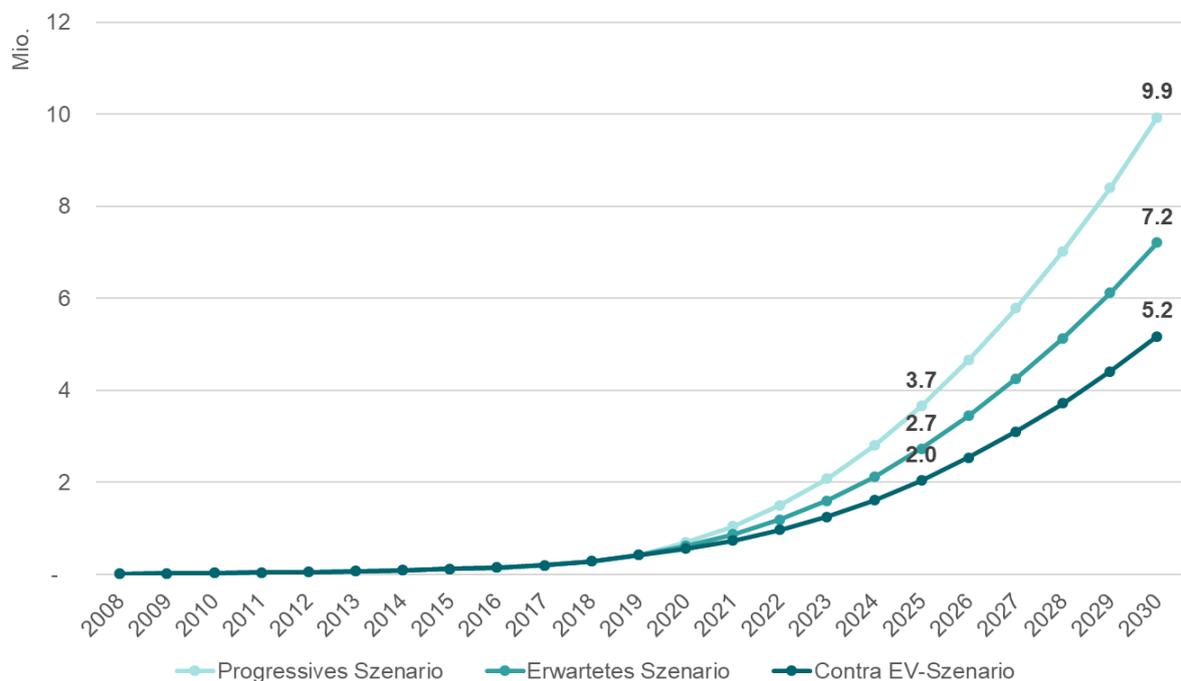
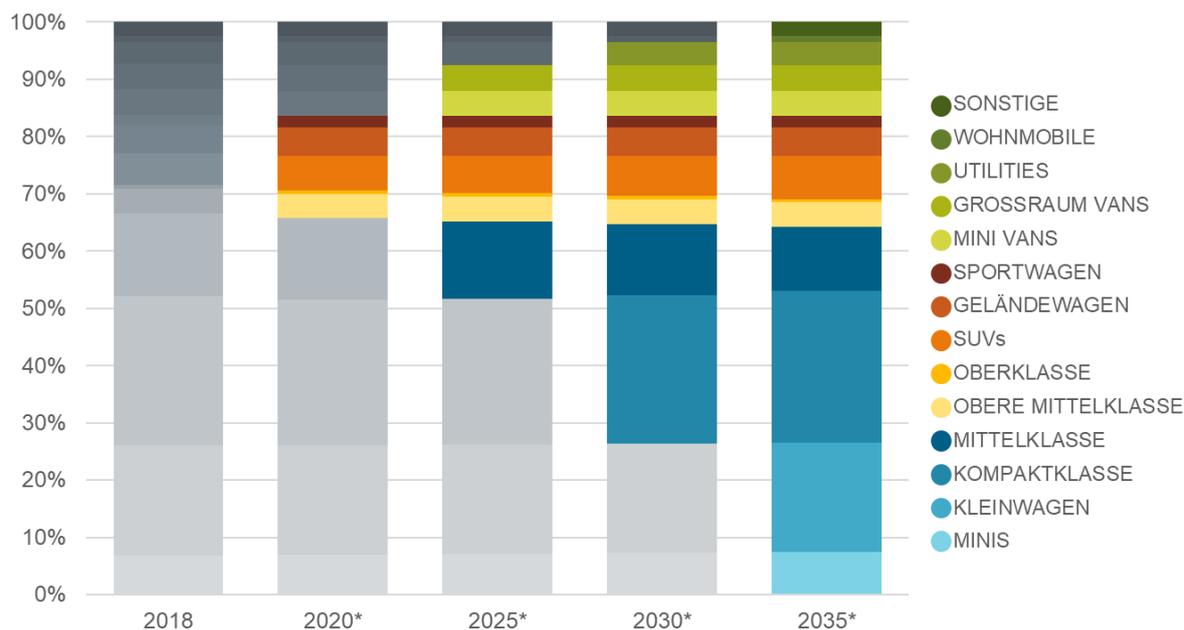


Abbildung 70 Prognostizierter Bestand der Elektrofahrzeuge (xEV) in Deutschland bis 2030

Da HPC-EVs erwartungsgemäß evolutiv entwickelt und auf den Markt gebracht werden, identifiziert eine zweite Segmentanalyse die Fahrzeugsegmente, die in den kommenden Jahren mit dieser Technologie ausgestattet werden. Die Analyse berücksichtigt die aktuellen Marktentwicklungen (z.B. steigender Anteil von SUVs vs. sinkender Anteil von Mittelklasse-Fahrzeugen) und geht davon aus, dass HPC-Fahrzeuge zunächst solche mit größeren Batterien sein werden. Erst allmählich werden auch kleinere und wirtschaftlichere Fahrzeugklassen HPC-fähig sein. Das Ergebnis ist ein potenzieller Bestand an HPC-fähigen Fahrzeugen (siehe Abbildung 71).



* Prognose, eigene Schätzung

Abbildung 71 HPC-relevante Segmente und deren prozentuale Anteile (in Farbe) $\geq 150\text{kW}$ Ladeleistung

Diese Kriterien wurden auf die oben beschriebenen Gesamtsummen der Szenarien angewendet, um in jedem Szenario zu einer Summe der erwarteten HPC-EVs zu gelangen. In Abbildung 72 sind die Ergebnisse der 3 Szenarien zu sehen: HPC-fähige BEV, die zur o.g. relevanten Segmenten gehören; BEV, die nicht HPC-fähig sind, aber zu den o.g. Segmenten gehören (Andere relevante BEV Segmente) und BEV, die nicht zu den o.g. Segmente gehören (Andere BEV) und entsprechend auch nicht HPC-fähig sind.

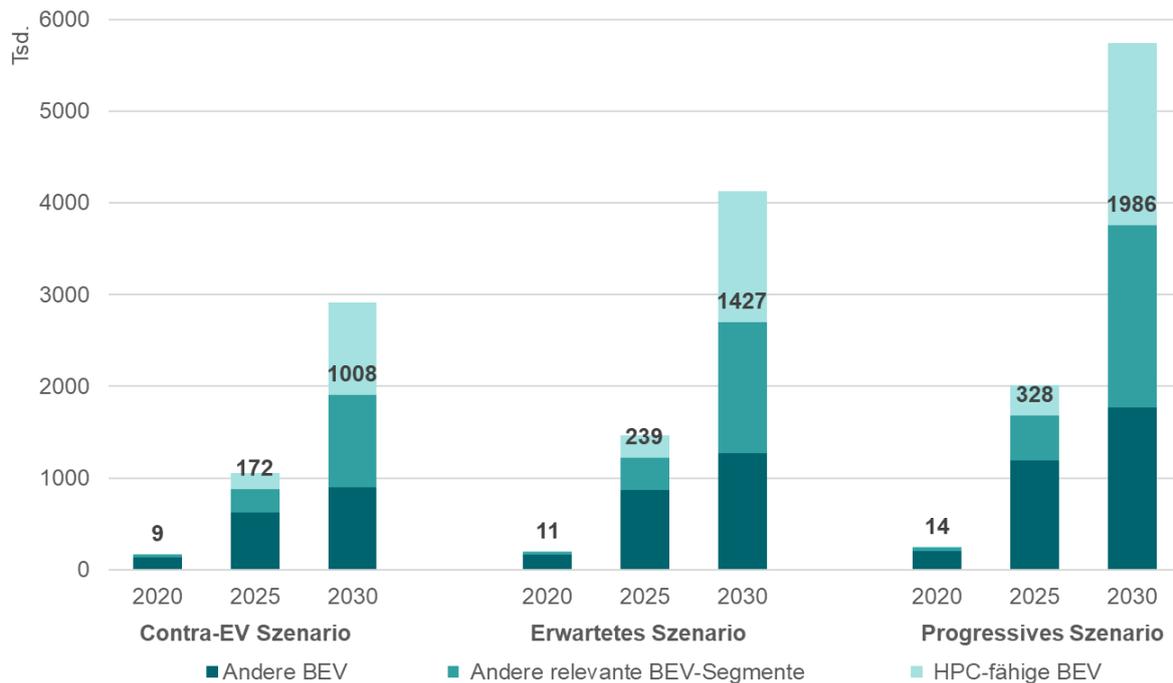


Abbildung 72 HPC-fähige BEV bis 2030 in Deutschland nach Szenario

HPC Verteilung in Deutschland

Die Verteilung der Ladeinfrastruktur in Deutschland wurde mit Unterstützung der RWTH Aachen analysiert (der ausführliche Bericht kann bei Interesse von Siemens und Allego angefragt werden). Die oben beschriebenen Annahmen wurden als Input für das RWTH-Tool STELLA verwendet, das den Bedarf an Ladeinfrastrukturen mittels räumlicher Analyse des Verkehrsnetzes (Autobahn- und Bundesstraßennetz) und verkehrserzeugenden Bedarfsstrukturen schätzt.

STELLA ermittelt den optimalen Standort der Ladeinfrastruktur durch die Definition von Suchräumen, in denen potenzielle Fahrzeuge für Langstreckenfahrten aufgeladen werden können. Die Suchbereiche werden durch die Lokalisierung der Bereiche identifiziert, in denen die Ursprungs-Ziel-Beziehungen eine Erweiterung der Batteriekapazität erfordern könnten (siehe Abbildung 73).

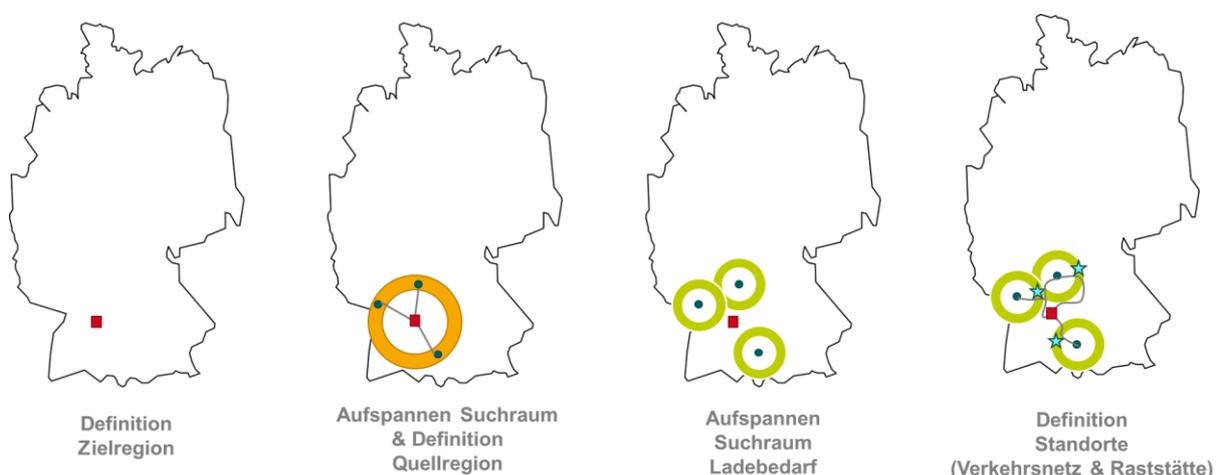


Abbildung 73 Beispiel Berechnungsmethode für Suchräume (RWTH ISB)

Die Art der Fahrten wurde entsprechend den in Kapitel 2.1 (Definition Use Cases) beschriebenen Anwendungsfällen definiert. Fünf Anwendungsfälle wurden aufgrund ihrer Repräsentativität des Potenzials der Technologie und der Eignung für die Methodik in STELLA ausgewählt:

- › **Pendler (täglich):** Oberklasse Fahrzeugsegment; ca. 250 km Hin- und Rückfahrt, direkte Fahrt; wenn möglich keine Pause
- › **Pendler (Wochenende):** Kompaktklasse Fahrzeugsegment; ca. 480 km; einfache direkte Fahrt; 1 Pause von max. 15 min
- › **Wochenendausflug:** Kleinwagen; ca. 390 km; einfache direkte Fahrt; 1 Pause von ca. 15 min
- › **Urlaubsfahrt:** Kompaktklasse; ca. 420 km; einfache direkte Fahrt; 2 Pausen von ca. 10 bzw. 30 min;
- › **Sportwagen:** Sportwagen; ca. 300 km; indirekte Rundfahrt; wenn möglich keine Pause an HPC-Ladestationen.

Die erwarteten Fahrzeugeigenschaften wurden aus den aktuellen Daten von STELLA, der Literaturrecherche und den Schätzungen des FastCharge-Konsortiums abgeleitet. So wurden die Fahrzeugsegmente in vier Kategorien zusammengefasst, mit denen die Batteriekapazität und Suchbereiche für jeden Anwendungsfall definiert wurden (siehe Tabelle 4). Die Reichweiten und Verbrauchswerte entsprechen in diesem Fall den Langstreckenfahrten auf Autobahnen bei hohen Geschwindigkeiten und nicht den normierten Werten für den Stadtverkehr.

Prognostizierte Fahrzeugeigenschaften nach Segment 2025

Seg. Gruppe	Batterie [kWh]	Verbrauch [kWh/km]	Reichweite [km]
XS	20	0.14	143
S	40	0.18	222
M	60	0.23	261
L	90	0.29	310

Prognostizierte Technologieentwicklung

Seg. Gruppe	Batterie [kWh]	Verbrauch [kWh/km]	Reichweite [km]
XS	50%	-15%	76%
S	25%	-15%	47%
M	33%	-15%	57%
L	33%	-15%	57%

Prognostizierte Fahrzeugeigenschaften nach Segment 2030

Seg. Gruppe	Batterie [kWh]	Verbrauch [kWh/km]	Reichweite [km]
XS	30	0.12	252
S	50	0.15	327
M	80	0.20	409
L	120	0.25	487

Tabelle 4 Prognostizierte Fahrzeug-Eigenschaften nach Segment und Technologieentwicklungen (RWTH und FastCharge Annahmen)

Potenzielle Fahrten innerhalb Deutschlands wurden in STELLA zusammengefasst und die Suchgebiete überlagert (siehe Abbildung 74). Das Ergebnis ist die räumliche Verteilung der Ladepunkte, die den Suchkriterien der EV-Fahrer entsprechen.

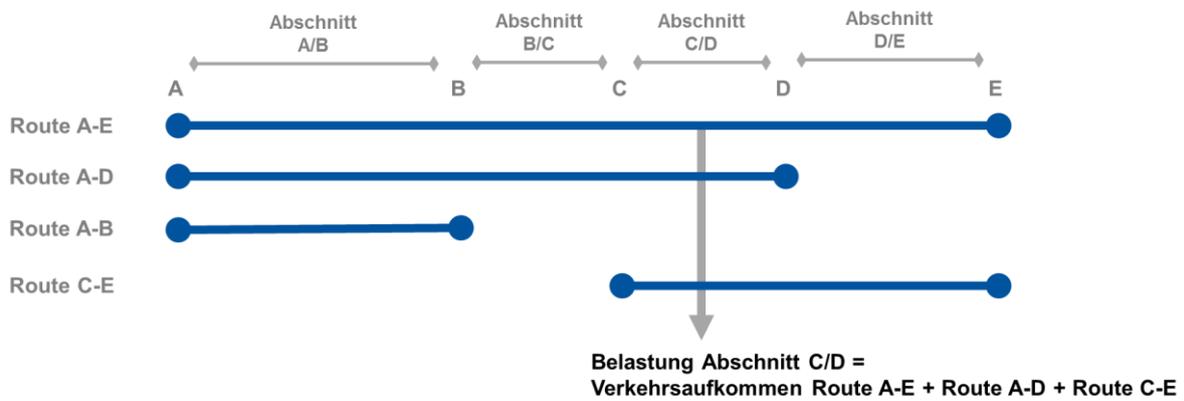


Abbildung 74 Summierung der Verkehrsnetzbelastungen, schematisch (RWTH ISB)

Die Ergebnisse der räumlichen Verteilung der Ladepunkte in Deutschland sind in den nächsten Abbildungen dargestellt. Die Verteilung und Anzahl der Ladepunkte stimmen wie erwartet gut mit dem Autobahnnetz überein. Die höchsten Dichten von Ladepunkten werden in den Regionen um die großen Ballungszentren und Ballungsräume erwartet.

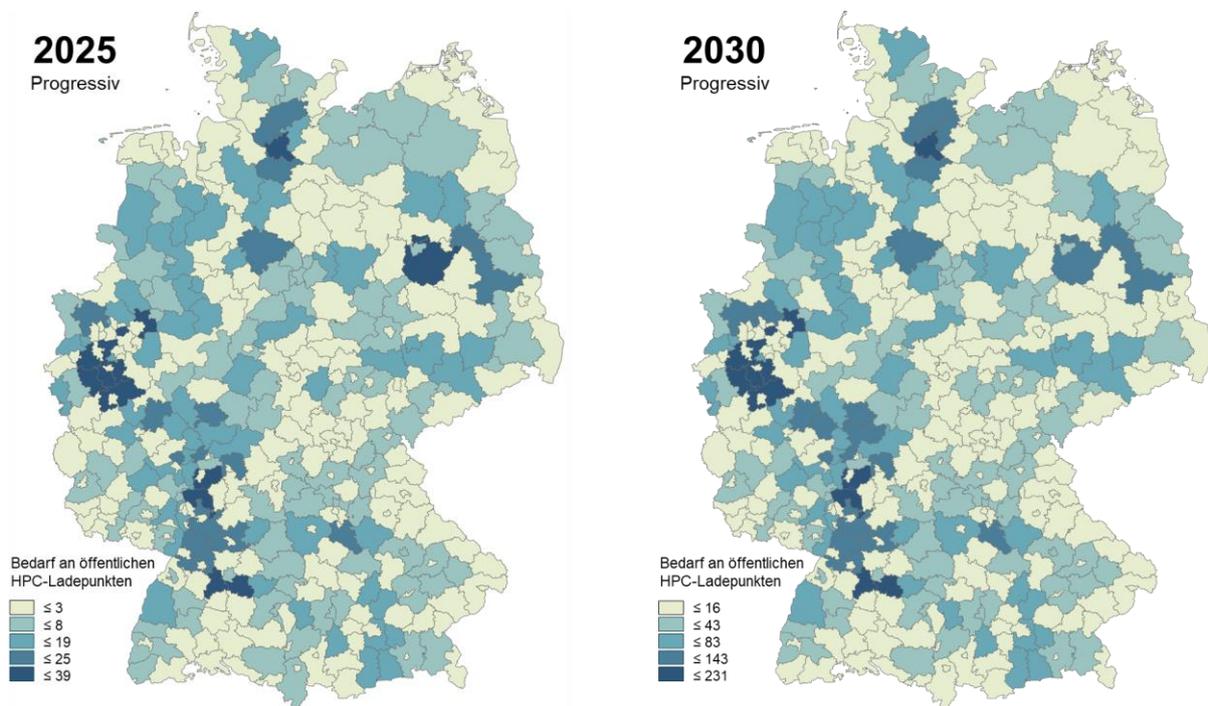


Abbildung 75 Bedarf der öffentlichen HPC-Ladepunkte für 2025 & 2030 bei progressiver Fahrzeugprognose (RWTH ISB)

Was die Gesamtzahl der Ladepunkte betrifft, so gibt die Abbildung 76 einen Überblick über die Anzahl nach den verschiedenen Prognoseszenarien. Während das Contra-EV-Szenario im Jahr 2025 für Deutschland etwas weniger als 650 Ladepunkte prognostiziert, werden für das Progressive-EV-Szenario 2.300 Ladepunkte benötigt, um die Anforderungen an HPC Fahrzeuge im Netz zu erfüllen. Für das Jahr 2030 steigen diese Anforderungen auf fast 3.200

Ladepunkte für das Contra EV-Szenario und auf fast 12.000 Ladepunkte für das Progressive EV-Szenario. Saisonale Schwankungen der Nachfrage, während der Sommerferien kann den Bedarf an Infrastruktur an diesen Spitzentagen deutlich erhöhen.

Laut den Simulationsergebnisse von STELLA sind im Jahr 2025 bundesweit durchschnittlich 5 Ladevorgänge pro Ladepunkt in der Stunde der höchsten Auslastung zu erwarten. Im Jahr 2030 sind es ca. 6 Ladevorgänge pro Ladepunkt.

Es ist anzumerken, dass sich das Verhältnis zwischen HPC-fähigen Ladesäulen und Autos nicht linear verhält, denn die Reichweiten der Autos werden in Zukunft größer, während die Verbräuche geringer werden. Somit werden in Zukunft durchschnittlich weniger Ladevorgänge und (daher proportional weniger Ladepunkte) nötig sein, um von A nach B zu gelangen.

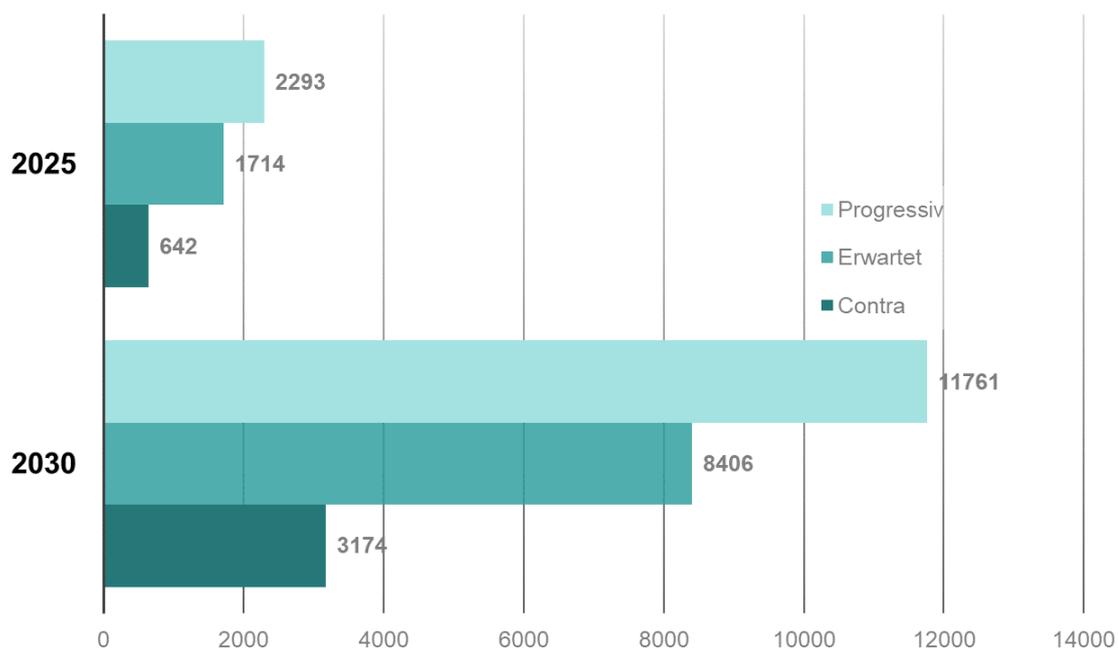


Abbildung 76 Bedarf an HPC Ladepunkten nach Szenario und Prognosejahr

Die Verteilung der Infrastruktur nach Bundesländern ist in der folgenden

Tabelle 5 ersichtlich. Die Entwicklung dieser Verteilung zwischen 2025 und 2030 ist nicht zwingend linear, da die Anforderungen der Fahrer und ihrer Bewegungsmuster sowie eine erwartete erhöhte Batteriekapazität zukünftiger Fahrzeuge die "Suchgebiete" verändern.

Bundesland	2025			2030		
	Contra	Erwartet	Progressiv	Contra	Erwartet	Progressiv
BW	93	234	308	435	1142	1596
BY	112	272	347	478	1210	1692
BE	5	19	25	37	95	133
BB	37	84	109	138	364	500
HB	3	6	7	9	28	38
HH	9	23	31	46	122	173
HE	59	192	255	353	981	1383
MV	14	23	26	40	87	122
NI	85	194	254	351	903	1258
NW	87	350	488	690	1921	2703
RP	40	114	159	208	570	796
SL	3	8	11	14	30	43
SN	31	60	81	111	282	385
ST	18	36	53	64	161	226
SH	25	70	94	135	363	510
TH	21	29	45	65	147	203
Grand Total	642	1714	2293	3174	8406	11761

Tabelle 5 Bedarf an HPC Ladepunkte nach Bundesland für die Prognosejahre 2025 und 2030

Die Verteilung kann auch auf Stadtregionen heruntergebrochen werden (siehe Abbildung 77 und Abbildung 78). Die Regionenbezeichnung kann in der Abbildung 79 „Großstadtregionen 2015“ als Referenz herangezogen werden. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von HPC-Lademöglichkeiten als Fernverkehrsoption für BEV-Fahrten, da sich der überwiegende Anteil der Infrastruktur in Überland Regionen befindet.

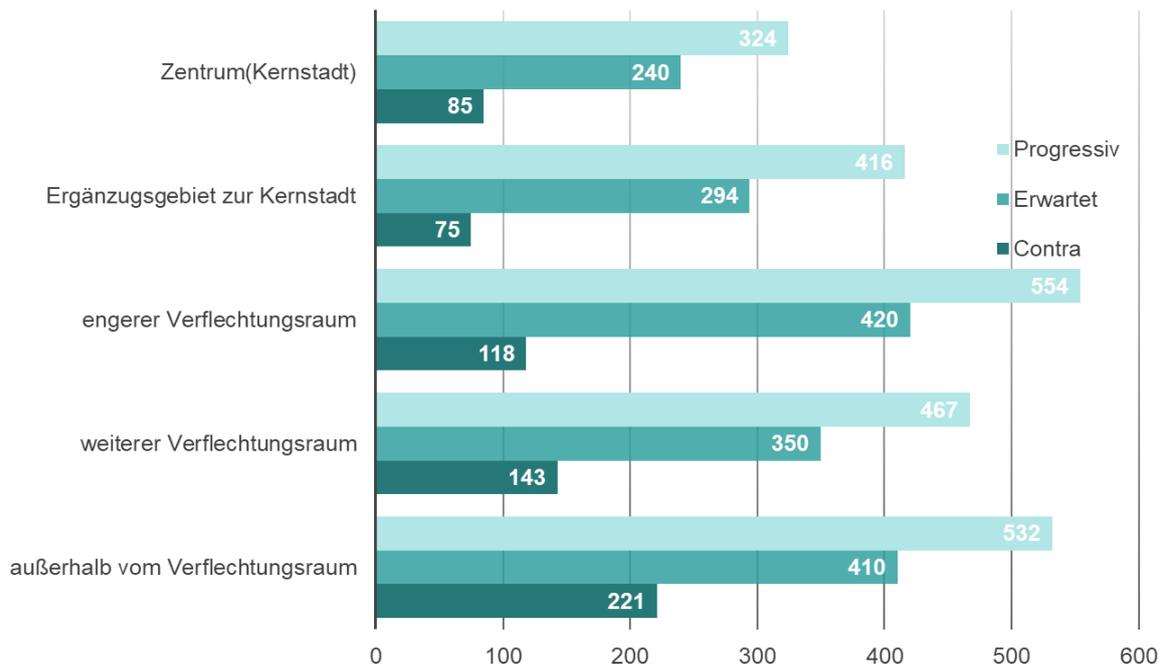


Abbildung 77 HPC Ladeinfrastrukturbedarf 2025 nach Großstadt-Region

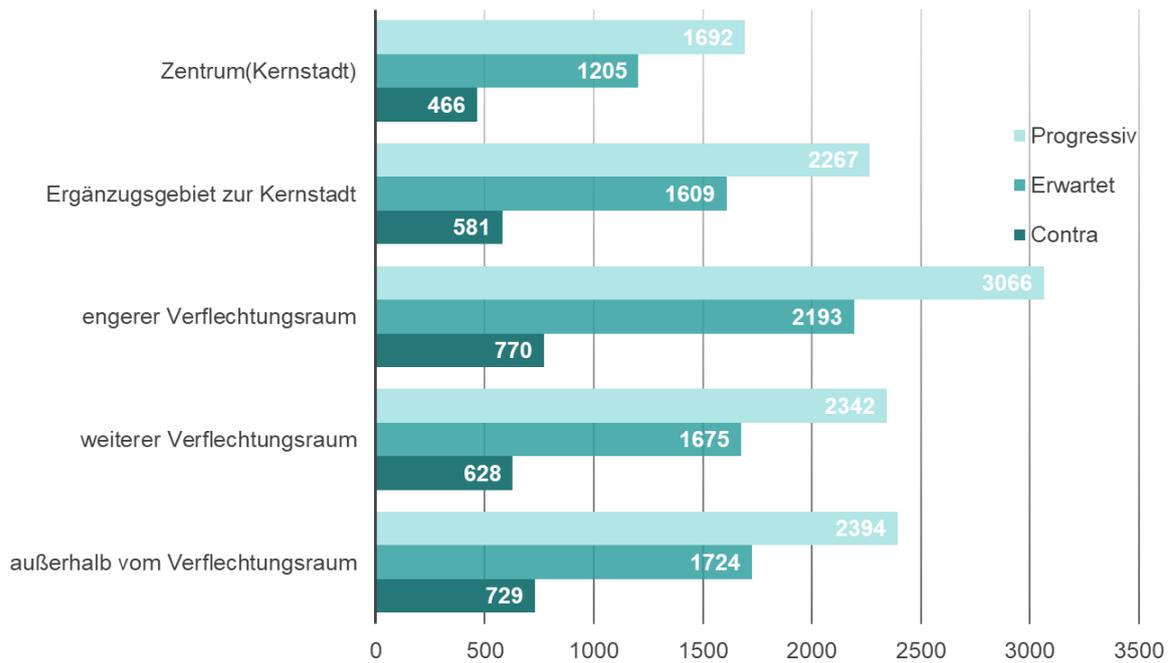


Abbildung 78 HPC Ladeinfrastrukturbedarf 2030 nach Großstadt-Region

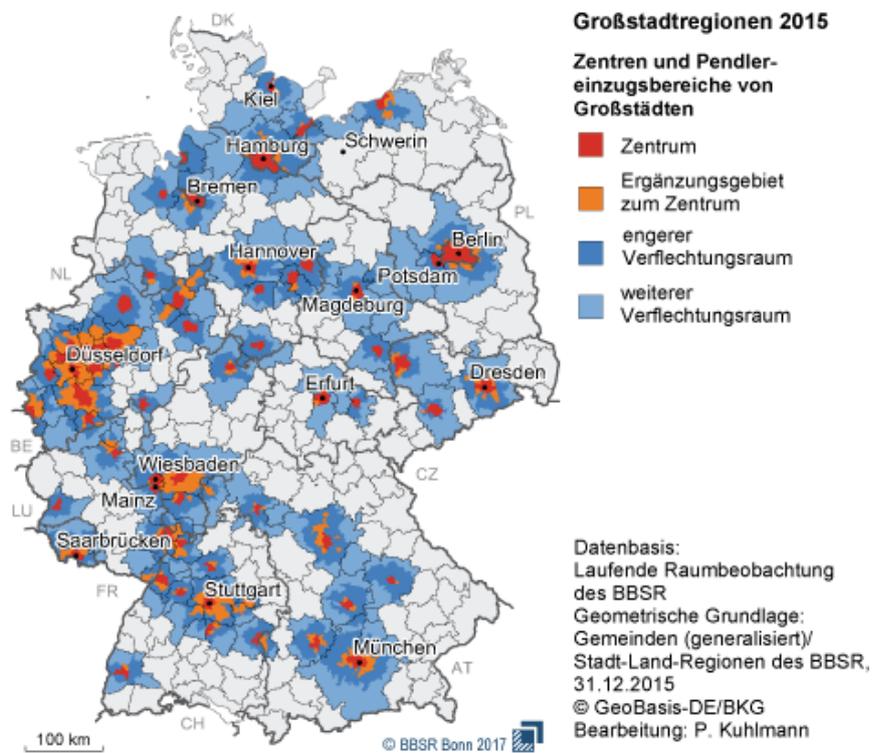


Abbildung 79 Großstadtreionen 2015 (BBSR 2017)

Eine letzte Anmerkung kann in Bezug auf die Nachfrage nach HPC-Infrastruktur für Überlandfahrten hinzugefügt werden. Die nächste Abbildung berücksichtigt den gesamten Verkehr, der innerhalb von Ballungsräumen entsteht und endet.

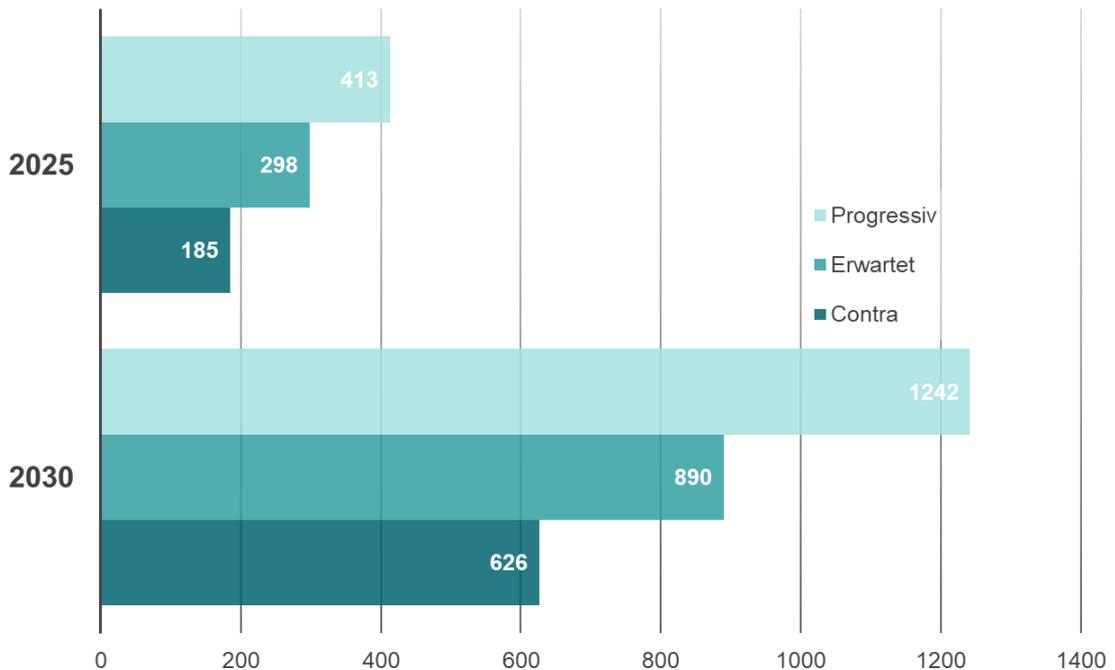


Abbildung 80 HPC Ladepunktbedarf in den Großstadt-Regionen aus dem Binnenverkehr

Öffentlicher Energie-/Ladebedarf

Der Energiebedarf und der Bedarf an Ladestationen im öffentlichen Raum, hängen neben der Anzahl der Fahrzeuge, auch von deren Speichergröße sowie dem Fahr- und Ladeverhalten der jeweiligen Nutzer ab. Dieses Verhalten wird insbesondere durch die Preis- und Geschäftsmodelle beim öffentlichen Laden beeinflusst. In Abhängigkeit der Anzahl der vorhandenen Fahrzeuge werden in diesem Abschnitt die progressiven Szenarien für 2025 und 2030 dargestellt. Der Bedarf an Ladestationen fällt regional stark unterschiedlich aus.

Die Ergebnisse von STELLA ermöglichen es, den Energiebedarf für das HPC-Ladennetz in Deutschland zu berechnen. Für das progressive Szenario 2025 wurden insgesamt 121.835 HPC-Ladevorgänge pro Tag und 684.833 für 2030 abgeleitet⁹. Die Auswirkungen dieses täglichen Bedarfs, wie er über den Tag verteilt ist, unter Verwendung der aktuellen täglichen Verkehrsverteilung, sind in Abbildung 81 dargestellt. Das Ergebnis ist eine Vereinfachung der Ladevorgänge, wie sie für STELLA Auswertungen verwendet wird. Die Dauer der Sitzung ist bei 350 kW durchschnittlich auf 7,5 Minuten festgelegt.

Da die Ladevorgänge kurz genug sind, um die normalen Fahrtstrecken nicht zu beeinträchtigen oder zu verändern und da davon ausgegangen wird, dass sich die Ladeinfrastruktur auf dem Weg zu den meisten Fahrten befindet, kann davon ausgegangen werden, dass die Zeiten des höchsten Verkehrs mit den Zeiten der häufigsten Ladevorgängen übereinstimmen. Das Ergebnis sind Spitzenbedarfe von 539 MW gegen 18 Uhr im Jahr 2025 und 3029 MW im Jahr 2030 für Progressives Szenario. Sekundäre Spitzen von 462 MW bzw. 2598 MW sind um etwa

⁹ Erwartetes Szenario: 87.746 in 2025 und 484.822 in 2030; Contra EV bzw. 17.921 und 175.172.

14 Uhr entsprechend zu erwarten. Die Nachfrage je nach Bundesland kann in Tabelle 6 unten eingesehen werden.

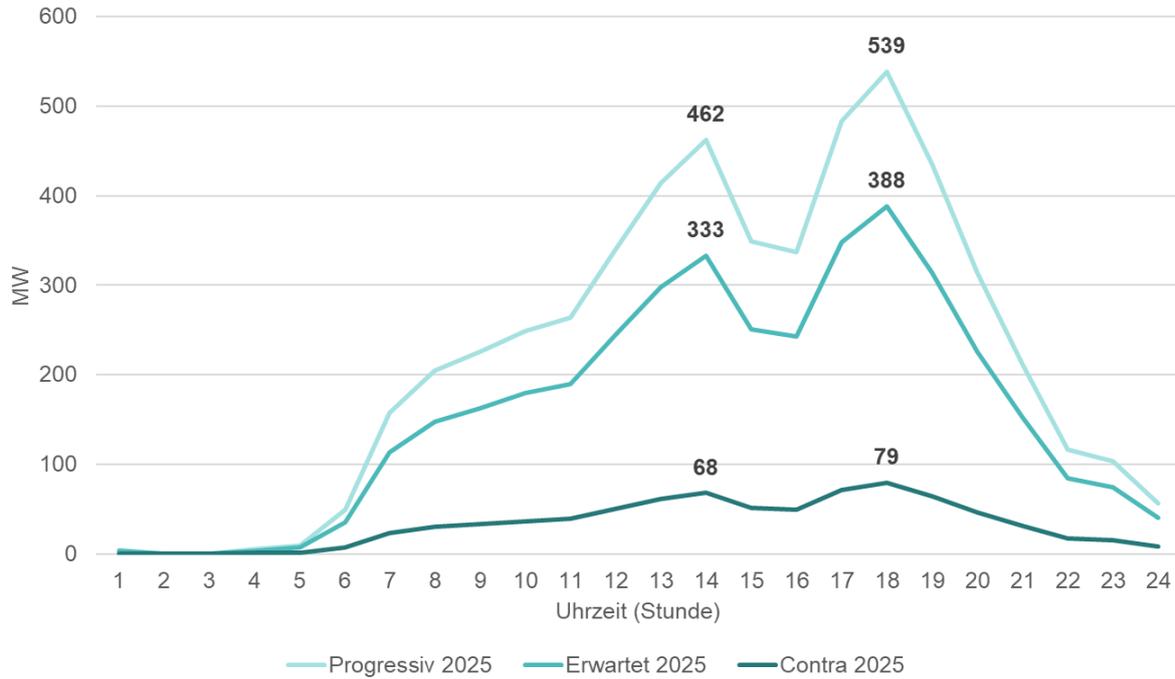


Abbildung 81: Erwartete Leistungsnachfrage während des Tages für HPC Infrastruktur in Deutschland nach Szenario, 2025

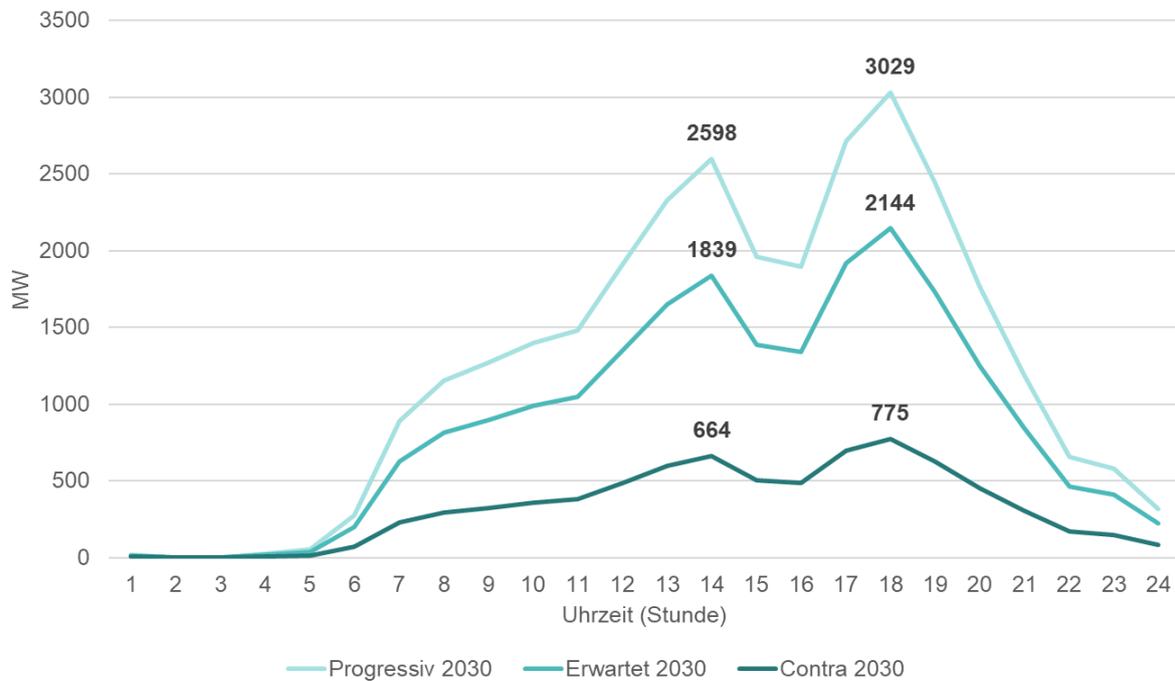


Abbildung 82: Erwartete Leistungsnachfrage während des Tages für HPC Infrastruktur in Deutschland nach Szenario, 2030

Bundesland	HPC Ladeverbrauch pro Tag 2025 [MWh]	Spitzenverbrauch 2025 [MW]	HPC Ladeverbrauch pro Tag 2030 [MWh]	Spitzenverbrauch 2030 [MW]
BW	527	53	2892	292
BY	560	57	3022	305
BE	45	5	243	25
BB	163	17	893	90
HB	11	1	66	7
HH	54	5	312	32
HE	437	44	2504	253
MV	43	4	216	22
NI	411	42	2256	228
NW	871	88	4929	498
RP	254	26	1429	144
SL	18	2	78	8
SN	135	14	693	70
ST	77	8	396	40
SH	163	16	926	94
TH	70	7	356	36
Gesamt	3839	388	21211	2144

Tabelle 6 Erwarteter täglicher Energiebedarf und Spitzenverbrauch nach Bundesland (Erwartetes Szenario)

Standortkonzept zur Installation von High-Power-Ladeinfrastruktur in Deutschland

Dieser Abschnitt enthält ein übergeordnetes Standortkonzept. Es wird beschrieben, welche Maßnahmen für die Verwirklichung eines Standortes (von der Identifikation bis zur Inbetriebnahme) notwendig sind. Neben den operativen Schritten werden auch die strategische Planung (Wo befindet sich für welches System der beste Standort) und die Kostenunterschiede betrachtet. Der Ausbau der High-Power-Ladeinfrastruktur und deren Nutzung durch den Kunden hängen zudem sehr vom Geschäftsmodell ab. Hier werden mögliche Anreizsysteme und Infrastrukturmodelle beschrieben. Das Kapitel enthält Angaben zu verschiedenen Standortmodellen.

HPC-Ladepunkte werden in erster Linie durch ihre Lage in Bezug auf Stadtzentren und Infrastruktureinrichtungen definiert. Somit können die bestimmenden Faktoren für ihre Machbarkeit und Anwendbarkeit zusammengefasst werden:

1. **Platzbedarf:** Die geplanten Ladestationen sind als System mit 4 Ladepunkten und einem Leistungselektronik-Container vorgesehen. Der Platzbedarf ist abhängig von der Konfiguration (mehr oder weniger Ladepunkte sind möglich¹⁰). Das Equipment muss aber innerhalb von geeigneten Standorten untergebracht werden. Die erste Wahl sind Tankstellen an Autobahnen und Bundesstraßen, wo Platz für zusätzliche Ladestationen vorhanden ist. Komplikationen entstehen in dicht bebauten Stadtgebieten, wo es entscheidend ist, genügend Platz für die Leistungselektronik zu finden. Mittel- und langfristig kann die Frage nach dem Platz für die Ladeinfrastruktur durch den Rückbau der Infrastruktur für fossile Brennstoffe zum Teil beantwortet werden. Eine Technologie könnte die andere ergänzen. An manchen Stellen, wo heute noch Zapfsäulen stehen, sind in Zukunft möglicherweise Ladestationen denkbar.

¹⁰ Abgeleitet von den STELLA Ergebnissen, sind in der Spitzenstunde 5 Ladevorgänge pro Ladepunkt im progressiven Szenario 2025 in Durchschnitt zu erwarten und 6 beim progressiven Szenario 2030.

2. **Mittelspannungsnetzanschluss:** Der unmittelbare oder einfache Zugang zu Mittelspannungsleitungen ist ein kritischer Faktor, der die Machbarkeit einer HPC-Ladestation mitbestimmt. Die Kosten und der Aufwand für den Anschluss der Ladestation an das Mittelspannungsnetz steigen erheblich, wenn die elektrische Infrastruktur nicht direkt vor Ort verfügbar ist.
3. **Netzkapazität:** Ein stark regionales Problem, gerade bei Bedarfsspitzen, ist die Kapazität des elektrischen Netzes zur Versorgung von HPC-Stationen. Ergänzende Technologien wie Energiespeicher in Verbindung mit der HPC-Infrastruktur können sich als geeignet erweisen, um Spitzenbelastungen abzufedern und zusätzliche Kapazitäten bereitzustellen.
4. **Zusatzleistungen:** Der Betrieb von HPC-Ladestationen muss sich mittel- bis langfristig wirtschaftlich selbst tragen. Die Business Cases vieler Standorte müssen weiter optimiert werden, um kostendeckend sein zu können. Ähnlich wie das Geschäfts- und Betriebsmodell der heutigen Tankstellen könnte die HPC-Infrastruktur von zusätzlichen Einnahmequellen profitieren, um sich zu finanzieren. Die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit sind noch gravierender bei Ladevarianten mit geringerer Leistung und längeren Leerlaufzeiten.

Infrastruktur Rollout

Basierend auf den Ergebnissen der Infrastrukturnachfrage aus STELLA, kann ein bundesweites Ausbauprogramm abgeleitet werden.

Der progressive Aufbau der HPC-Infrastruktur folgt dem erwarteten exponentiellen Wachstum der BEV und ihrer HPC-Nachfrage (Abbildung 83 und Abbildung 84). Die im Rahmen dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse über die Lage in den Ballungsräumen (Abbildung 77, Abbildung 78, Abbildung 80) zeigen, dass eine Bebauung dieser Räume von der Peripherie beginnend Richtung Zentrum sinnvoll erscheint. Auf diese Weise würden zunächst die Standorte abgedeckt, welche die oben beschriebenen Auswahlkriterien erfüllen. Mit zunehmender Marktentwicklung und einer EV-Technologie die Ladeleistungen von >350kW erlaubt, könnte das Netzwerk seine Lücken in Richtung dichter Stadgebiete schließen.

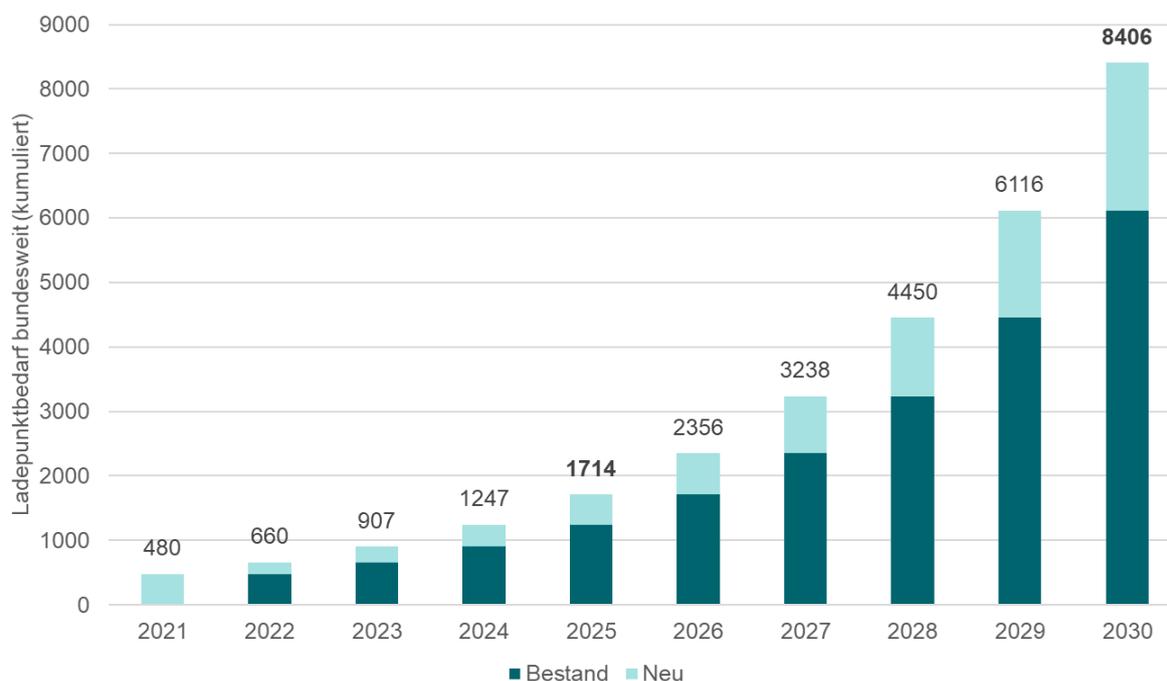


Abbildung 83: HPC-Ladepunktbedarf in Deutschland bis 2030 (Erwartetes Szenario)

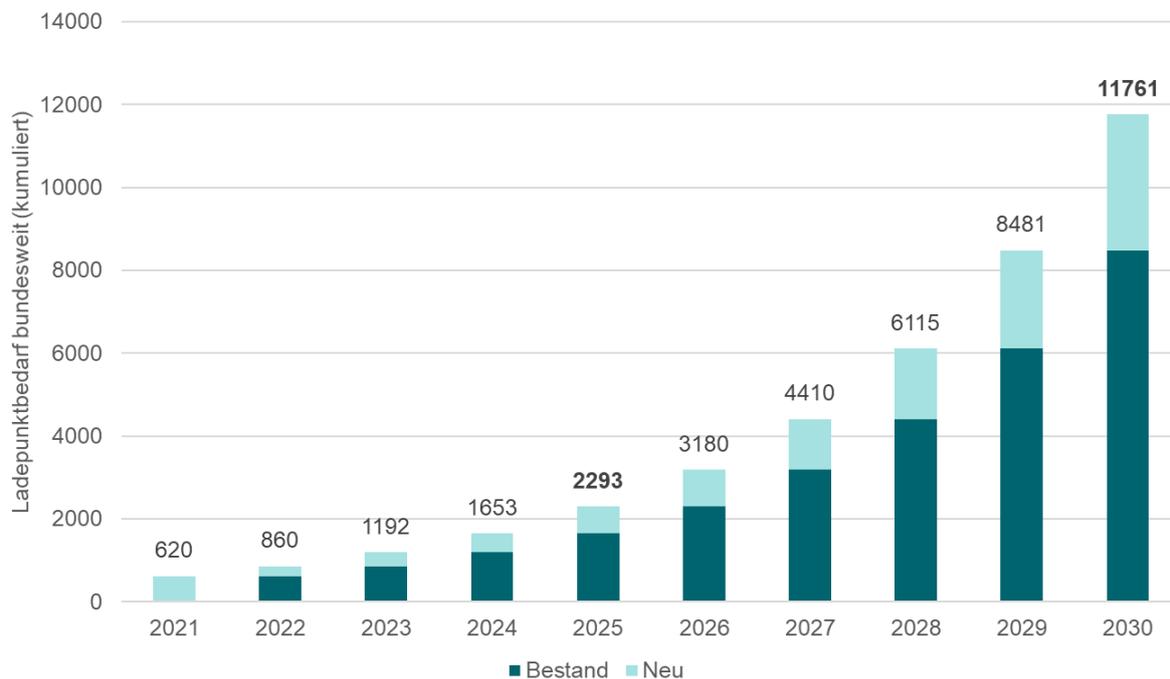


Abbildung 84 HPC-Ladepunktbedarf in Deutschland bis 2030 (Progressives Szenario)

Eine prognostizierte Verteilung nach Bundesländern wird in Tabelle 7 dargestellt.

Bundesland	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BW	65	89	122	168	230	316	435	598	822	1129
BY	73	100	137	189	259	356	490	673	926	1272
BE	5	7	10	14	19	26	35	49	67	92
BB	23	31	43	59	81	112	154	212	291	400
HB	1	2	3	4	5	7	10	14	19	26
HH	6	9	12	17	23	32	44	60	83	114
HE	53	73	101	139	191	262	360	495	680	935
MV	5	7	10	14	19	27	37	50	69	95
NI	53	73	101	138	190	261	359	493	677	931
NW	102	141	193	265	365	501	689	947	1302	1789
RP	33	46	63	86	119	163	225	309	424	583
SL	2	3	4	6	8	11	16	21	29	40
SN	17	23	32	44	61	83	114	157	216	297
ST	11	15	21	29	40	54	75	103	141	194
SH	20	27	37	51	70	97	133	182	251	345
TH	9	13	18	24	34	46	64	87	120	165
Gesamt	480	660	907	1247	1714	2356	3238	4450	6116	8406

Tabelle 7 Vorschlag für ein bundesweite HPC-Ladeinfrastruktur Rollout je Bundesland (Ladepunkte, Erwartetes Szenario)

Abgeleitet von den erwarteten Ladevorgängen der drei Szenarien wurde eine Prognose des möglichen jährlichen Erlöses durch ein bundesweites HPC-Netz abgeleitet¹¹ (Abbildung 85).

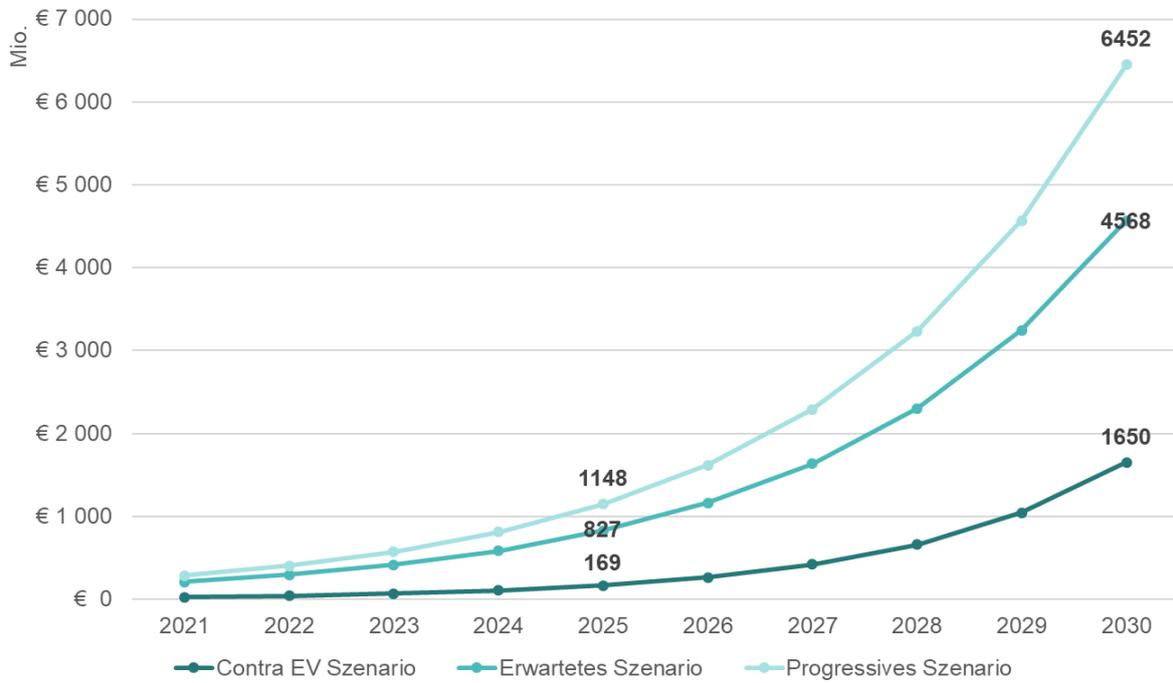


Abbildung 85 Theoretisches Erlöspotenzial

¹¹ Angenommen wurde ein Verkaufspreis von 0.59 € / kWh

5 Forschungsfahrzeug BMW

Im Rahmen des FastCharge Projektes hat man sich bei BMW bewusst für ein Forschungsfahrzeug (Abbildung 86) auf Basis eines BMW i3 entschieden. Aus Gesamtprojektsicht liegt der Vorteil darin, dass man einen großen Fahrzeugbereich abdeckt, da die Schnellladetechnologie sowohl im Segment des kleineren i3 als auch bei Porsche im Sportwagensegment erprobt wird. Das Ultra-Schnellladen eines Fahrzeugs mit kleinen Abmessungen und geringem Bauraum stellt eine enorme Herausforderung dar. Hier liegt die Zielsetzung im Rahmen des Projekts nicht primär auf der Realisierung möglichst hoher Ladeleistungen, sondern auf der Erzielung einer möglichst hohen Leistungsdichte. Konkret wurden die Zielvorgaben einer Peakladeleistungsdichte von 800 W/l erreicht. Diese außerordentliche Leistungsdichte entspricht dem 2,5-fachen aktueller Serien-Hochvoltspeicher. Außerdem herausragend: Das FastCharge Fahrzeug benötigt 15 Minuten für einen Schnellladevorgang (10% - 80% SoC).



Abbildung 86 Forschungsfahrzeug BMW in Jettingen-Scheppach

Die Verwendung eines Serienmodells als Forschungsfahrzeug bietet außerdem den Vorteil, dass die Forschung realitätsnahe Ergebnisse liefert. Zudem ist die Technologieabsicherung zu einem frühen Zeitpunkt sichergestellt.

5.1 Gesamtkonzept

Das Gesamtkonzept sieht vor, ein Basisfahrzeug mit 400 V Systemspannung (Serien-i3) so zu befähigen, dass eine deutlich verringerte Ladedauer bei gleichzeitiger Erhöhung der elektrischen Reichweite erzielt werden kann. Während die Systemspannung auf 400 V bleibt, soll über 800 V geladen werden. Dieses Mehrspannungsnetz im Fahrzeug wird durch die Integration eines Spannungswandlers (HV-DC/DC) umgesetzt (Abbildung 87).

Hinsichtlich des Kühlkonzepts wurde die Serienkühlung um die Umfänge des Forschungsfahrzeugs (Niedertemperaturkreislauf und Kältekreis) erweitert und geometrisch integriert.

Ebenso wurde das Hochvolt-Bordnetz unter Berücksichtigung der Biegeradien integriert. Der HV-Architekturmaster wurde erstellt und nach einer Architekturänderung (Berührschutz) modifiziert. Die Antriebstopologie wurde auf Basis des Serienfahrzeuges modifiziert. Sie musste durch einen Zellwechsel des Serien i3 zu FastCharge-fähigen Zellen neu gefittet werden. Auf Basis der Bauraummodelle für alle Komponenten wurde die Integration der Hauptkomponenten bestätigt.

Die Komponenten wurden überschneidungsfrei im virtuellen Prototyp integriert. Die Inbetriebnahme des DC/DC-Teilsystems wurde durch einen Versuchsaufbau an einem internen Ladesystemprüfstand realisiert. Dabei stehen die Regelung HV-DC/DC mit der Ladesäule sowie die Vorladung im Fokus. Die Aufbauanleitung für das Fahrzeug wurde erstellt und anhand des virtuellen Fahrzeuges durchgesprochen. Neben detaillierten CAD-Modellen liegt auch der Strukturbaum der CAD Modelle vor. Die Stückliste wurde ausgeleitet und Positionen für den Aufbau bestellt.

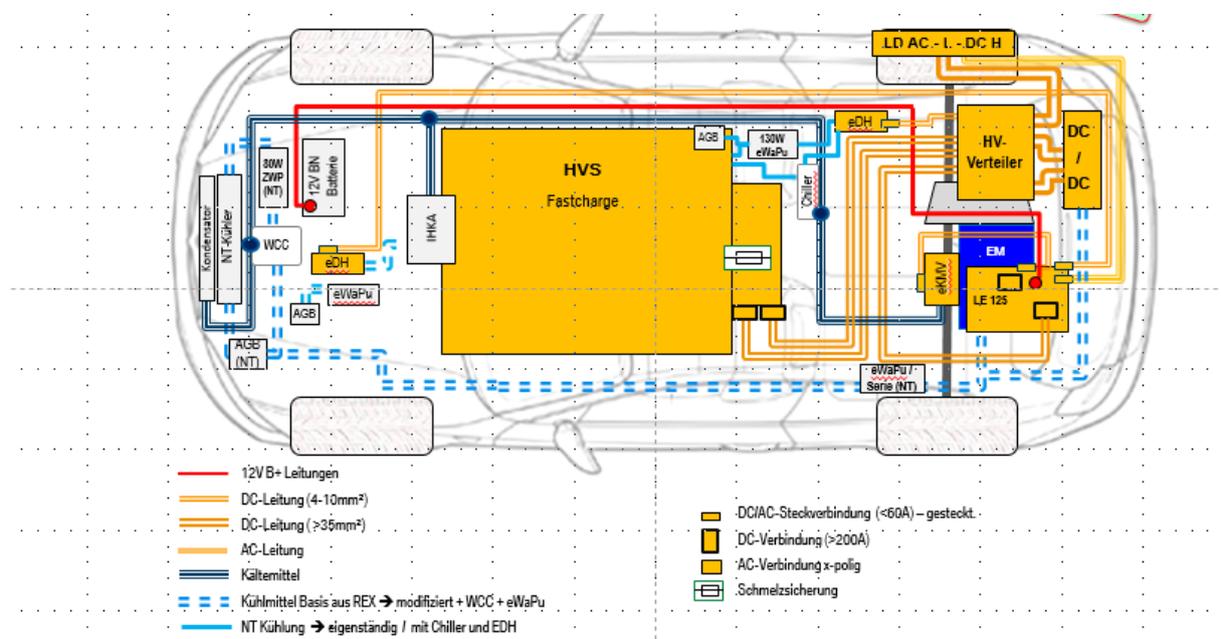


Abbildung 87 Fahrzeugkonzept

Folgende Komponenten und Teilsysteme wurden im Rahmen des Förderprojektes neu entwickelt bzw. modifiziert (Abbildung 88):

Komponenten:

- Entwicklung und Integration eines schnellladefähigen Hochvoltspeichers
- Entwicklung und Integration eines 800 V Spannungswandlers mit Silizium-Carbid (SiC)
- Technologie (Mehrspannungsnetz, Laden über DC/DC) in 2 Entwicklungsstufen
- Mehrspannungs - Hochvolt-Stromverteiler mit integrierten Ladeschützen
- Hochstrom - Ladedose mit integrierter Temperaturüberwachung

Teilsysteme:

- Auslegung und Integration Kühl – und Kältekreislauf
- Auslegung und Integration physisches Hochvoltbordnetz
- Funktionssicherheitskonzept
- Technisches Sicherheitskonzept

Alle für den Betrieb des Forschungsfahrzeuges benötigten Software-Funktionen wurden auf einem Rapid Prototyping Steuergerät umgesetzt.

Um ein effektives Testing zu gewährleisten, sieht das Fahrzeugkonzept vor, dem Hochvoltspeicher die geladene Energiemenge durch eine fahrzeugseitig integrierte Rückspeisemöglichkeit in das öffentliche Stromnetz zu entnehmen. Das Forschungsfahrzeug entspricht trotz aller für dieses Projekt entwickelten Innovationen höchsten Funktions- und Sicherheitsstandards, sodass erfolgreich eine Straßenzulassung beantragt werden konnte.

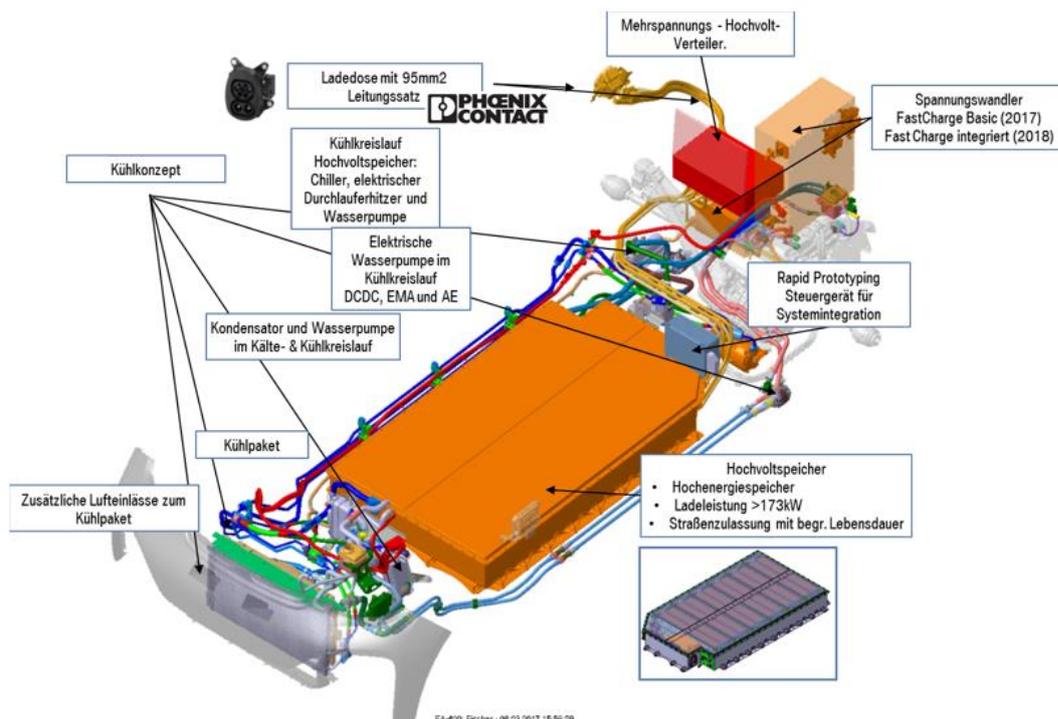


Abbildung 88 Explosionsdarstellung FastCharge Forschungsfahrzeug

Forschungsschwerpunkte im FastCharge Forschungsfahrzeug

Die in der Gesamtvorhabenbeschreibung angegebenen Ladeleistungsdichte und Ladedauer wird entsprochen. Die bei der Erforschung dieser Grenzpotentiale auftretenden Herausforderungen wurden ermittelt und dokumentiert.

Diese lassen sich hinsichtlich DC-Ultra-Schnellladen in folgende Bereiche einteilen:

- Ermittlung des Schnelllade-Stromprofils auf Zellbasis, Auswahl der geeigneten Zellen und Übertrag des Stromprofils auf den Hochvoltspeicher
- Entwicklung einer Betriebsstrategie für DC-Ultra-Schnellladen
- Validierung des Kühl- und Kältekreisconzepts, Untersuchung Abfuhr der Verlustleistungen aus dem Fahrzeug
- Erforschung der Kühlstrategie
- thermische Untersuchungen, Temperaturentwicklung auf Komponenten- und Systemebene
- Laden über DC/DC, Erforschung der Regeldynamiken zwischen Fahrzeug und Ladesäule (Spannungsregelung, Stromregelung)
- Stromtragfähigkeit der Phoenix Contact – Ladedose von 500 A beim Laden mit 400 V

Für die Umsetzung des Fahrzeugkonzeptes im Rahmen des FastCharge Projektes wurden Komponenten spezifisch neu entwickelt (Abbildung 89).

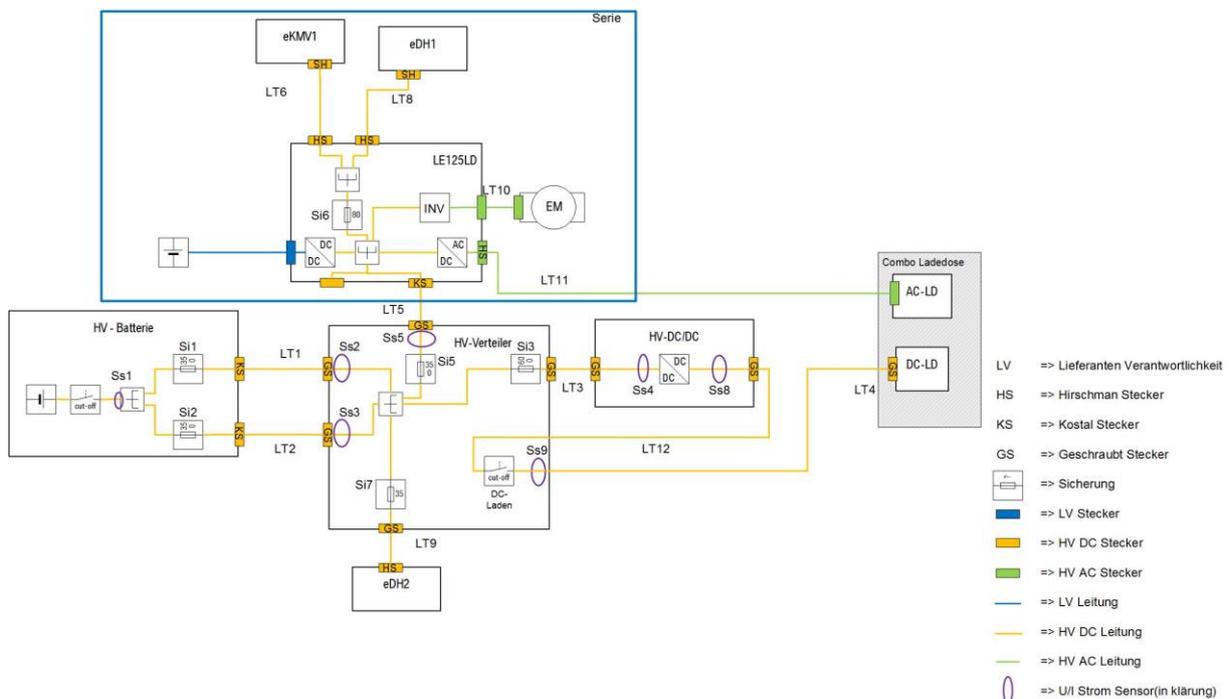


Abbildung 89 Hochvoltarchitektur FastCharge Forschungsfahrzeug

5.2 Bidirektionaler Spannungswandler (HV-DC/DC)

Basierend auf SiC - Technologie werden in zwei Entwicklungsphasen 4-phasige Spannungswandler mit einer maximalen Leistung von 200 kW und einer Stromtragfähigkeit von 500 A entwickelt (Abbildung 90).

HV-DCDC - FASTCHARGE PROTOTYP DESIGN

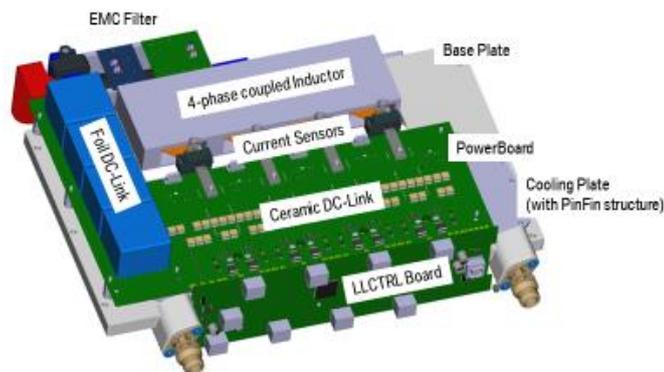


Abbildung 90 Hochvolt – Spannungswandler

Während das erste Funktionsmuster am Prüfstand Verwendung findet bzw. im Kofferraum stehend verortet werden muss (Abbildung 91), wird der in der zweiten Ausbaustufe verbesserte Spannungswandler hochintegriert im ehemaligen i3 - Range Extender Bauraum seinen Platz finden (Abbildung 92).

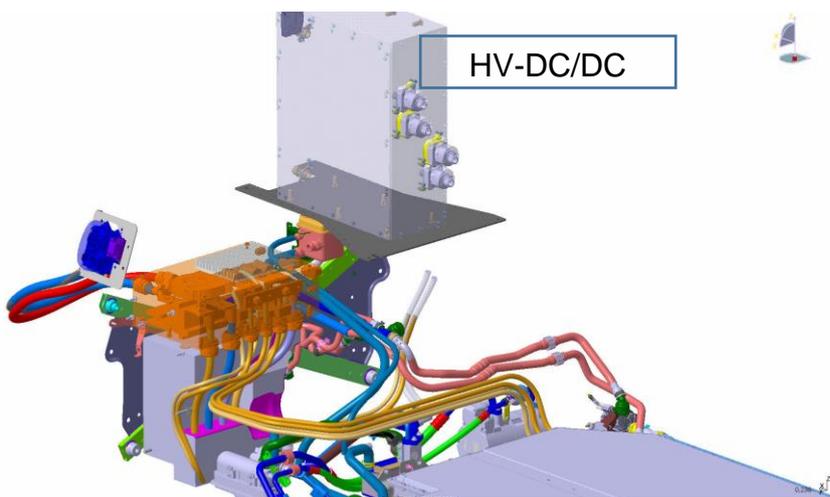


Abbildung 91 Funktionsmuster HV-DC/DC Schleife 1, im Kofferraum verortet

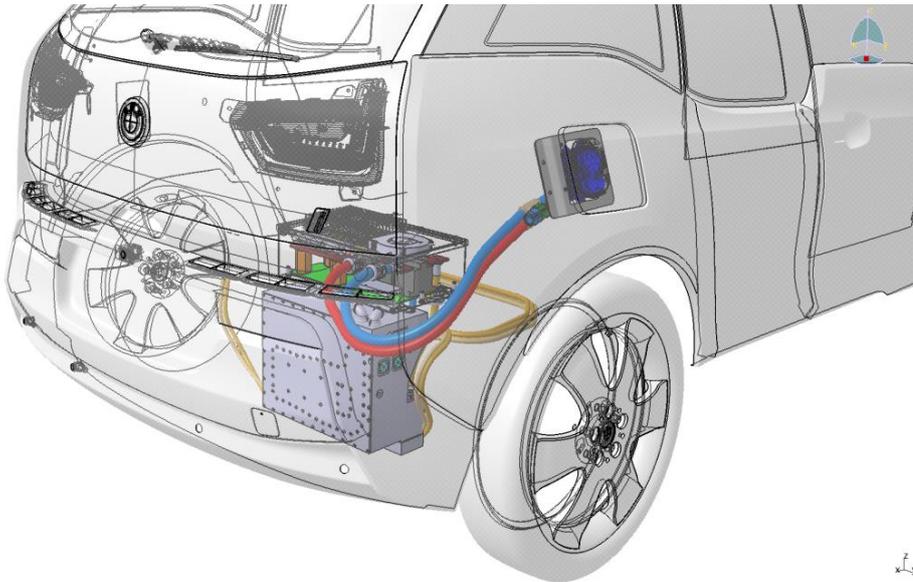


Abbildung 92 Hochvolt-Spannungswandler 2018, hochintegriert

Der Freigängigkeit der Abtriebswellen (Hüllkurven) muss bei der hochkomplexen geometrischen Integration der Komponente besondere Beachtung geschenkt werden (Abbildung 93). So soll die Beweisführung erbracht werden, dass aufgrund der hocheffizienten SiC Technologie hochstromfähige Hochvoltkomponenten in beengten Bauräumen integriert werden können.

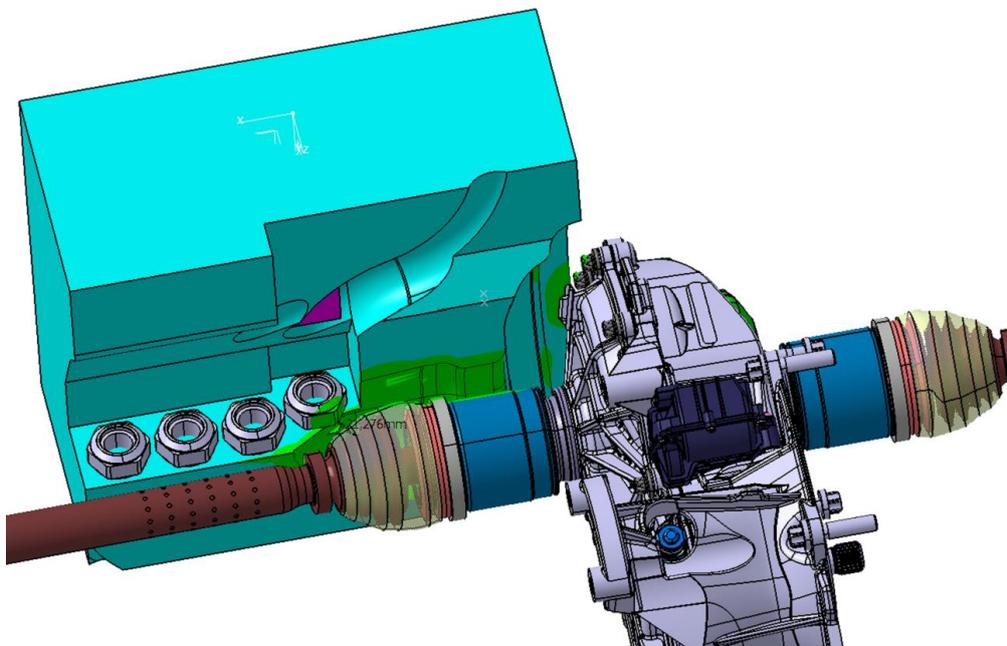


Abbildung 93 HV-DC/DC mit Abtriebswellen und -getriebe

Da nicht sichergestellt werden konnte, ob der Spannungswandler inhouse entwickelt wird, stand, als Risikomanagementmaßnahme, während der Konzeptphase auch eine Rückfall-Lösung mit parallelgeschaltetem Spannungswandler (HV-DC/DC) eines Drittanbieters als Architekturoption zur Auswahl (Abbildung 94).

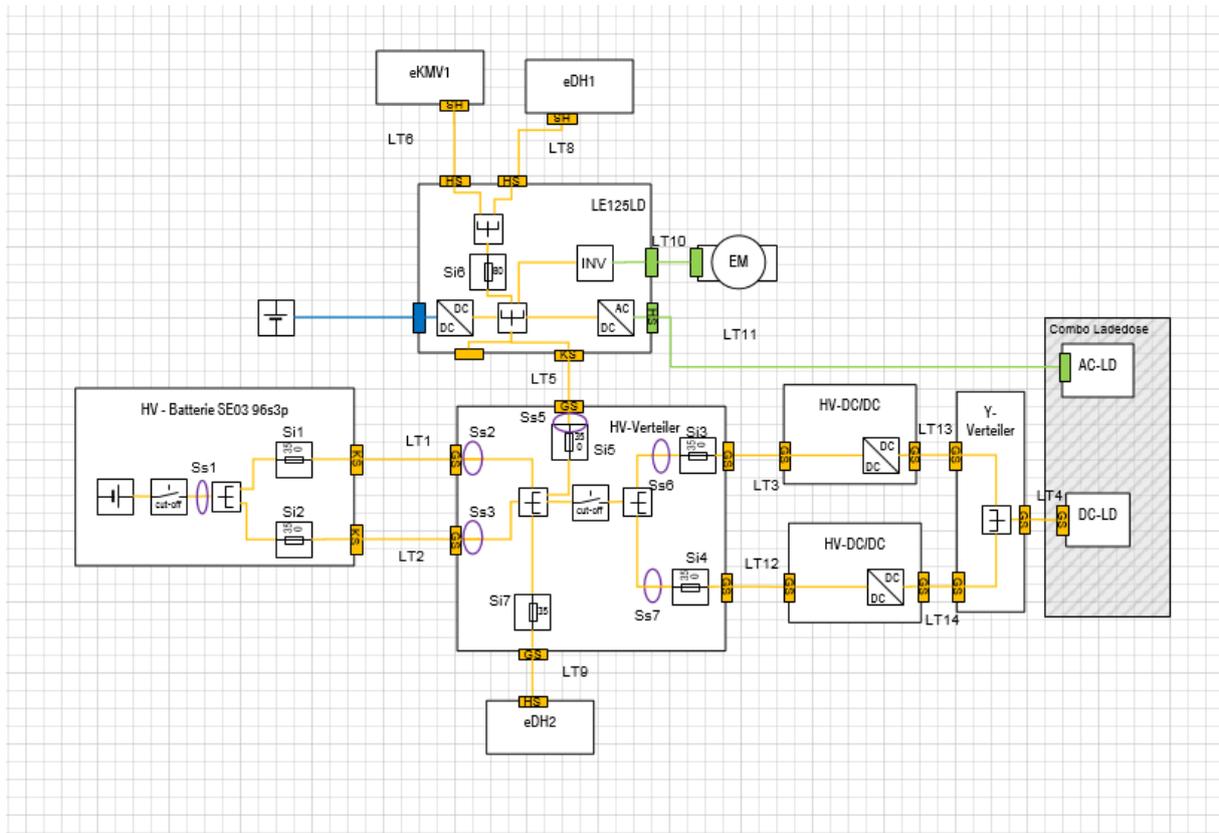


Abbildung 94 Rückfall-Lösung mit 2 parallelgeschalteten Spannungswandlern

Hochvoltverteiler mit integrierten Ladeschützen (HVVT)

Ein Hochvoltverteiler (HVVT) versorgt im BMW FastCharge Forschungsfahrzeug die Antriebselektronik (AE), den Hochvoltpeicher (HVS) und die Hochvoltperipherie mit Strom. Die Ladespannung und –strom (High Side) wird über integrierte DC-Ladeschütze geschaltet und bei 800 V Ladebetrieb vom Spannungswandler auf 400 V Systemspannung gewandelt (Low Side). Neben Umfängen des technischen Sicherheitskonzeptes wurde speziell ein auf 1000 V befähigter Serienspannungssensor zur DC-Schützklebererkennung entwickelt und verbaut (Abbildung 95).

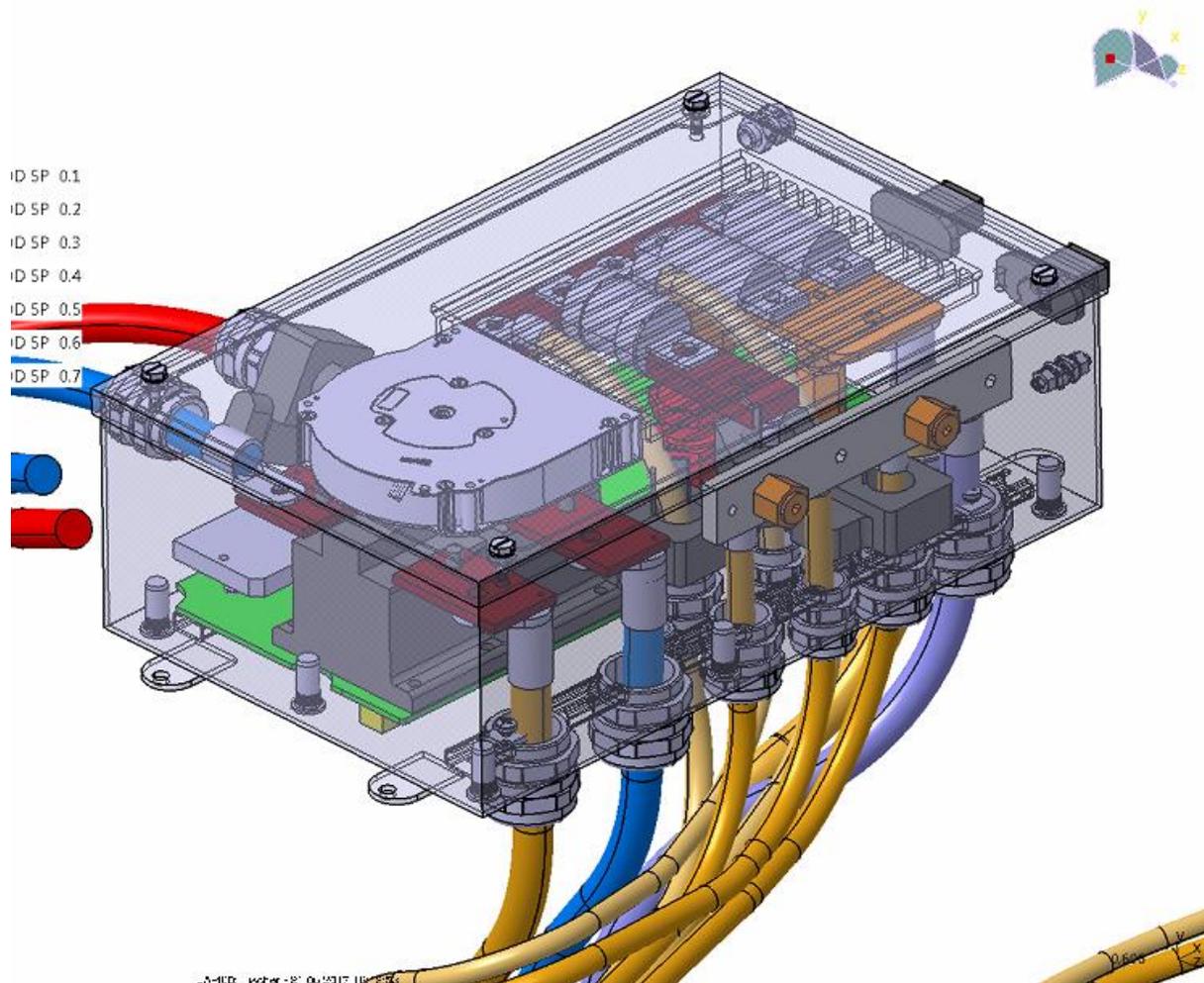


Abbildung 95 Hochvoltverteiler FastCharge

5.3 Schnellladefähiger Hochvoltpeicher mit erhöhtem Energieinhalt

Im Rahmen des FastCharge Projektes galt es die Anforderung umzusetzen, die Serienladedauer zu halbieren. Gleichzeitig sollte die Reichweite durch Erhöhung des spezifischen Energieinhaltes drastisch erhöht werden. Die Lebensdauer des Hochvoltspeichers kann aufgrund des Betriebs im Grenzbereich unter Umständen eingeschränkt sein.

Anforderungen und Veränderungen zum Serienfahrzeug:

- Ladedauer 10-80 % SoC: 39 min → 15 min
- Maximale Ladeleistung: 50kW → 173 kW (Boost)
- Energieinhalt: 37,9 kWh netto → 57 kWh netto

Nach entsprechenden Schnellladestudien auf Zellebene wird die geeignete Zellchemie ausgewählt. Diese erfolgt durch eine Zyklisierung der Zellen mit anschließender Zellencharakterisierung, mit Fokus auf (ir-)reversibler Zellschädigung durch Lithiumplating. Die Zellalterung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Beim Laden nehmen sowohl die Belastung durch die hohe Ladeleistung, als auch die höhere Temperatur der Zellen im Vergleich zum

Fahrbetrieb Einfluss. Für die von BMW im FastCharge entwickelten Ladeprofile ist die Zellaalterung auf ein vertretbares Maß reduziert. Es werden prismatische Zellen verwendet. Der Zelltest erfolgt modulnah, dabei stehen die Zellen, thermisch etwas isoliert gegenüber der Umgebung, auf einer mit Wasser/Glykol durchströmten Kühlplatte (Abbildung 96).

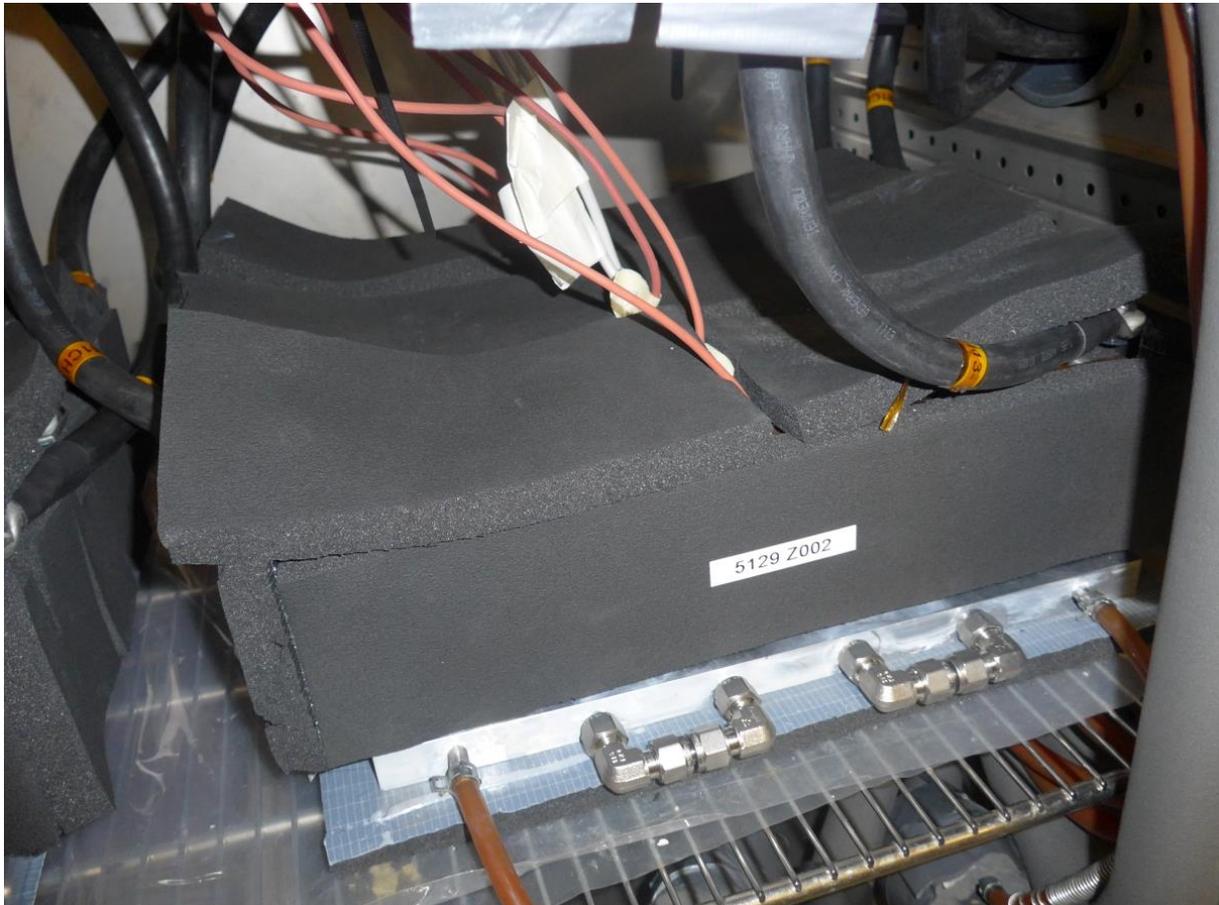


Abbildung 96 modulnaher Zelltest

Entsprechend den, verursacht durch den Innenwiderstand der Zellen, ermittelten Verlusten erfolgt die Anforderung und Auslegung des Kühlkonzeptes auf Speicher und Fahrzeugeben. Durch den Übertrag des Schnelllade-Stromprofils (Abbildung 97) und der Schnelllade-Betriebsstrategie von der Zelle auf den Gesamtspeicher sollen o.g. Vorgaben erfüllt werden.

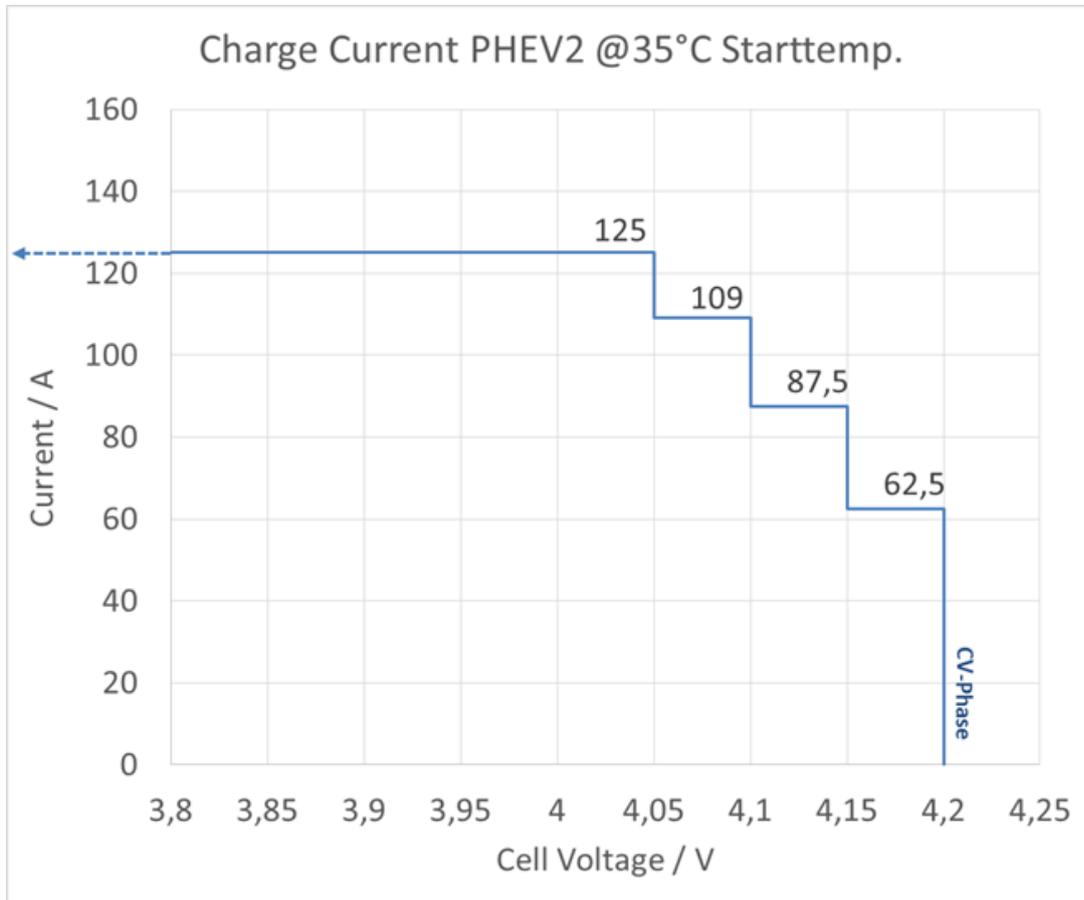


Abbildung 97 exemplarisches Lade-Stromprofil

Durch den Übertrag von zwei Schnellladeprofilen auf das Gesamtsystem können sowohl Boost-Laden mit 173 kW (Abbildung 98) und Schnellladen (10-80 % SoC) innerhalb von 15 min dargestellt werden (Abbildung 99).

In Abbildung 98 ist der Spannungs-, Leistungs- und SOC-Verlauf für den Boost-Ladefall dargestellt. Dieser wird angewendet, wenn innerhalb von 5 min (siehe Use-Case Pendler oder Mietwagen) möglichst viel Energie in der Speicher geladen werden soll, z.B. um eine kürzere Reststrecke fahren zu können. Möchte man jedoch den Speicher möglichst voll Laden, z.B. im Rahmen einer Langstreckenfahrt, könnte das optimierte Ladeprofil, wie am Presseevent gezeigt Anwendung finden. In diesem Fall wird, wie in Abbildung 99 zu erkennen ist, der Speicher von einem Ladezustand von 10% innerhalb von 15 min auf 80% geladen. Dies erfordert zu Beginn des Ladevorgangs eine niedrige Ladeleistung, stellt aber auf den Gesamtladevorgang ein Zeit-Optimum dar. Der Gesamtwirkungsgrad für diesen Ladevorgang beträgt 91,6% und errechnet sich durch die Energie, die im Hochvoltspeicher aufgenommen wird im Verhältnis zur gesamten Energie, die von der Ladesäule ans Fahrzeug geliefert wird.

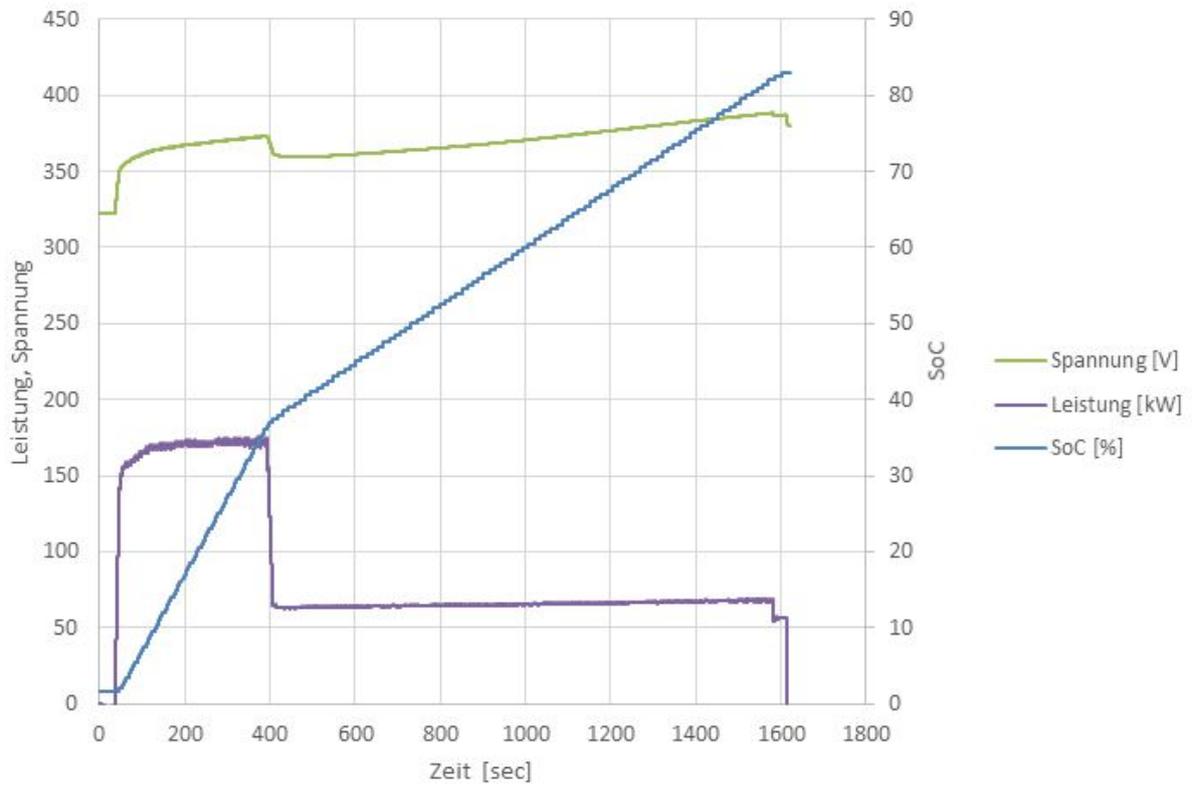


Abbildung 98 Laden mit 173 kW im Boost-Modus

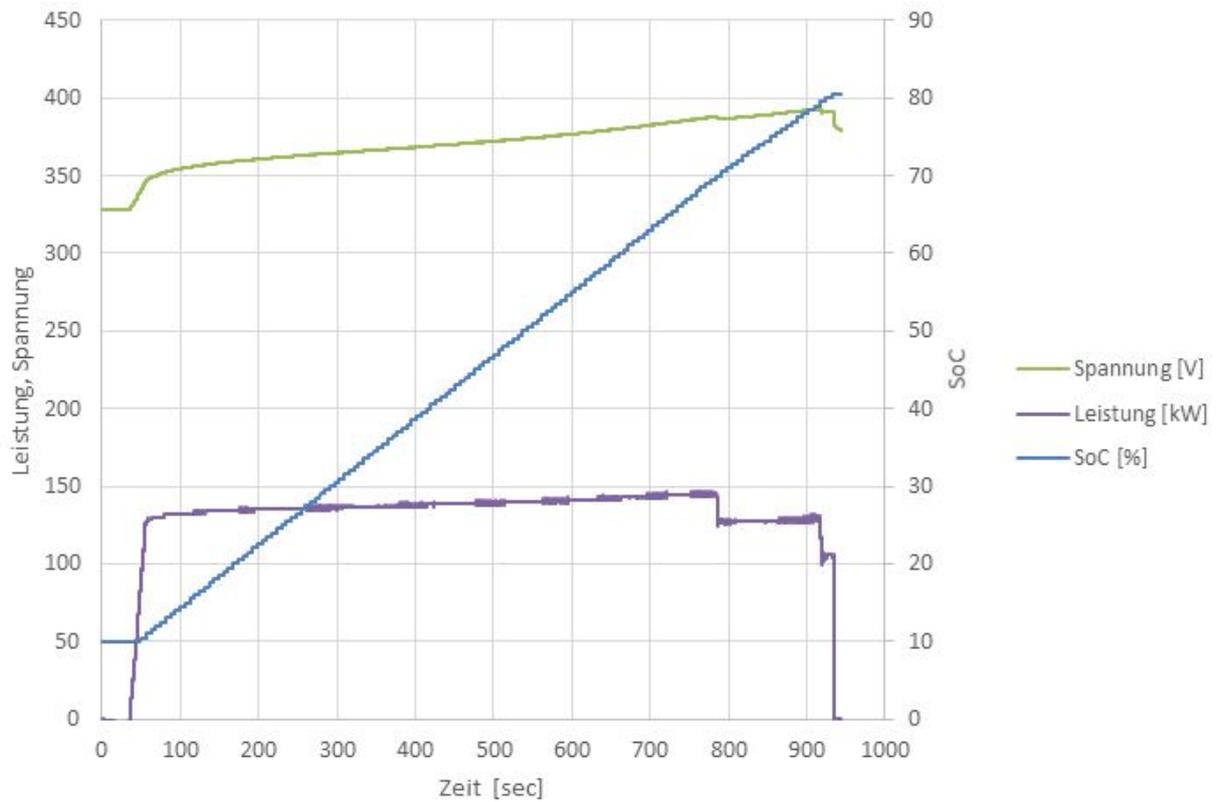


Abbildung 99 Mess-Sheet von FastCharge Presseevent (Laden innerhalb 15 min)

Die Auslegung der Hochvolt-Subkomponenten wie Schützbox, Zellkontaktersystem und Modulverbinder erfolgt ebenfalls anhand der ermittelten Stromprofile. Die geometrische Integration der relevanten Subkomponenten erfolgt in einem leicht modifizierten Serienbauraum der (Sub-)Komponenten (Abbildung 100). Beispielsweise muss aufgrund der Stromtragfähigkeit der verwendeten Steckverbinder das Anschlussfeld des Gehäuses geändert werden. Die hochstromfähige Schützbox wird ebenfalls für das Forschungsprojekt entwickelt (Abbildung 101). Als Auslegungsprämissen sind hier Spannung, Strom und der errechnete Kurzschlussstrom ausschlaggebend.

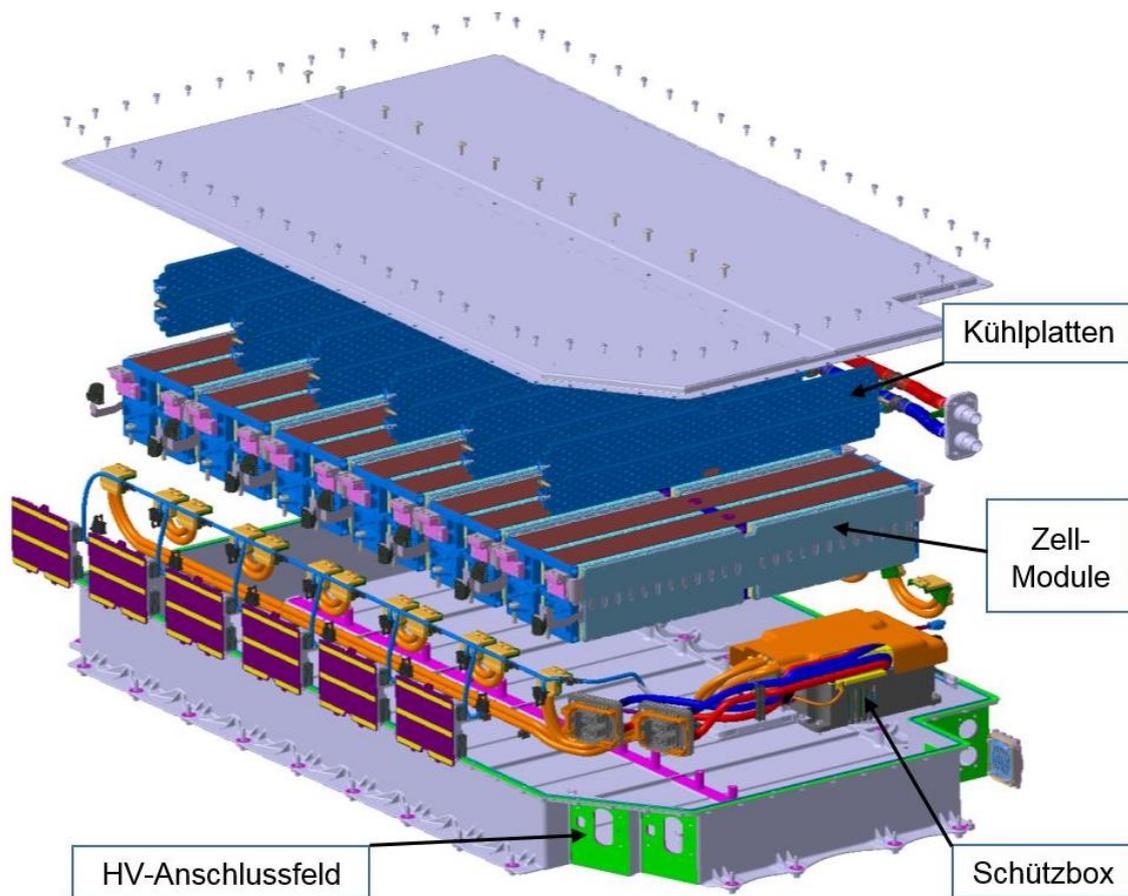


Abbildung 100 Explosionszeichnung Forschungs – Hochvoltpeicher



Abbildung 101 FastCharge Schützbox

Phoenix Contact Ladedose (siehe auch Kapitel 3.3)

Die CCS-Serienladedose soll durch ein Inlet der Fa. Phoenix Contact ersetzt werden (Abbildung 102). In Verbindung mit einem von der Ladestation gekühlten Ladekabel kann diese mit zwei Temperatursensoren bestückte Ladedose bis zu 500 A dauerhaft tragen.



Abbildung 102 FastCharge Ladedose

5.4 Kühlkonzept und thermisches Management Batterie

Während der Konzeptphase wurden 3D-Simulation auf Speicherebene durchgeführt. Dementsprechend sollten sog. Hot Spots identifiziert und Maßnahmen ergriffen werden, diese zu reduzieren bzw. zu vermeiden (Abbildung 103). Die Zelltemperaturen beim Ladevorgang sollten sich möglichst in einem Wohlfühlbereich von 30-50°C befinden. Ist die Temperatur geringer, wird über den elektrischer Durchlauferhitzer der Hochvoltpeicher geheizt. Überschreitet die Zelltemperatur eine gewisse Grenztemperatur, ist die Ladeleistung zu verringern bzw. bei Überschreiten einer höheren Schwelle, der Ladevorgang abgebrochen.

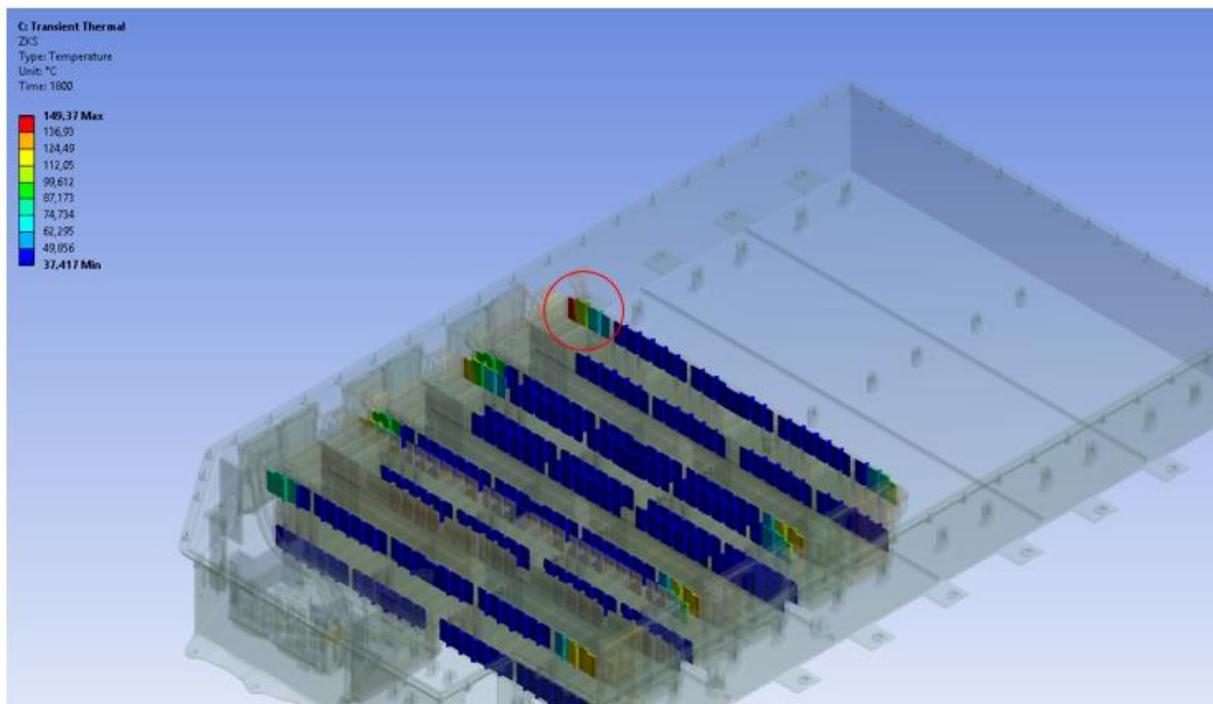


Abbildung 103 Identifizierung von Hot Spots durch 3D-Simulation

Batterieperipherie

Zur Sicherstellung der Freiheitsgrade bei der Batteriekonditionierung sieht das Batteriekonzept die Einbindung eines Hochvolt-Heizgerätes vor. Das Konzept der Batterie-Peripherie sieht unter anderem das Heizen und Kühlen der Hochvoltbatterie vor und wird als wichtiger Baustein der Lade-Betriebsstrategie, auch für künftige Entwicklungen, gesehen (Abbildung 89).

Das Kühlkonzept sieht folgende Prämissen und Maßnahmen vor:

- Auslegung BOL (Begin of Life) - ohne Einfluss Alterung
- Auslegung anhand Zellmessungen A-Muster
- Auslegung anhand Abschätzung Wärmeübergang HVS
- Innenraumklima wird bei erhöhtem Kühlbedarf runtergefahren

Anhand den Prämissen ergeben sich Anforderungen an Kühlleistung (Verluste pro Zelle aus Zelluntersuchungen), Volumenstrom, Druckverlust und die benötigte Vorlauftemperatur bei gegebenem Wärmeübergang Zelle / Kühlplatte.

Zur Umsetzung der Anforderungen sind folgende Maßnahmen zur Modifikation des Kältekreises erforderlich:

- 1 Kältekreis mit serieller Verschaltung zweier Kondensatoren (Abbildung 104)
- Elektrisches Expansionsventil (EXV) am Klimagerät und Chiller zur Leistungsverteilung Innenraum / HVS erforderlich

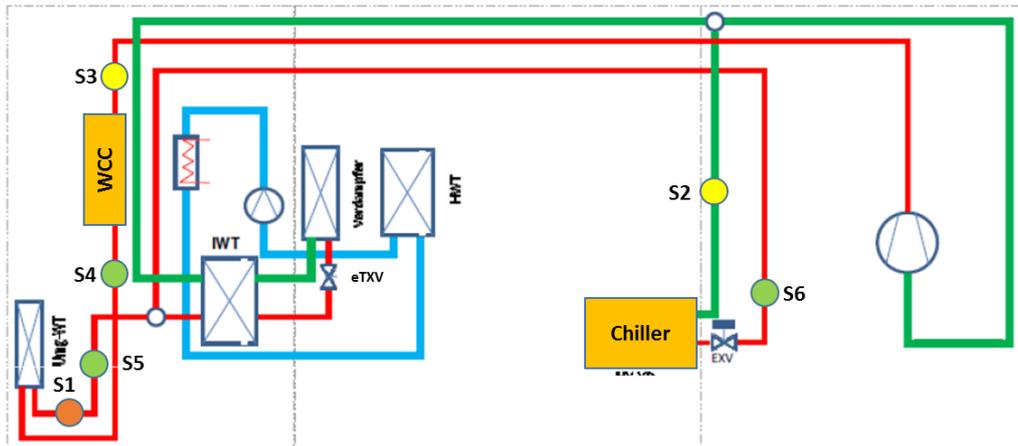


Abbildung 104 Kältekreis

Aufgrund des Temperaturniveaus des Speichers und übrigen HV-Komponenten sind im Fahrzeug zwei Wasser/Glykol Kreisläufe (Abbildung 105/Abbildung 106) realisiert. Um den benötigten Wärmeaustausch mit der Umgebung zu gewährleisten, werden modifizierter Umgebungswärmetauscher und ein stärkerer Lüfter verbaut (Abbildung 105). In Abbildung 86 sind die im Vergleich zur Serie modifizierten Kühleröffnungen vorne am Fahrzeug gut erkennbar.

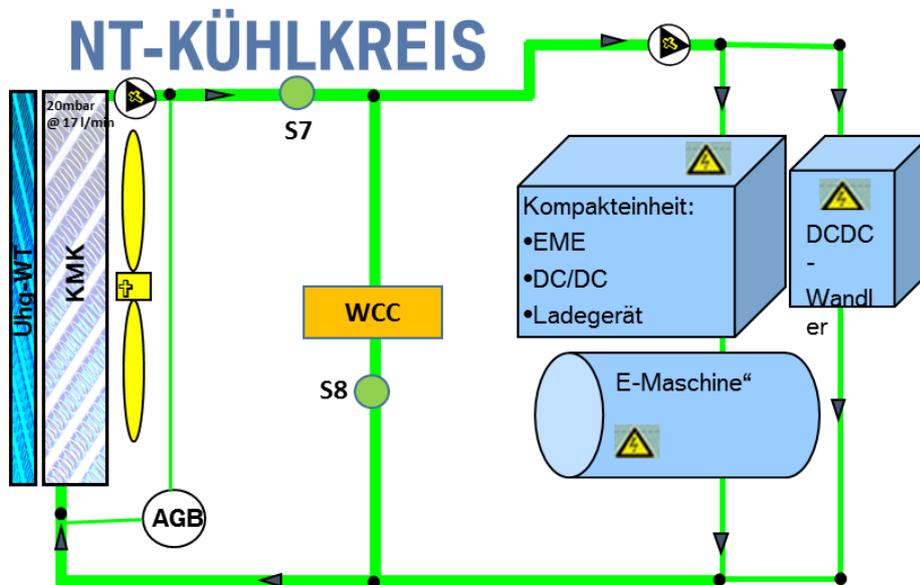


Abbildung 105 Niedertemperatur – Kühlkreis 1

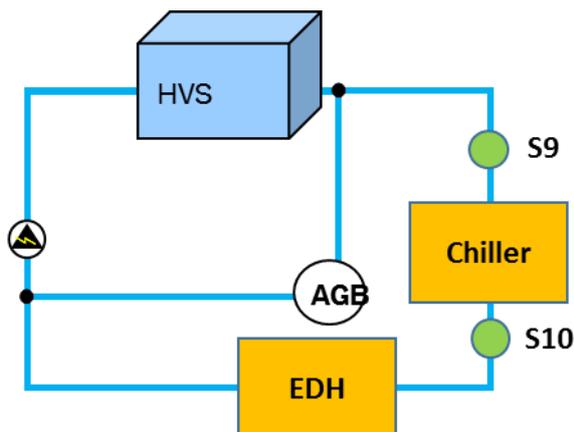


Abbildung 106 HVS-Kühlkreis

Um die Rückströmung und Wiederansaugen der ausgetauschten und erwärmten Umgebungsluft zu verringern (Heißluftwalze siehe Abbildung 107), werden zusätzliche Luftführungen (Abbildung 88) in der Karosserie angebracht, sowie die Luftführung abgedichtet.

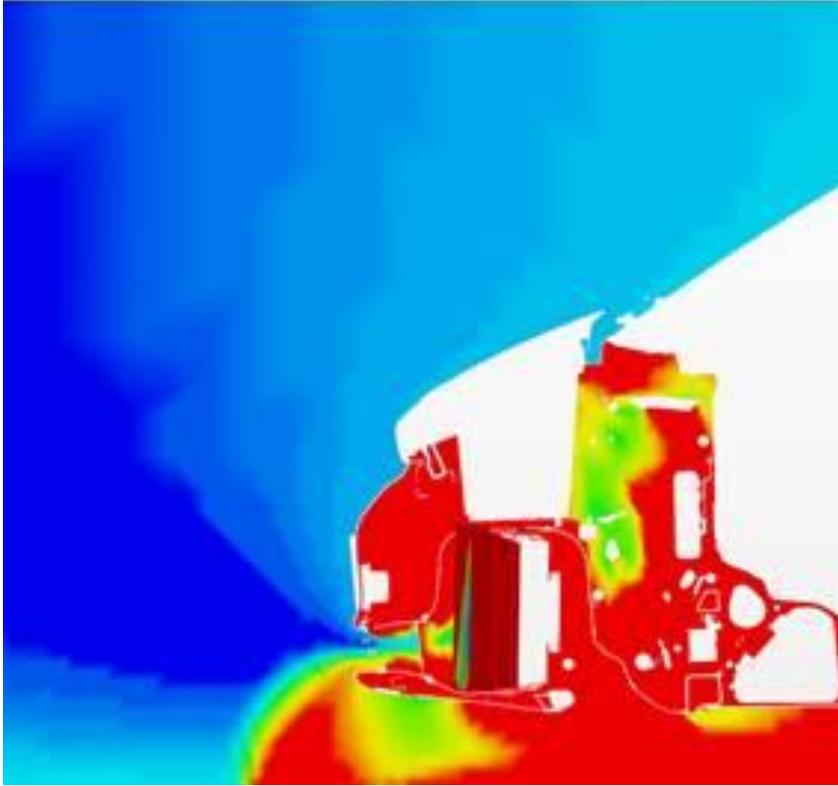


Abbildung 107 Beispielhafte Simulation Heißluftwalze

5.5 Fahrzeugaufbau

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Teilsystems mit Spannungswandler (DC/DC Basic), Hochvoltpeicher, Stromverteiler und Peripherie wurde das Fahrzeug mit o.g. Komponenten auf- bzw. umgebaut. Für die Untersuchung der Regeldynamiken im Gesamtverbund Ladesäule / Fahrzeug wurden ein seriennaher HVS und ein Spannungswandler mit dem Reifegrad eines Funktionsmusters verbaut (Abbildung 108).



Abbildung 108 DC/DC – erstes Funktionsmuster

In der zweiten Ausbaustufe werden der für eine Straßenzulassung abgesicherte Spannungswandler, Hochvoltpeicher und Stromverteiler im crashsicheren REX – Bauraum bzw. in dem für die Serie vorgesehenen Bauraum verortet (Abbildung 109, Abbildung 110, Abbildung 111).

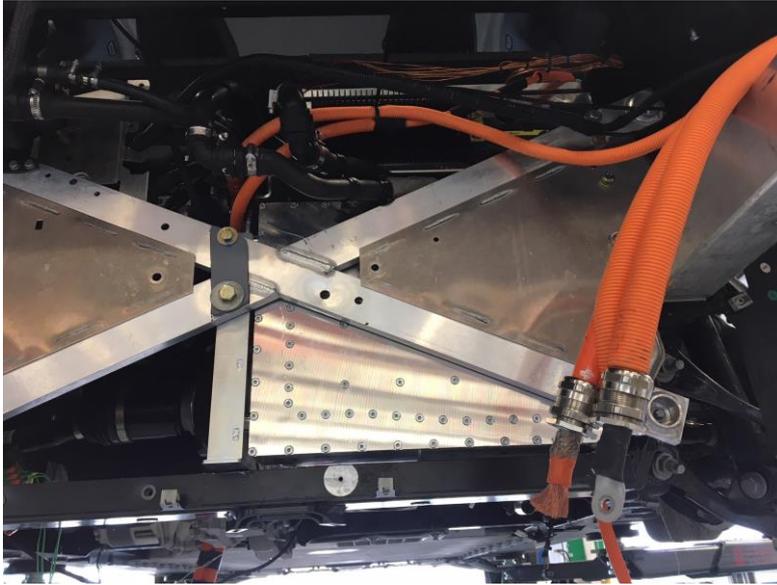


Abbildung 109 Blick von unten auf FastCharge Spannungswandler (in Fahrtrichtung von hinten)



Abbildung 110 800 V Spannungswandler mit Abtriebswelle und eDH (elektrischer Durchlauferhitzer)



Abbildung 111 luftgekühlter Hochstromverteiler (rechts, Blick von oben)

5.6 Fahrzeuginbetriebnahme und Tests

Die speziell zu Integrationszwecken entwickelten FastCharge Komponenten wurden im Vorfeld an Komponentenprüfständen auf Funktion geprüft und abgesichert (Abbildung 112).

Die Erstinbetriebnahme erfolgte an einem Vorintegrationsplatz. Dies ist der Herausforderung beim Laden über einen Spannungswandler geschuldet (Abbildung 113).

Das Gesamtsystem, bestehend aus Forschungsfahrzeug und Ladesäule, wurde bei Siemens in Betrieb genommen. Mangels Verfügbarkeit einer Teststrecke zum Entladen wird die geladene Energiemenge in das Siemens-Stromnetz zurückgespeist (Abbildung 114 und Abbildung 111).



Abbildung 112 Thermische Absicherung einer FastCharge Komponente (HV-Verteiler)

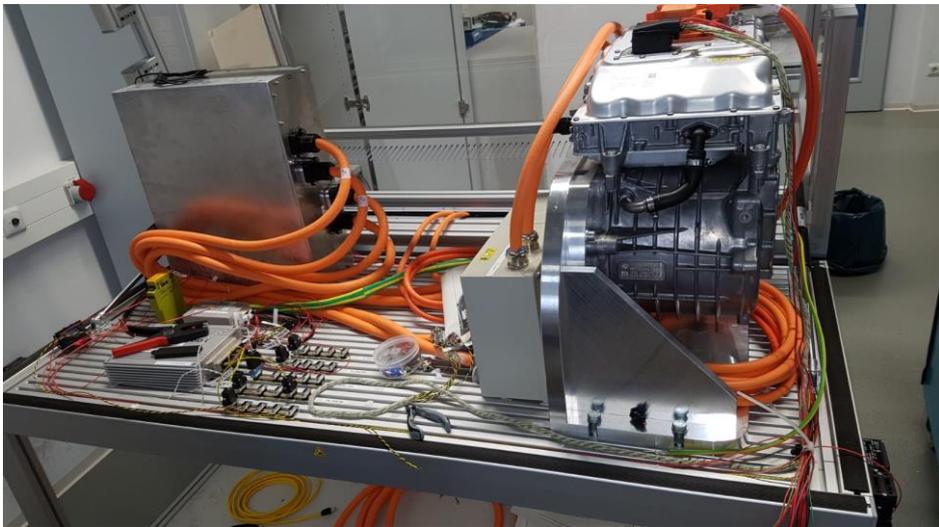


Abbildung 113 Erstinbetriebnahme Teilsystem FastCharge



Abbildung 114 Entladen der FastCharge Batterie durch Rückspeisen

5.7 Zusammenfassung und Ausblick

Den herausfordernden und bisher von keinem anderen Fahrzeug aus einem entsprechenden Segment umgesetzten Anforderungen des FastCharge Projektes konnte durch die oben beschriebenen, speziell entwickelten Innovationen erfolgreich entsprochen werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein BMW Forschungsfahrzeug konzipiert, entwickelt und aufgebaut. Dabei wurden neue Batteriekonzepte und Hochvolt-Bordnetz-Architekturen evaluiert, erarbeitet und umgesetzt. Der Fokus lag auf der Verwendung kommerziell verfügbarer Batteriezellen, deren Leistungsgrenzen gezielt ausgelotet wurden. Das Ziel, eine möglichst hohe Leistungsdichte zu erreichen, wurde erfüllt. Für diesen Zweck wurden prismatische Zellen verwendet.

Konkret wurden die Zielvorgaben einer Peakladeleistungsdichte von 800 W/l erreicht, was dem 2,5-fachen aktueller Serien-Hochvoltspeicher entspricht. Das FastCharge Fahrzeug benötigt 15 Minuten für einen Schnellladevorgang (10% - 80% SoC). Die maximal erreichte Ladeleistung betrug 173 kW (Boost).

6 Forschungsfahrzeug Porsche

6.1 Konzepterstellung

Fahrzeugkonzept und Package

Die folgende Abbildung zeigt das gegenüber dem Serienfahrzeug überarbeitete Hochvolt-Konzept, wie es im Demonstratorfahrzeug integriert ist. Zum Beispiel sind die 800 V-Hochvoltkonzept HV-Kabelquerschnitte deutlich vergrößert, um die hohen Ladeleistungen zu ermöglichen. Außerdem ist ein zusätzlicher DC-DC-Wandler integriert, damit die zusätzlichen Pumpen und Lüfter mit Energie versorgt werden können.

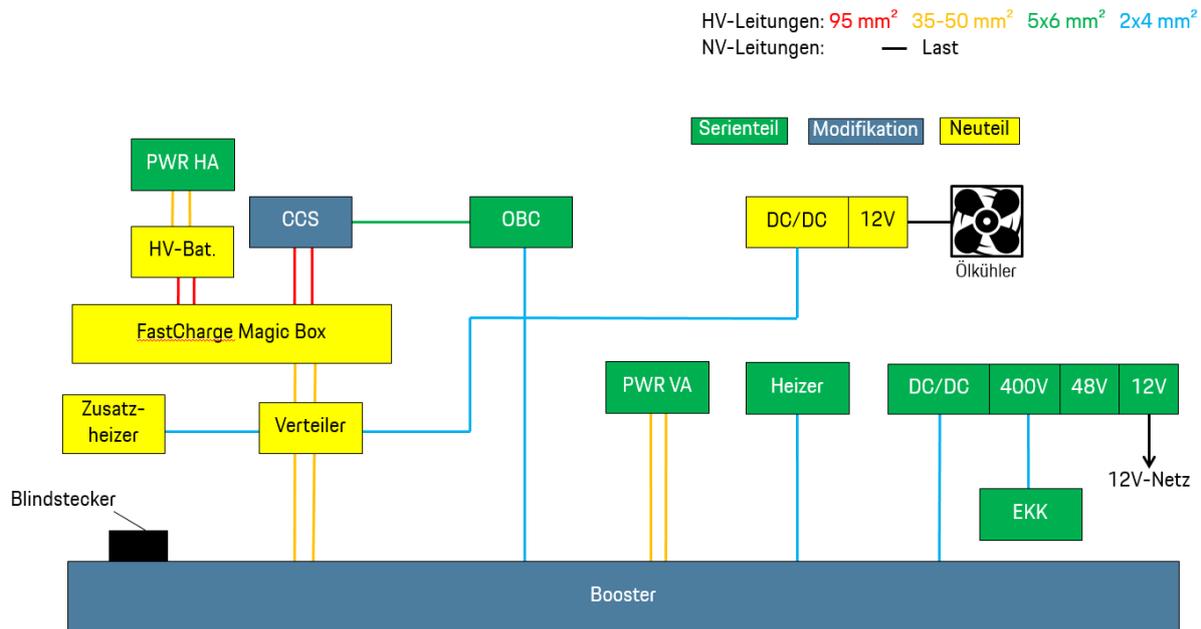


Abbildung 115 Topologie des Hochvoltsystems

Die folgende Abbildung zeigt die Hochvolt-Komponenten (ohne Batterie) inklusive der Verkabelung, wie im Fahrzeug platziert.

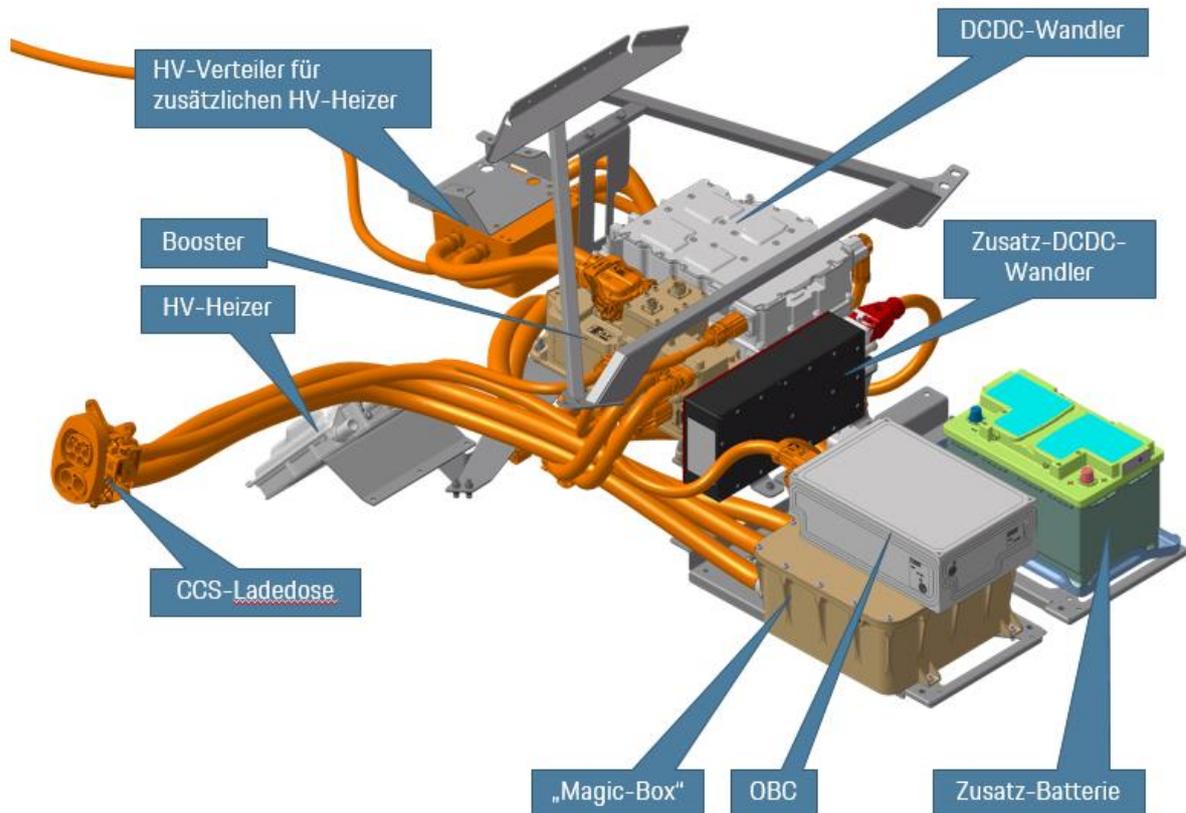


Abbildung 116 Verkabelung HV-Komponenten

Batteriekonzept

Die folgende Abbildung zeigt den zusätzlichen Kühllumfang inklusive der Batterie.

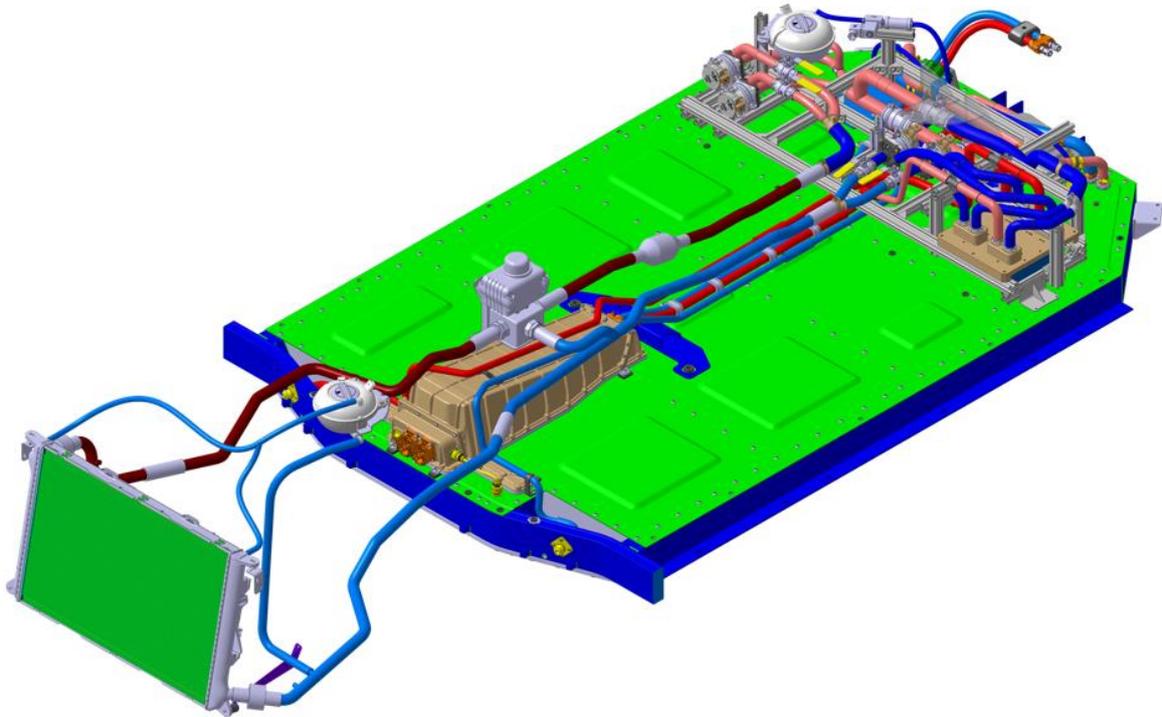


Abbildung 117 HV-Batterie mit Zusatzkühlumfang

Um die erforderliche Anzahl an Zellen bzw. Modulen in das Fahrzeug zu integrieren, wurde ein neuer Batterierahmen entwickelt. Alle Module sind auf einer Ebene angeordnet. Ein Kühlmittelverteilsystem ist in den Rahmen integriert, um die Module mit dem entsprechenden Kühlmittel zu versorgen.

Das Kühlmittelverteilsystem soll eine gleichmäßige Verteilung des Kühlmittels auf Modulebene sicherstellen und durch ein Entlüftungskonzept das Befüllen der Batterie ermöglichen.

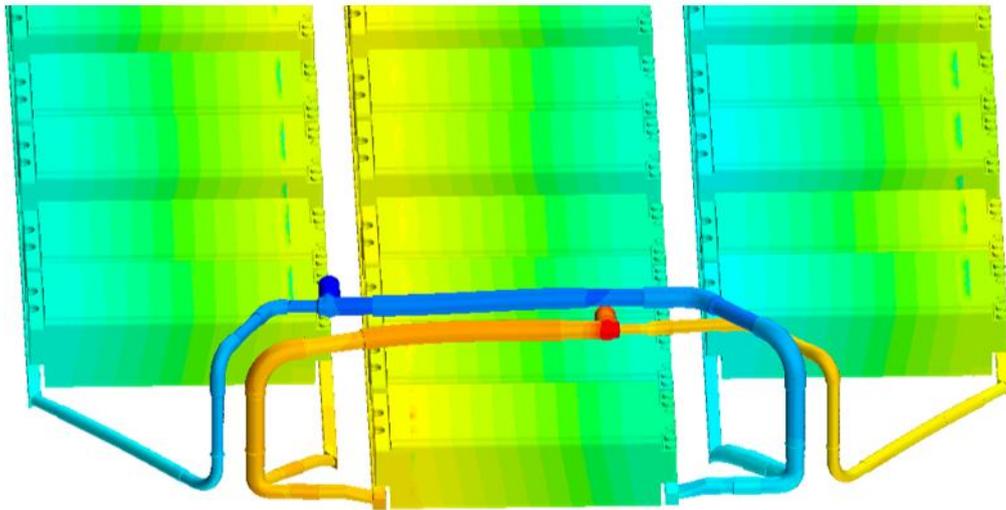


Abbildung 118 Simulation der Batterietemperatur

Um eine Ladeleistung von ca. 400 kW auf Batterieebene zu realisieren, wurde eine komplette Neukonstruktion der Module und der stromführenden Bauteile erforderlich.

Für die stromführenden Bauteile wurde ein neuartiger Materialmix entwickelt und erprobt, mit dem die hohen Ströme gefahren werden können. In Messungen konnte das Temperaturverhalten bei 500 A RMS untersucht werden.

Die Sicherungs- und Kontrolleinheit der Batterie ist auf die hohe Dauerleistung beim Ladevorgang ausgelegt. Neue Komponenten wie Sicherungen, Schütze und BMS wurden simulativ bewertet und später am Prüfstand freigefahren.

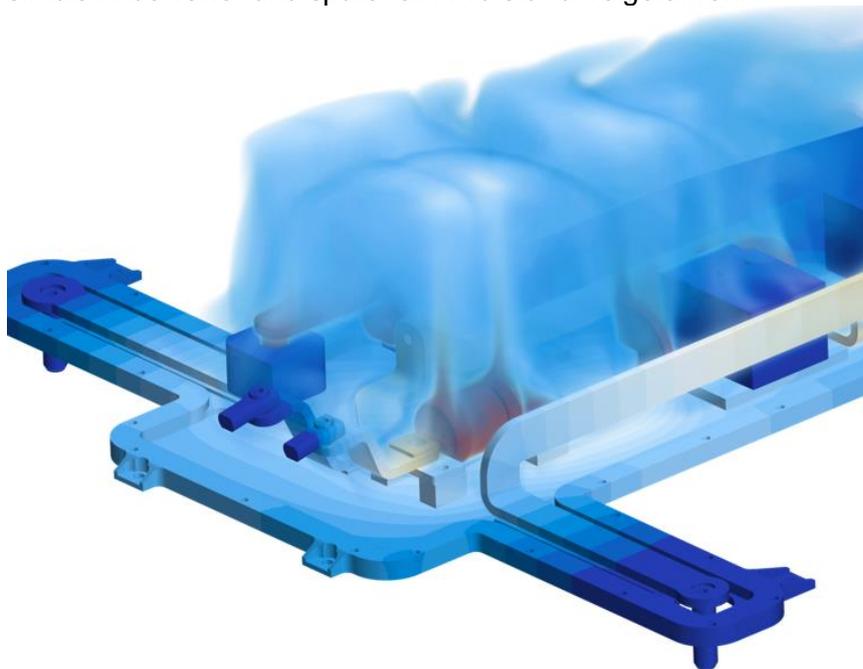


Abbildung 119 Strömungssimulation Batteriemodul

Bei der Neukonstruktion der Module wurde ein thermodynamisches Design erforderlich, welches die Abwärmen in den Zellen und an den stromführenden Teilen ins Kühlsystem abführen kann. Mit dem entwickelten Modul können die Maximaltemperaturen der Zellen bei minimalem Kühlmitteldurchfluss eingehalten werden. Durch das Thermomanagement können die stromführenden Bauteile so klein dimensioniert werden, dass ein Verbau in den Batterierahmen und in das Fahrzeug überhaupt erst möglich wird.

Thermomanagement

Die Ladeleistungsverfügbarkeit einer Traktionsbatterie hängt maßgeblich von der Temperatur des Energiespeichers ab. Aus diesem Grund muss über die fahrzeugseitige Konditionierung eine bedarfsgerechte Kühl- und Heizleistung zur Verfügung gestellt werden. Die Einbindung des Energiespeichers in den Kühlkreislauf erfolgt über Wärmetauscher im Fahrzeug. Zur Kompensation der erhöhten Abwärmen im Schnellladebetrieb wird das Kühlsystem um einen zusätzlichen Kühler ergänzt. Hierbei wird besonderes Augenmerk auf die zu erzielenden Luftdurchsätze gelegt um eine optimale Kühlung im Stand zu ermöglichen. Zur Einhaltung der maximalen Temperaturen im Energiespeicher muss mit erhöhten Kühlmittelmassenströmen gearbeitet werden. Die Durchsätze im Kühlsystem beeinflussen die Wärmeübergänge und die Temperaturhomogenität des Energiespeichers. Diese erhöhten Durchsätze resultieren in deutlich gestiegenen Druckverlusten der einzelnen Komponenten und haben somit direkte Auswirkung auf die Wahl und Anzahl der Pumpen.

Die folgende Abbildung zeigt den Kühlkreislauf des aufzubauenden Prototyps. Das Kühlmittel in Kreislauf 1 nimmt die Wärme aus dem Energiespeicher auf und transportiert diese an den Kreuzstromwärmetauscher (KSWT) und anschließend an die beiden Wärmetauscher PWT1 und PWT2. Der Kreislauf 3 nimmt die Wärme aus dem Kreislauf 2 auf und gibt diese wiederum an die Umgebung ab. Die Pumpen werden entsprechend ihrer Leistungscharakteristik seriell und parallel verschaltet, um den notwendigen Druckaufbau bei Zieldurchsatz zu erreichen. Zur Befüllung des Kreislaufs 1 werden zusätzlich 2 Ausgleichsbehälter (AGB) eingesetzt, welche die thermische Ausdehnung des Kühlmittels und die Ausdehnung der Verbindungselemente (Schläuche, ...) ausgleicht. Zur Reduktion des Drucks im System werden die Pumpen gestuft vor und nach dem Energiespeicher eingebaut um einen sukzessiven Druckanstieg zu erhalten.

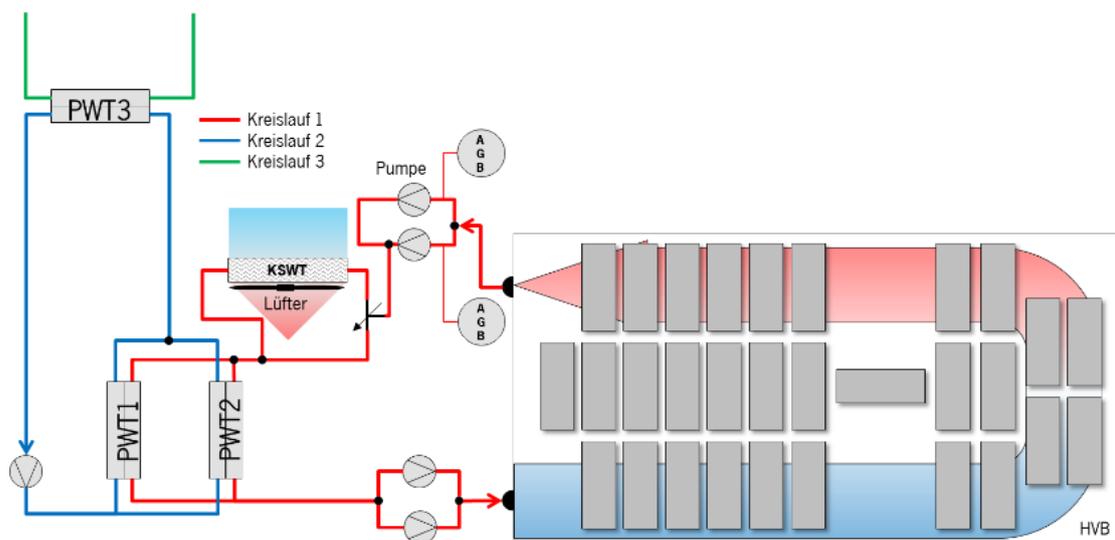


Abbildung 120 Strömungssimulation Batteriemodul

Das vorliegende Elektronikkonzept muss die anzusteuern Pumpen, Lüfter und Ventile vorsehen, um die notwendige Leistung der Komponenten abbilden zu können.

Die Auslegung der fahrzeugseitigen Kühlung ist sehr stark abhängig vom verwendeten Batteriekonzept. Die abführbare Verlustleistung unter Einhaltung der thermischen Grenzwerte des Systems ist maßgeblich durch die thermische Auslegung des Energiespeichers dominiert. Daher erfolgt die Ausarbeitung des Kühlsystems im Fahrzeug in enger Abstimmung mit dem Energiespeicherkonzept.

6.2 Fahrzeugaufbau

Rohbauumfänge

Damit die zusätzlichen Hochvolt- und Kühlungsumfänge ins Fahrzeug eingebaut werden können, sind diverse Änderungen am Rohbau vorzunehmen.

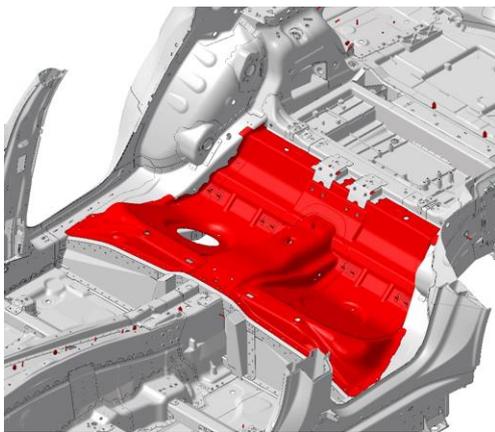


Abbildung 121 Die hintere Sitzmulde ist komplett entfernt

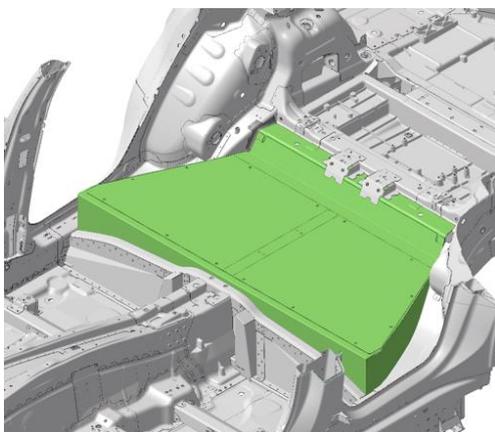


Abbildung 122 Stattdessen ist eine Haube mit Öffnung als Zugang zu den neuen kühlmittelführenden Komponenten verbaut.

Package Gesamtfahrzeug

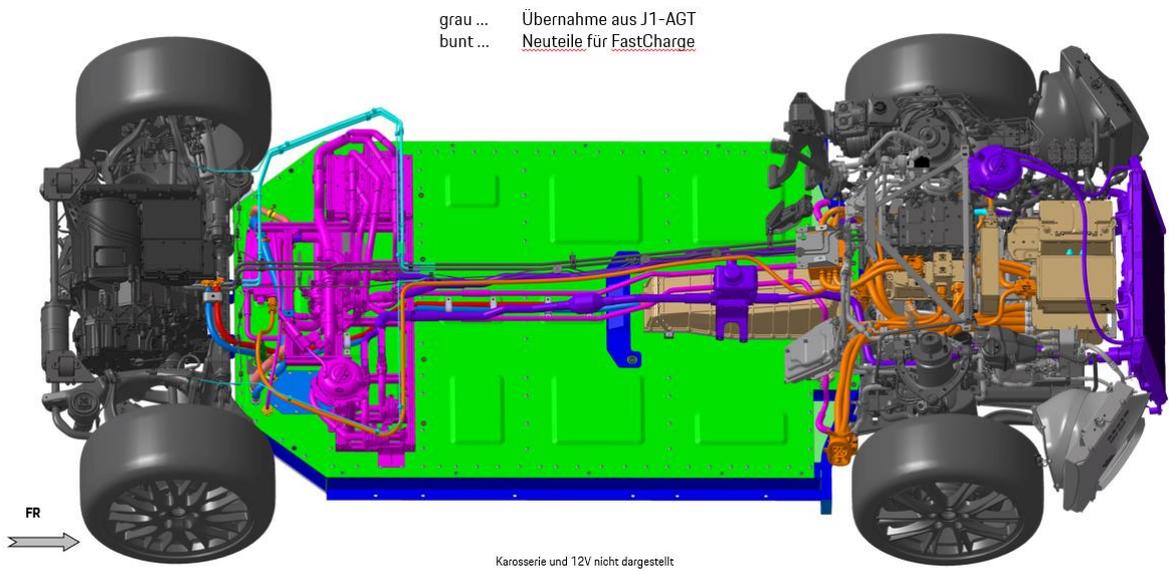


Abbildung 124 Package Gesamtfahrzeug

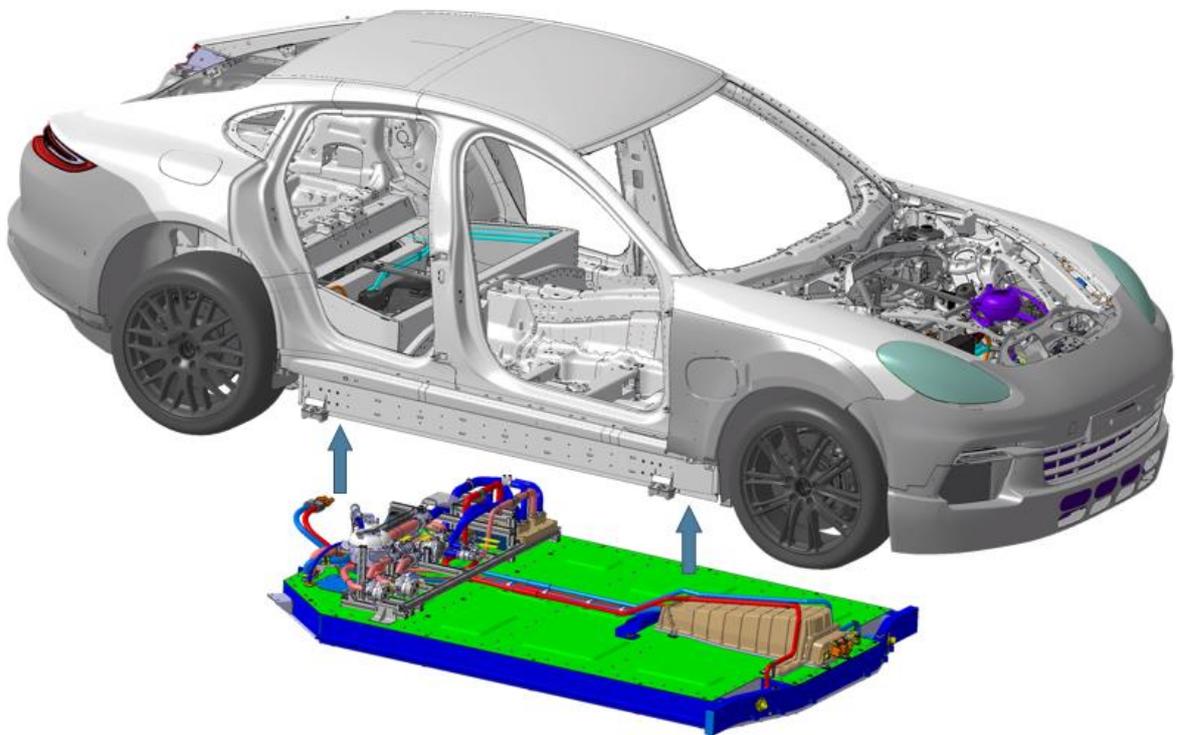


Abbildung 123 Einbau Batterie: Die Batterie wird mit der gesamten Kühlung von unten ins Fahrzeug eingefahren.

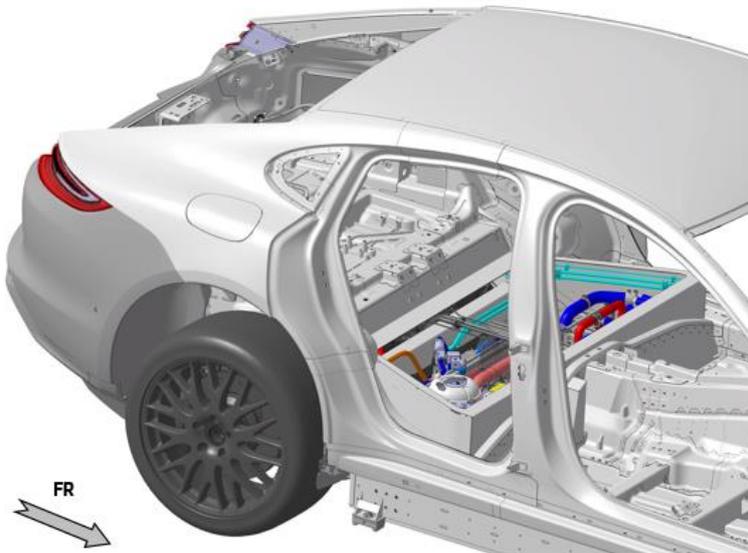


Abbildung 125 Durch die Entfernung der hinteren Sitzmulde ist genügend Platz für die zusätzlichen Kühlkreis-Aufbauten auf der Batterie.

Der batteriefesteste Zusatzkühlungsumfang wird nach dem Einfahren ins Fahrzeug über die Öffnung in der eingebauten Haube mit dem fahrzeuffesten Zusatzkühlungsumfang verbunden.

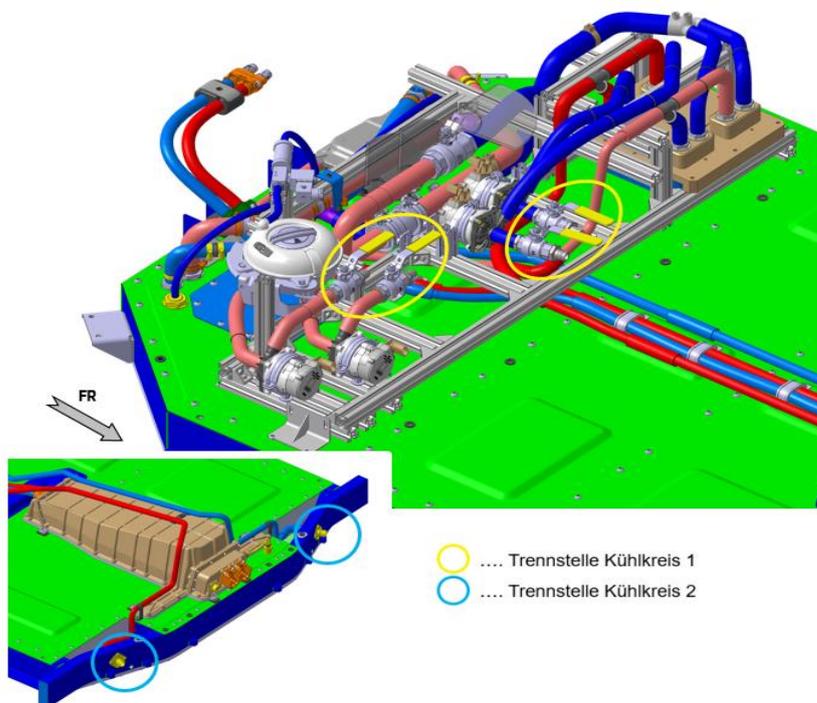


Abbildung 126 Anschluss Batterie- an die Fahrzeugkühlung

6.3 Inbetriebnahme und Applikation

Hochvolt (HV)- und Niedervolt (LV)-Umfänge

Im Hochvoltssystem des Demonstratorfahrzeugs sind gegenüber dem Serienfahrzeug folgende Umfänge abgeändert:

- Anpassung der **Leitungsquerschnitte**
- Modifikation der **Ladeschütze**
- Sicherstellung der **Niedervoltversorgung**
- Integration von **zusätzlichen** elektrischen **Komponenten**

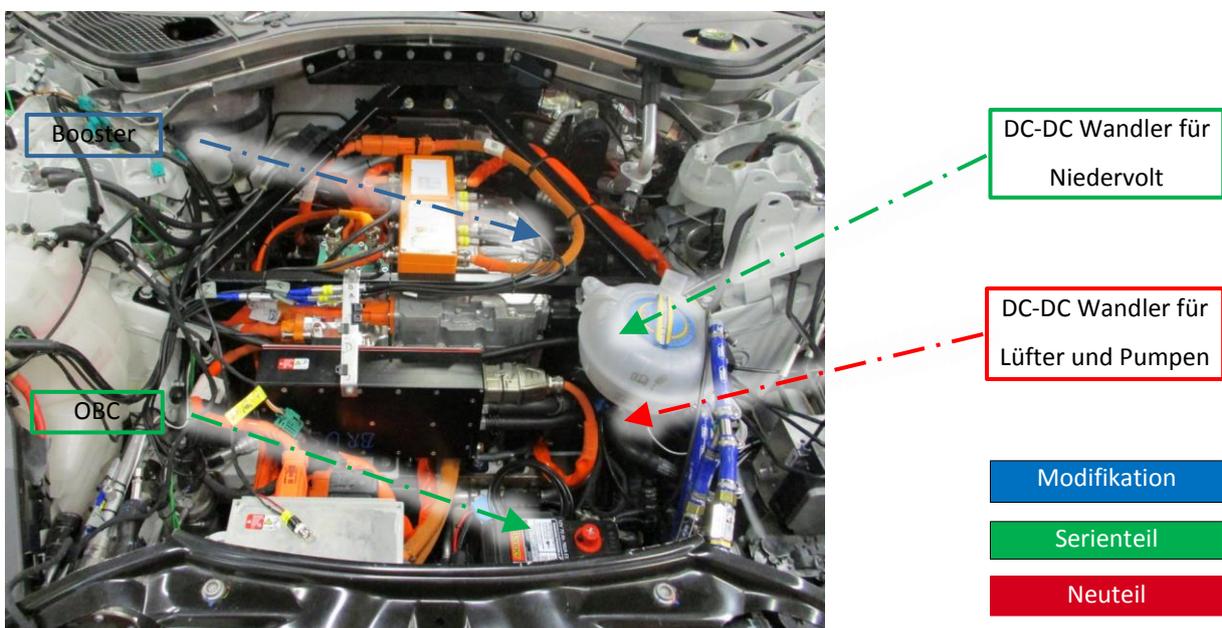


Abbildung 127 Darstellung der Hochvoltkomponenten im Fahrzeug

Die in Abbildung 127 farblich markierten Rechtecke stellen die HV-Komponenten dar:

Booster

- Beinhaltet im FastCharge Projekt die Steuer- und Sensorleitungen für die Zusatzbox
- Versorgt DC/DC Wandler mit Strom

DC-DC Wandler für Lüfter und Pumpen

- Wandelt 800 V auf 12V, um die Zusatzlüfter und Pumpen für das Kühlsystem zu versorgen.

DC-DC Wandler

- Wandelt 800 V auf 400 V und 12 V
- 400 V für EKK (**E**lektrischer **K**lima **K**ompressor): Temperierung der Fahrgastzelle. Mithilfe des EKK kann Zusatzkühlleistung für die HV-Batterie generiert werden.

OBC (On Board Charger)

- Steuerung und Überwachung des Ladevorgangs

HV-Verteiler

- Bindeglied zwischen Booster, Zusatzheizer und Zusatz DC-DC Wandler

Zusatzheizer

- Erwärmt das Fluid, welches sich in der HV-Batterie befindet

Batterie Management System (BMS)

Dieses Bauteil ist die Steuereinheit der Batterie. Die Aufgaben dieser Komponenten sind wie folgt:

- Überwachung der HV-Batterie
- Beide Hauptladeschütze öffnen und schließen (plus- und minusseitig)
- PWR+E-Maschine mit Strom versorgen (Ausgangsstrom für den Antrieb)



Aufgenommen werden Signale wie z.B. die einzelnen Zellspannungen sowie die einzelnen Modultemperaturen. Sobald eine Abweichung zwischen SOLL- und IST- Wert stattfindet (z.B. die Temperatur), wird das von der BMS mithilfe der eingebauten Sensorik realisiert.

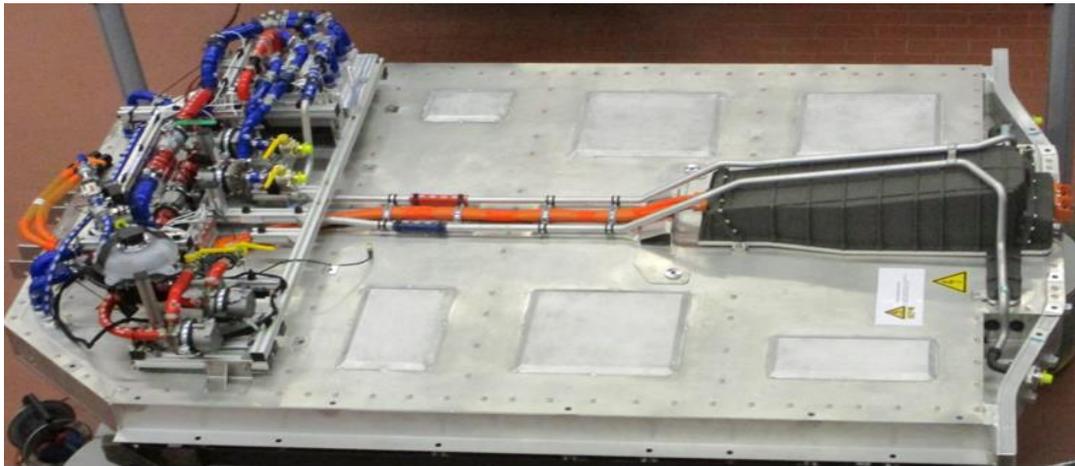


Abbildung 128 Aufgebaute Batterie mit zusätzlichen Kühlmuffen und BMS

Entscheidend bei einem Schnellladeversuch ist die Temperatur in der Hochvoltbatterie. Daher wird vorab das Fluid, welches die Zellen umströmt, mithilfe des HV-Heizers erwärmt (vorkonditioniert). Wenn eine gewisse Temperatur erreicht ist, wird ein Schnellladesignal ausgegeben.

Wird das gekühlte Ladekabel der Ladesäule an die CCS Typ 2 Steckverbindung des Fahrzeuges angeschlossen, startet ein Kommunikationsablaufprofil zwischen beiden Parteien. Nun können zwischen Fahrzeug und Ladesäule die Ladeparameter festgelegt werden (z. B. 400 V oder 800 V).

Die Überwachung des Ladens wird vom OBC durchgeführt. Das Lademanagement beinhaltet:

- Das **Ladeprofil**
- Das **Kommunikationsprofil** (Fahrzeug<->Ladesäule)
- Die Steuerung der **Ladeschütze**

- Die **Überwachung** der Einzelkomponenten (sensorisch)

Aufgrund der Vernetzung der Hardwarekomponenten müssen die Softwarestände an einigen Stellen für die Inbetriebnahme angepasst werden (z.B. die Integration des modifizierten Ladeprofils). Zusätzlich beinhaltet das Fahrzeug aufwendige Zusatz-Messtechnik. Die gemessenen Daten können mithilfe eines Monitors im Fahrzeug live ausgelesen und analysiert werden.

Thermodynamikumfänge

Eine Herausforderung beim Befüllen des Kühlkreises mit Flüssigkeit ist das Entlüften, also das Entfernen der Rest-Luft aus allen Komponenten. Die isolierende Wirkung der Luft könnte die Kühlleistung der Komponenten integral reduzieren oder lokal zu Grenztemperatur-Verletzungen führen. Mit Hilfe der Entlüftungsleitungen und der beiden Ausgleichbehälter, die zur Luftabscheidung dienen, kann die Funktionsfähigkeit des gesamten Kühlsystems gewährleistet werden.

In der Konditionierungsphase wird die Kühlflüssigkeit vom Heizer erwärmt und der Wärmetauscher, der die Wärme an die Umgebung abgibt, wird umgangen. In der anschließenden Ladephase wird mit einem Ventil der Flüssigkeits-Durchfluss durch den Wärmetauscher hergestellt. Gleichzeitig werden die Lüfter angeschaltet und erzeugen somit einen Kühlluftstrom an der der Umgebung zugewandten Seite des Wärmetauschers. Somit ist die volle Kühlleistung hergestellt, um die durch Verlustleistung in den Batteriezellen entstandene Wärme, von bis zu 40 kW, abzuführen.

Zur Absicherung der im Konzept angenommenen Kühlleistung, werden Druck- und Temperaturmessungen am im Fahrzeug eingebauten Wärmetauscher durchgeführt. Aus einer vorherigen Prüfstandsmessung des Wärmetauschers ist die Beziehung aus Druckverlust und Kühlmitteldurchsatz einerseits sowie der Wärmeleistung, Kühlluft- und Kühlmitteldurchsatz andererseits bekannt. Somit können mit den Messstellen im Fahrzeugaufbau und den Zusammenhängen aus der Prüfstandsmessung die Ziele aus dem Konzept bestätigt werden.

6.4 Erprobung

Zell- und Modultests

Im Rahmen des Projektes sollten möglichst automotive, seriennahe Zellen auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie verwendet werden. Zur Verwendung dieser Zellen im Projekt/Fahrzeug, musste im Vorfeld die maximal mögliche Ladeleistung auf Zell- und Modulebene abgesichert werden. Ein Modul besteht bei diesem Forschungsprojekt aus jeweils 12 verschalteten Zellen.

Für die Zelltests wurden im Rahmen der Vorarbeit verschiedene Schnellladeprofile entwickelt, die auf Basis von Leistung und möglicher C-Rate optimiert wurden. Zur Absicherung wurden die verschiedenen Profile jeweils an Zellen getestet, mit denen für die Absicherung über 100 Zyklen gefahren wurden. Auf Basis der Testergebnisse wurde ein optimiertes Schnellladeprofil definiert, welches auf Fahrzeugebene ein Laden mit bis zu 400 kW für etwa 5 Minuten ermöglicht.

Für die Absicherung der Funktionalität der Zellen in den Modulen wurde das optimierte Schnellladeprofil (inkludiert die auf Fahrzeugebene max. Ladeleistung von 400 kW für ca. 5 Min) auch auf Modulebene getestet. Neben der Charakterisierung des elektrischen

Zellverhaltens wurde bei diesen Tests das thermische Verhalten der Zellen bei möglichst fahrzeugnaher Simulation des Kühlverhaltens überprüft.

Ladeprofile

Für die Zelltests wurden initial verschiedene Ladeprofile definiert. Neben konstanter Ladeleistung und konstanter C-Rate wurden ebenfalls Ladezustandsabhängige C-Raten getestet. Der charakteristische Ladeverlauf wird durch die Zelleigenschaften bzw. limitierende Parameter wie Spannung, Strom und Temperatur bestimmt und ist in der folgenden Abbildung dargestellt

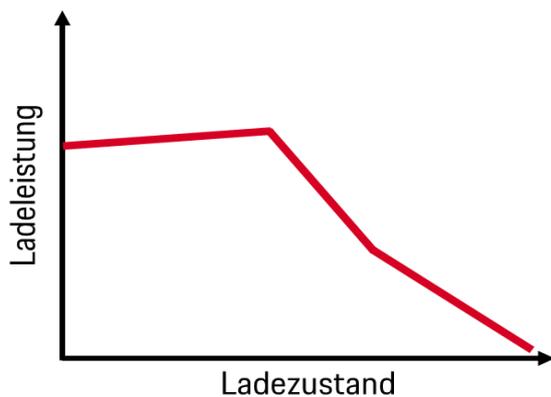


Abbildung 129 Typischer Verlauf der Ladeleistung

Als Kriterium für die Bewertung der jeweiligen Ladeprofile wurde neben dem Einfluss auf die Alterung auch die resultierende Ladezeit einbezogen. Ziel war ein möglichst kurzes Ladeprofil, welches keinen zu starken Einfluss auf die kapazitive Alterung hat. Als Referenz wurde Daten aus einer Zyklisierung mit niedriger C-Rate genutzt. Ein weiteres Entwicklungskriterium war die Temperaturentwicklung während des Ladevorgangs. Die Zelltemperatur sollte unterhalb der maximal erlaubten Betriebstemperatur liegen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium war das Ziel der Ladeleistung des gesamten Batteriepakets von 400 kW. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingung erwies sich ein ladezustandsabhängiges Ladeprofil als vorteilhaft. Bei niedrigem SoC wurde eine konstante C-Rate von über 4 bis zum Erreichen der 5 Minuten bei etwa 400 kW gewählt. Im Nachgang wird die C-Rate mit steigendem Ladezustand zum Teil deutlich reduziert. Dies verringert die Auswirkungen auf die Alterung.

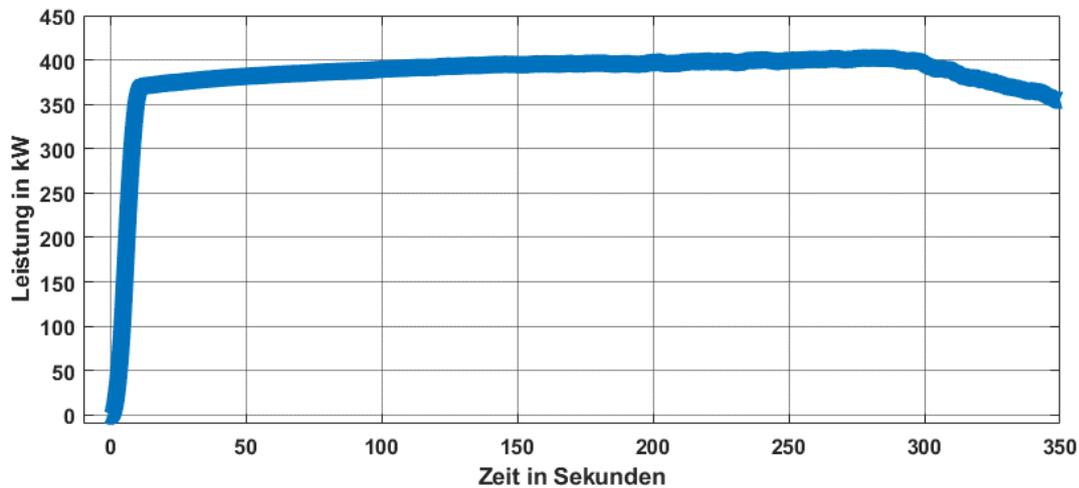


Abbildung 130 Ausschnitt des gemessenen Ladeprofils im Fahrzeug bei dem Schnellladeversuch in Jettingen-Scheppach

Zellalterung

Zellalterung ist ein wichtiger Aspekt bei der Optimierung der Schnellladefähigkeit von Lithium Ionen Zellen. Wird eine zu hohe Ladeleistung gewählt, können Zellen schnell Kapazität verlieren. Dies geschieht hauptsächlich aufgrund von Lithium Plating. Dieser Effekt beschreibt das Abscheiden von metallischem Lithium beim Laden an der Oberfläche der Anodenpartikel.

Aus den initialen Test zeigte sich, dass eine zu hohe Ladeleistung auf Zellebene gravierende Auswirkungen auf die Alterung haben kann. So wurden bei einer zu hohen Laderate nach einigen Zyklen bereits bis zu 20 % Kapazität verloren. Weitere Versuche haben gezeigt, dass bei Beibehaltung der anfänglicher maximalen Lade-Rate durch Berücksichtigung des Ladezustandes im Ladeprofil die Alterung deutlich verbessert werden kann.

Ein weiterer Einfluss auf die Alterung ist die Temperatur. Diese darf beim möglichst optimalen Ladevorgang weder zu gering sein ($T > 30^{\circ}\text{C}$), noch die maximale Zelltemperatur ($T < 55^{\circ}\text{C}$) während des Ladevorganges überschreiten. Eine Überschreitung würde wiederum zu einer erhöhten Alterung der Zellen führen.

Temperaturverläufe

Die gegenüber der Serie deutlich gesteigerte Kühlleistung des Fahrzeugs verhindert ein Überschreiten der Zell-Grenztemperatur selbst bei sehr hohen Ladeströmen. Die hohen Ladeströme führen in gleicher Zeit zu einem höheren Ladezustand. Die Verlustleistung, und mit ihr die erforderliche Kühlleistung, steigen quadratisch mit dem Ladestrom. Daher zeigt sich beim Laden mit hohen Strömen (rot) eine deutlich höhere Zelltemperatur als beim üblichen Laden (blau).

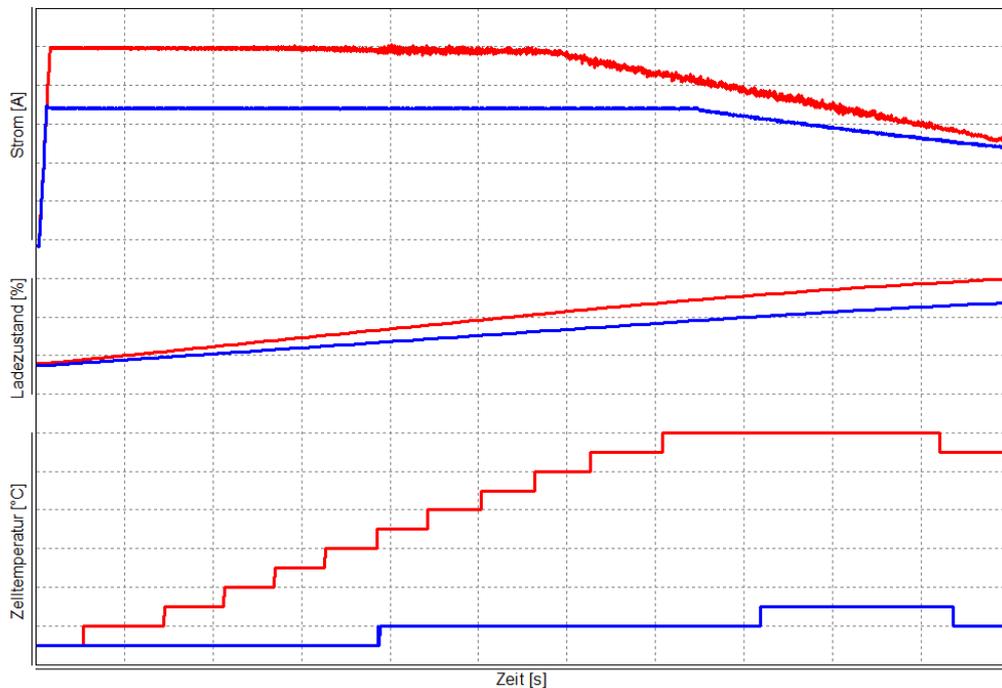


Abbildung 131 Vergleich der Zelltemperaturen zweier Ladeprofile

Ladewirkungsgrade

Für die Bestimmung und den Vergleich der Wirkungsgrade wurden 2 Ladeprofilvarianten definiert:

- Variante 1: Ladeprofil mit anfänglich max. 250 kW Ladeleistung
- Variante 2: Ladeprofil mit anfänglich max. 400 kW Ladeleistung

Anschließend wurden die Ladewirkungsgrade aus Messdaten von Ladeversuchen mit diesen zwei Varianten bestimmt.

Dazu wurden an der Ladedose sowie im Batteriemanagementsystem der Strom und die Spannung gemessen. Die Verluste in der Batterie, welche zum Wärmestrom \dot{Q} führen, werden mit dem Stromwert aus dem Batteriemanagementsystem und dem Innenwiderstand der Batterie mit folgender Formel $\dot{Q} = I^2 \times R_i$ berechnet.

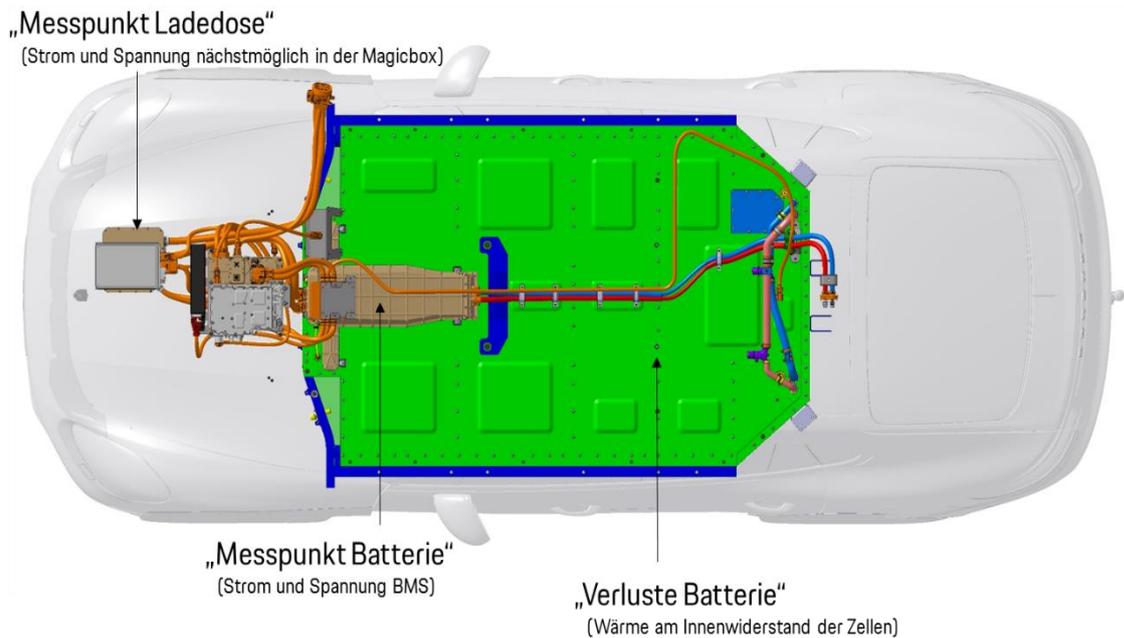


Abbildung 132 Messpunkte für die folgenden Sankey-Diagramme

Bei den Ladeversuchen wurde von 20% SOC bis 80% SOC geladen. Die beiden Sankey-Diagramme stellen die geladene Energie des kompletten Ladevorgangs dar. Der Einfluss der Ladeleistung auf den Ladewirkungsgrad ist in diesem Vergleich vernachlässigbar.

Variante 1:

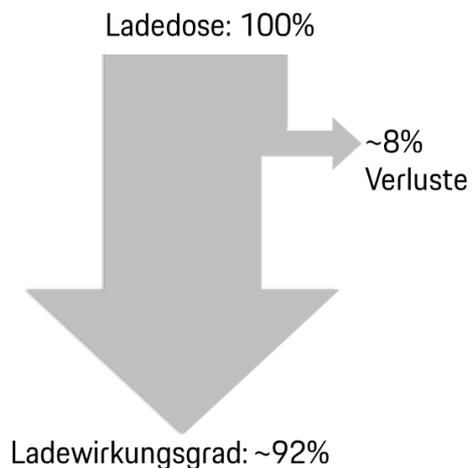


Abbildung 133 Ladewirkungsgradvergleich Variante 1 (250 kW)

Variante 2:

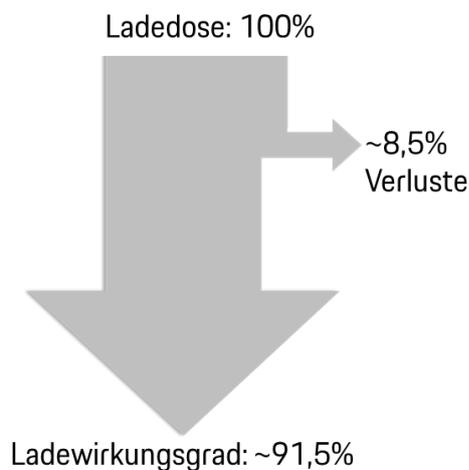


Abbildung 134 Ladewirkungsgradvergleich Variante 2 (400 kW)

6.5 Zusammenfassung und Ausblick

Im von Porsche aufgebauten FastCharge-Forschungsfahrzeug werden die Grenzen der derzeit möglichen Ladeleistung ausgelotet. In der öffentlichen Schnellladepräsentation in Jettingen-Scheppach am 12. Dezember 2018 wurde eine Ladeleistung von 400 kW über ca. fünf Minuten vorgeführt, was das heute bei den besten Serien-Elektrofahrzeugen erreichte Niveau um den Faktor drei bis vier übertrifft. Die Porsche-Botschaft im Projekt FastCharge lautet: „100 km Reichweite lassen sich in weniger als drei Minuten nachladen“.

Um solch hohe Ladeleistungen zu ermöglichen, verfügt das Forschungsfahrzeug über größer dimensionierte HV-Komponenten. Der Löwenanteil der umfangreichen Änderungsumfänge ergibt sich jedoch aus der stark verbesserten Batteriekühlung. Um die Batteriezellen möglichst gleichmäßig zu temperieren und gleichzeitig mehr Wärme abführen zu können, ist ein neuartiges Kühlsystem umgesetzt.

Die verwendeten Batteriezellen entsprechen dem im Moment verfügbaren Stand der Technik bei Li-Ionen-Zellen. Die Fortschritte werden alleine durch die Verbesserungen im Bereich der Kühlung und Optimierung der Ladeprofile erzielt. Bei den Zellen handelt es sich um Zellen, die auf maximalen Energieinhalt ausgelegt sind. Alternativ wären Zellen verfügbar, die auf maximale Leistung zu Lasten des Energieinhalts optimiert sind. Diese wurden jedoch schon in der Konzeptphase verworfen, weil im Forschungsfahrzeug höchste Ladeleistung ohne eine Verringerung der Reichweite erzielt werden soll.

Die im Projekt demonstrierten höchsten Ladeleistungen führen tendenziell zu einer Verringerung der Batteriebensdauer. Im Projekt wurden bewusst keine Ladeprofile gefahren, die zu einer vollkommen unrealistisch kurzen Lebensdauer führen würden. Dennoch muss betont werden, dass das präsentierte Ladeprofil mit anfänglich 400 kW mit heutiger Zelltechnologie trotz größtem Kühlaufwand bzgl. Batteriebensdauer noch nicht serientauglich ist. Um diesbezüglich weitere Verbesserungen zu erreichen, müssen von Seiten der Zellchemie noch Fortschritte erzielt werden. Außerdem wäre in diesem Zusammenhang eine nochmals verstärkte Batteriekühlung während des Schnellladevorgangs unter Zuhilfenahme der Ladeinfrastruktur sinnvoll.

7 Testmanagement und Datenauswertung

7.1 Testmanagement

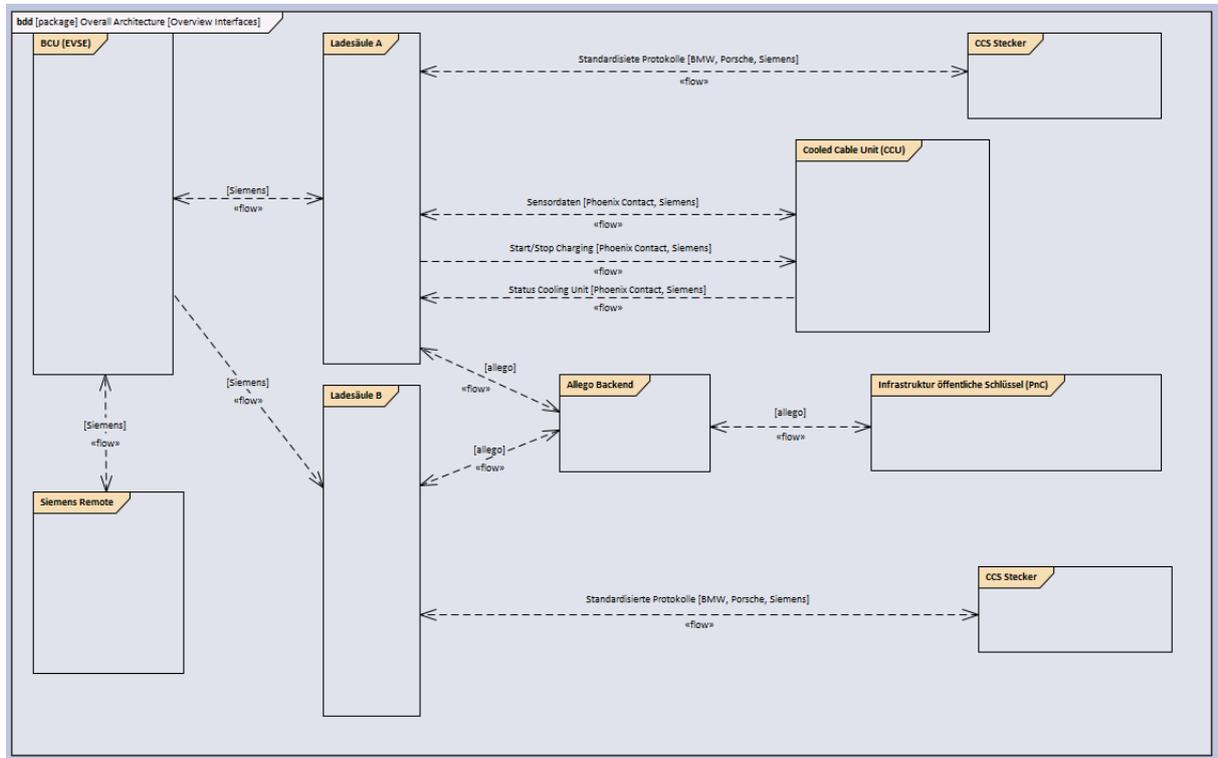


Abbildung 135: FastCharge Systemkomponenten

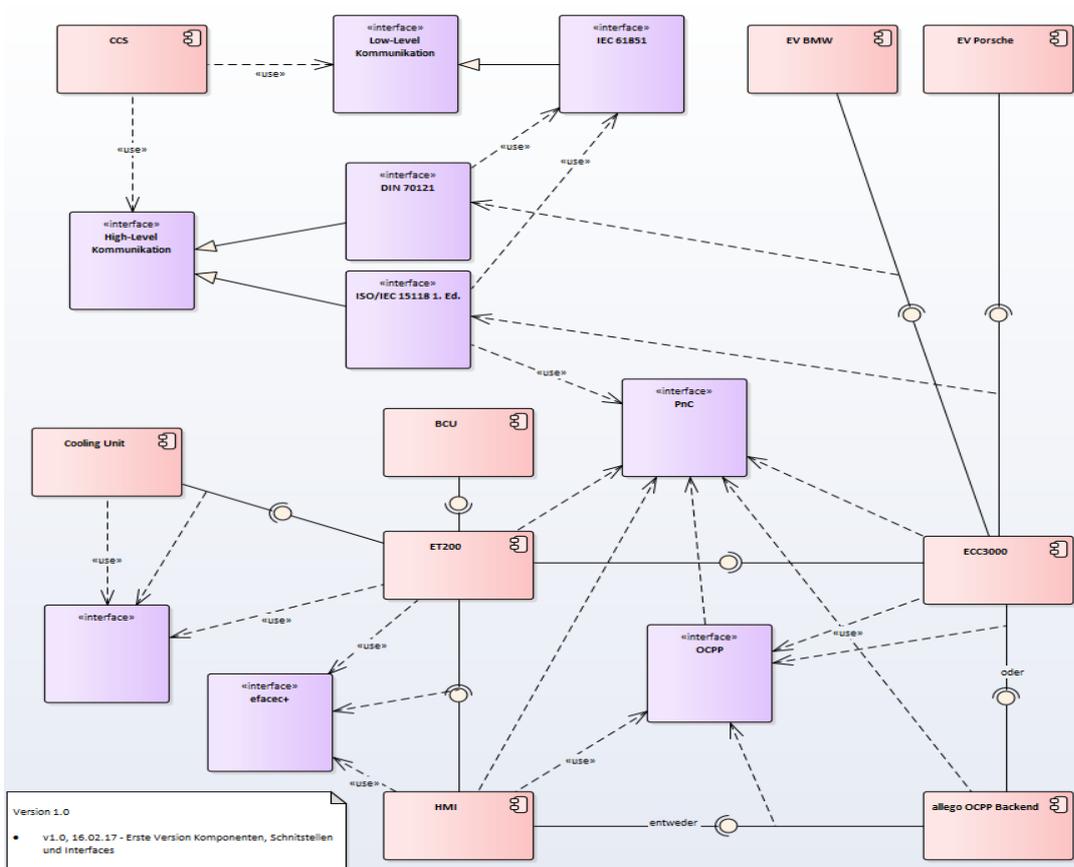


Abbildung 136 Identifizierte Komponenten, Schnittstellen und Protokolle

An den Schnittstellen unterscheiden wir

- Unit-Tests (partner-spezifisch)
- (Einzel-)Komponententests (partner-spezifisch)
- Konformitätstests bei den standardisierten Protokollen
- Integrationstests zwischen verschiedenen Partnern auf Controller-Ebene
- Tests am Gesamtsystem

Unit Tests laufen bei den Partnern auf Softwareebene bereits während der Entwicklung ab und sind von den Entwicklern selbst durchzuführen und entsprechend zu dokumentieren.

(Einzel-)Komponententests definieren wir auf Komponentenebene an den Schnittstellen bei den jeweiligen Partnern. An Schnittstellen zwischen verschiedenen Partnern sind Tests zwischen den betreffenden Partner zu organisieren und in geeigneter Weise zu dokumentieren.

Konformitätstests an Schnittstellen an denen standardisierte Protokolle zum Einsatz kommen, sind von den betroffenen Partnern entsprechend zu organisieren und entsprechend zu dokumentieren, bevor Integrationstests auf Controller-Ebene starten; Die Tests umfassen die Protokolle ISO/IEC 15118 Ed.1, DIN 70121 und OCPP 1.6. Im Falle von OCPP sind die Anforderungen an das Protokoll von Allego aus Betreibersicht entsprechend zu definieren.

Integrationstests auf Controller-Ebene können/sollten immer dann zwischen verschiedenen Partner organisiert werden, wenn erste Implementierungen auf jeder Seite vorliegen.

Leistungstests – Erste Leistungstest fanden in München statt. Diese beziehen sich auf das Gesamtsystem bei Leistungsfluss. Geeignete Testfälle zur Überprüfung der Leistung werden partner-spezifisch durchgeführt.

Tests am Gesamtsystem – Charger & Auto – werden in München durchgeführt. Als Testfälle werden verschiedene Ladeprofile verwendet, um die Ladeleistung langsam zu erhöhen.

Die Spezifikation von Testfällen beinhaltet die folgenden Bestandteile:

- Vorbedingungen für einen Testfall (pre-condition test case)
- Beschreibung des Testfalls (test case)
- Systemzustand nach einem Testlauf (post-condition test case)

Im Projekt werden die folgenden Testphasen durchlaufen:

- Partner-interne Tests
In dieser Phase stellen die Partner sicher, dass die von ihnen entwickelte Software funktional den Spezifikationen entspricht.
 - Software Komponenten Tests (unit test)
Die einzelnen Software Komponenten werden bzgl. interner Schnittstellen und Funktion überprüft.
 - Schnittstellen Tests
Die Partner entwickeln eigene Black Box Schnittstellen Tests, die im Allgemeinen darauf beruhen, dass Abläufe simuliert werden. Hier werden oft Annahmen bzgl. Übertragungsparameter und Ablaufverhalten gemacht, die nicht in allen Belangen der Realität entsprechen. Insbesondere werden eventuell geltende Zeitbegrenzungen in dieser Phase nicht berücksichtigt. Darüber hinaus werden vorzugsweise Gutfälle simuliert und nicht die Fehlerfälle.
- Partnerübergreifende Tests
Die Tests zwischen den Partnern dienen dazu, frühzeitig prinzipielle Unterschiede bzw. Fehler in der Interpretation von standardisierten Protokollen und Schnittstellen festzustellen.
 - Kommunikationsschnittstelle Internet
Da die zu testenden Schnittstellen auf dem Internet-Protokoll beruhen, liegt es nahe, so früh wie möglich entsprechende Remote-Tests über Internet durchzuführen. An der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladesäule war es dafür notwendig, Teile der Simulationsumgebung weiterhin zu aktivieren (z.B. Pilotleitung). Damit konnte z.B. sehr früh die sichere Kommunikation über das Transport Layer Security und damit das Zertifikatshandling getestet werden. Allerdings waren Zeitüberwachungsfunktionen besonders an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladesäule nicht testbar.
 - Vor Ort Tests
Aufgrund der engen Zeitvorgaben an der Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladesäule wurden hier besonders intensive vor Ort Tests organisiert und durchgeführt.
 - Konformitätstest Schnittstelle Ladesäule <-> Fahrzeug
Erste Konformitätstests sind prinzipiell vor den vor Ort Tests mit den Partnern vereinbart. Die Tests der Siemens-Implementierung der ISO/IEC 15118 Ed.1 Funktionalität der Ladesäule basieren auf der standardisierten Konformitätstestspezifikation ISO/IEC 15118-5.
 - Konformitätstest Schnittstelle Ladesäule <-> Ladesäulenmanagement
Die Schnittstelle zwischen Ladesäule und Ladesäulenmanagement (OCPP 1.6) musste zur Unterstützung von Plug and Charge entsprechend erweitert

werden. Da diese Erweiterung projektspezifisch ist, gibt es dafür keine handelsüblichen Konformitätstester.

7.2 Testergebnisse und Datenauswertung

- **Schnittstelle Fahrzeug <-> Ladesäule (DIN 70121 & ISO/IEC 15118 Ed.1)**

Es wurde eine umfangreiche Simulations- und Debugging-Infrastruktur implementiert, um die internen Ladeabläufe zu simulieren und dabei auftretende Fehler lokalisieren zu können. Ziel ist die Verbesserung der Softwarequalität und Erhöhung der Robustheit der Schnittstellen zu den externen Partnern.

Zusätzlich nahm Siemens im Projektzeitraum zweimal an internationalen Test-Symposien im Rahmen der ISO/IEC 15118 Standardisierung teil. Hier wurden mit den anwesenden Teilnehmern entsprechende Controllertests auf Basis der Simulationsumgebung durchgeführt.

Für die Tests der Kommunikationsschnittstellen über Internet wurden den Partnern entsprechende Remote-Zugänge zur Verfügung gestellt, um u.a. die TLS-Kommunikation zu überprüfen und den Kommunikationsablauf bis zu den PnC-Funktionen zu testen. Dies trug erheblich zur schnelleren Integration dieser Funktionen bei.

Aufgrund der räumlichen Nähe zu BMW wurden die vor Ort Tests besonders intensiv gestaltet. Durch zahlreiche Abstimmungen konnten Fehler behoben werden, indem die Testergebnisse anhand der Log-Dateien dokumentiert wurden und später entsprechend analysiert werden konnten.

Aufgrund der Vorarbeit zusammen mit BMW konnten die anschließenden Integrationstests mit Porsche an einem Tag erfolgreich abgeschlossen werden.

Während der laufenden Tests mit BMW wurde ein Produkt zum Konformitätstest der Firma Verisco erworben. Mit diesem Tester wurde die Implementierung nochmals überprüft und besonders im Bereich Fehlerbehandlung verbessert.

Kommunikation gemäß DIN Spec 70121

Diese Kommunikation gemäß DIN Spec 70121 wurde vollständig umgesetzt, in einem Erprobungsfahrzeug und mit einer emulierten DIN-Ladesäule getestet. Die ausgetauschten Nachrichtenpaare sind in den nachstehenden Sequenzdiagrammen in Abbildung 137 und Abbildung 138 abgebildet.

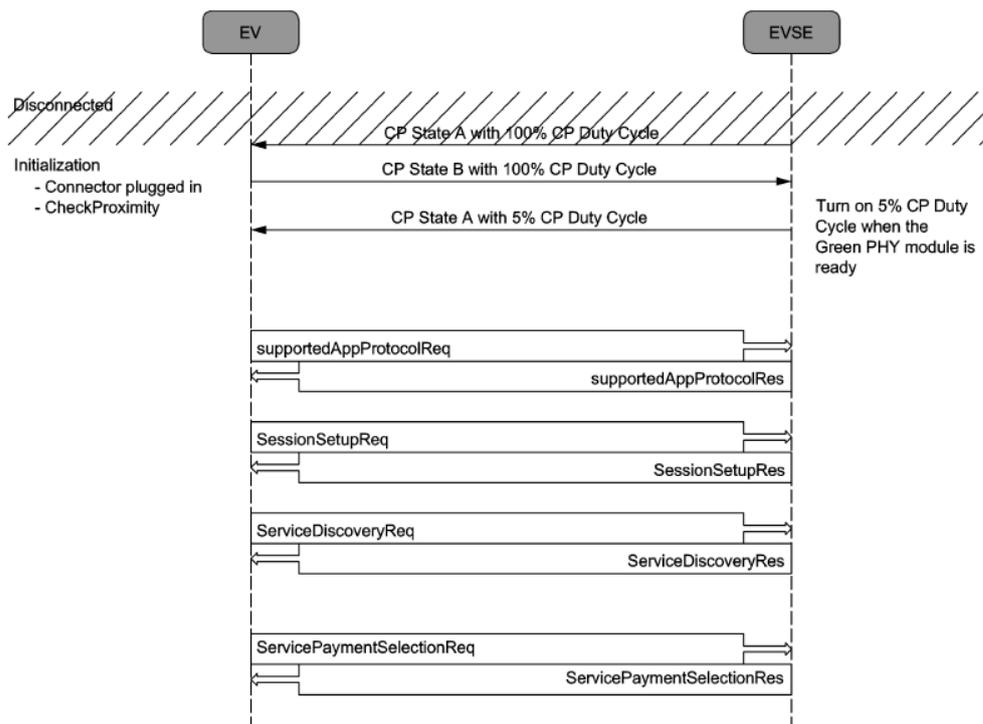


Abbildung 137 Initialisierung zwischen EV und EVSE (1/2)

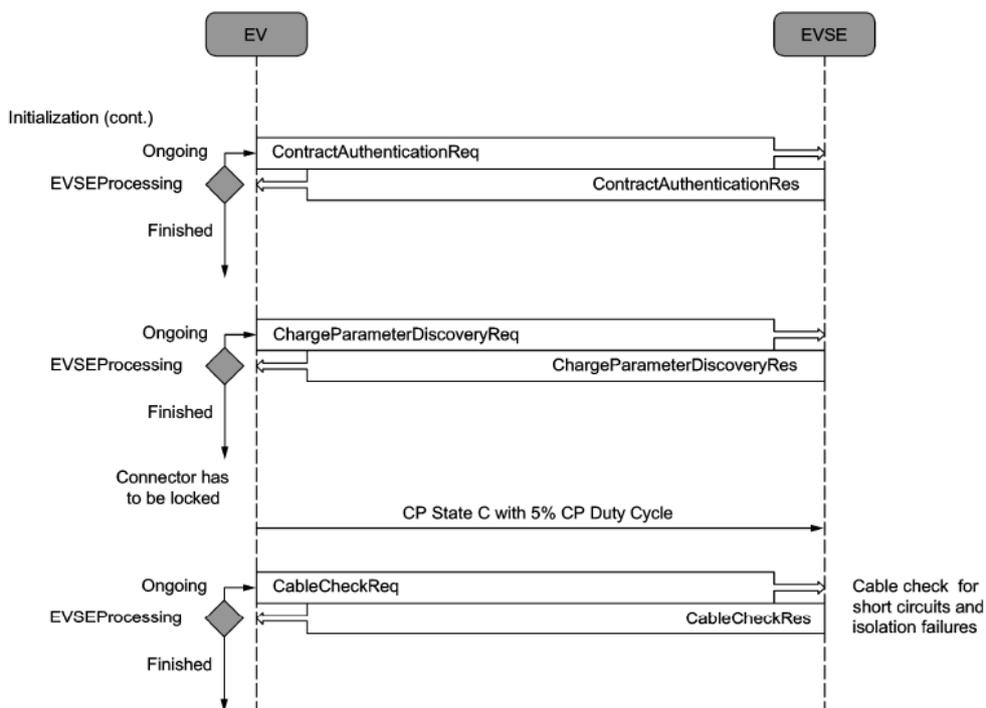


Abbildung 138 Initialisierung zwischen EV und EVSE (2/2)

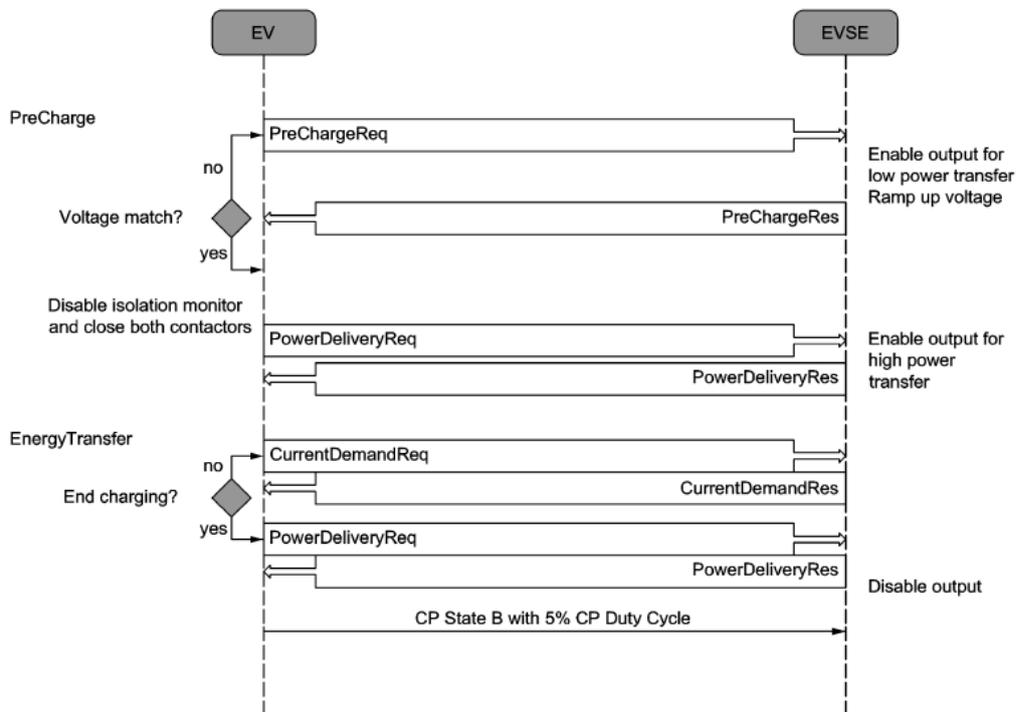


Abbildung 139 Precharge und Energy Transfer zwischen EV und EVSE

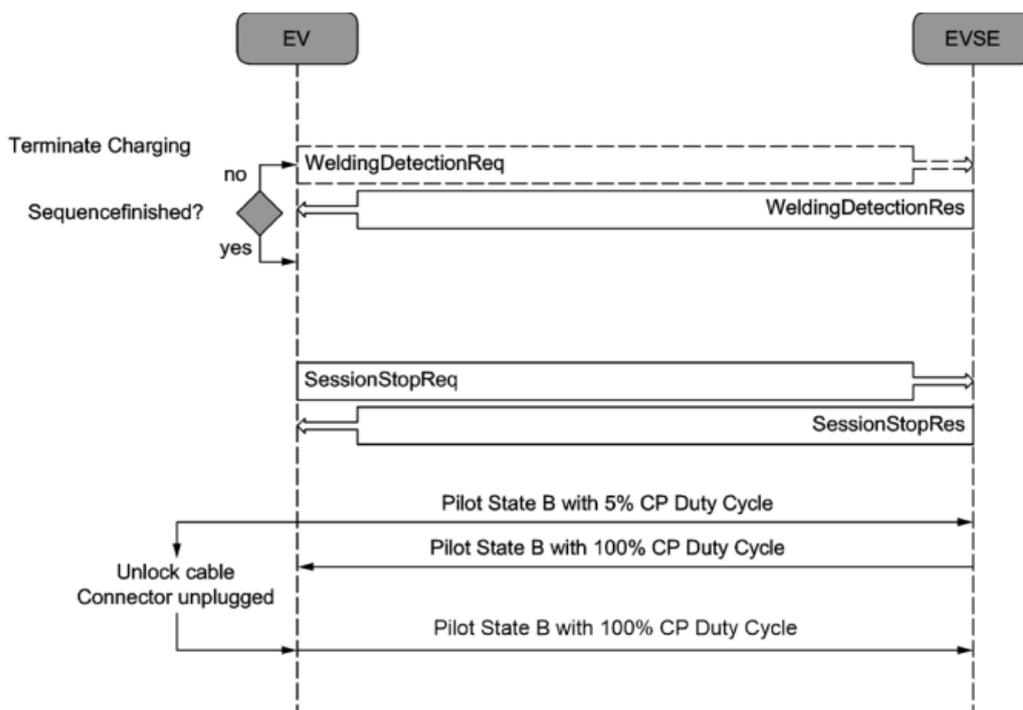


Abbildung 140 Ende der Ladesequenz zwischen EV und EVSE

Bei den durchgeführten Tests stand die Kommunikation im Vordergrund. Die Nachrichtenpaare zur Initialisierung (Abbildung 137 und Abbildung 138) zwischen Fahrzeug (EV) und Ladesäule (EVSE) werden erfolgreich ausgetauscht. Da es sich bei der Ladesäule lediglich um den EVSE-Controller und keine reale Ladesäule handelt, wird der Austausch der CurrentDemandReq/Res-Nachrichten (Abbildung 139) nach wenigen Sekunden beendet, weil

es zu keiner Leistungsübertragung kommt. Die Kommunikation wird schließlich wie in Abbildung 140 dargestellt beendet.

Kommunikation gemäß ISO 15118

Der grobe Ablauf für diese Form der Kommunikation ist im folgenden Ablaufdiagramm dargestellt.

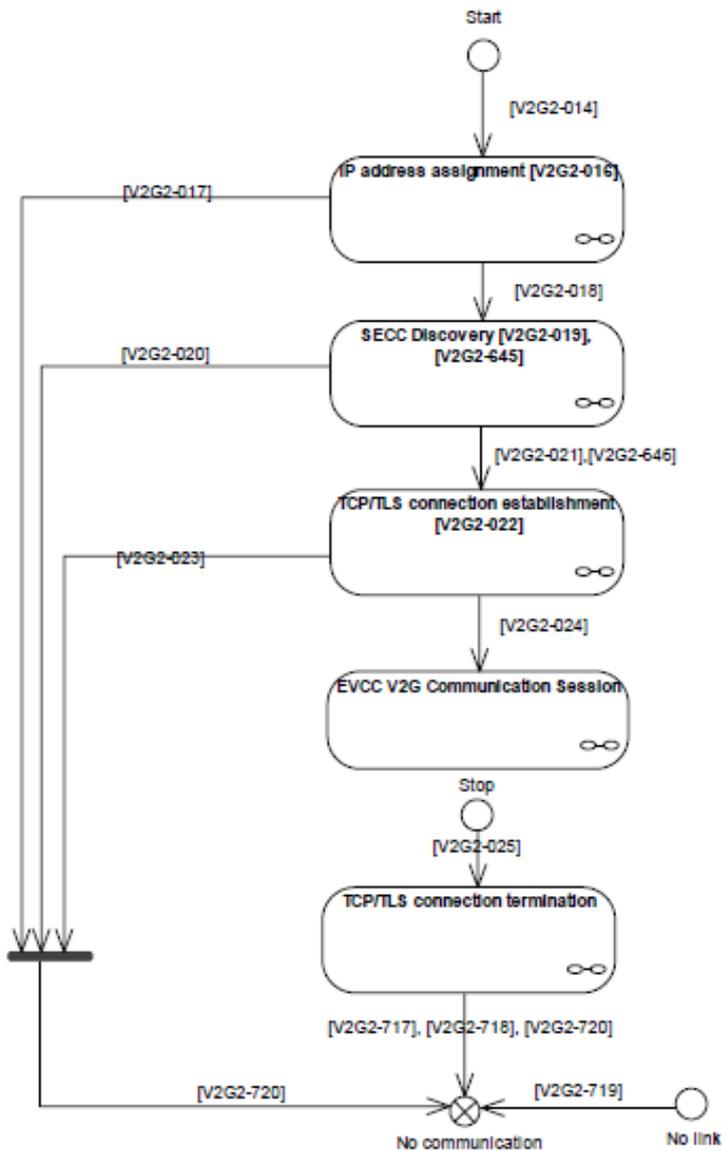


Abbildung 141 Überblick zu den fahrzeugeitigen Zuständen einer V2G-Communication-Session

Der aktuelle Stand der Umsetzung ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 8 Aktueller Stand der Umsetzung/Zustand	Umsetzung [%]	aktueller Stand
IP address assignment	100	Erfolgreich getestet ¹⁾
SECC Discovery	100	Erfolgreich getestet ¹⁾
TCP/TLS connection est.	100	SW erfolgreich getestet ²⁾
V2G Comm. Session	100	SW erfolgreich getestet ³⁾
TCP/TLS connection ter.	100	SW erfolgreich getestet ²⁾

Abbildung 142 Aktueller Stand der Umsetzung für die Ladekommunikation

¹⁾Es haben bereits Tests mit dem Testfahrzeug und der Siemens-Ladesäule stattgefunden, bei denen IP address assignment und SECC Discovery erfolgreich durchgeführt wurden.

²⁾Die TCP/TLS-Verbindung wurde SW-seitig erfolgreich hergestellt. Das bedeutet, dass die Implementierung für das Testfahrzeug mit einem Siemens-Ladesäulen-Controller getestet wurde. Der Ablauf für den TLS-Handshake ist exemplarisch dargestellt wobei das Fahrzeug die Rolle des Clients und die Ladesäule die des Servers einnimmt.

³⁾Bei der V2G-Communication-Session ist eine Unterscheidung vorzunehmen: zum einen müssen durch den Standard ISO 15118 zwei Message Sets (EIM und PnC) berücksichtigt werden. Zum anderen finden sowohl Softwaretests als auch reale Tests zwischen Fahrzeug und Ladesäule statt. Die bisherigen Leistungen sind nachstehend beschrieben.

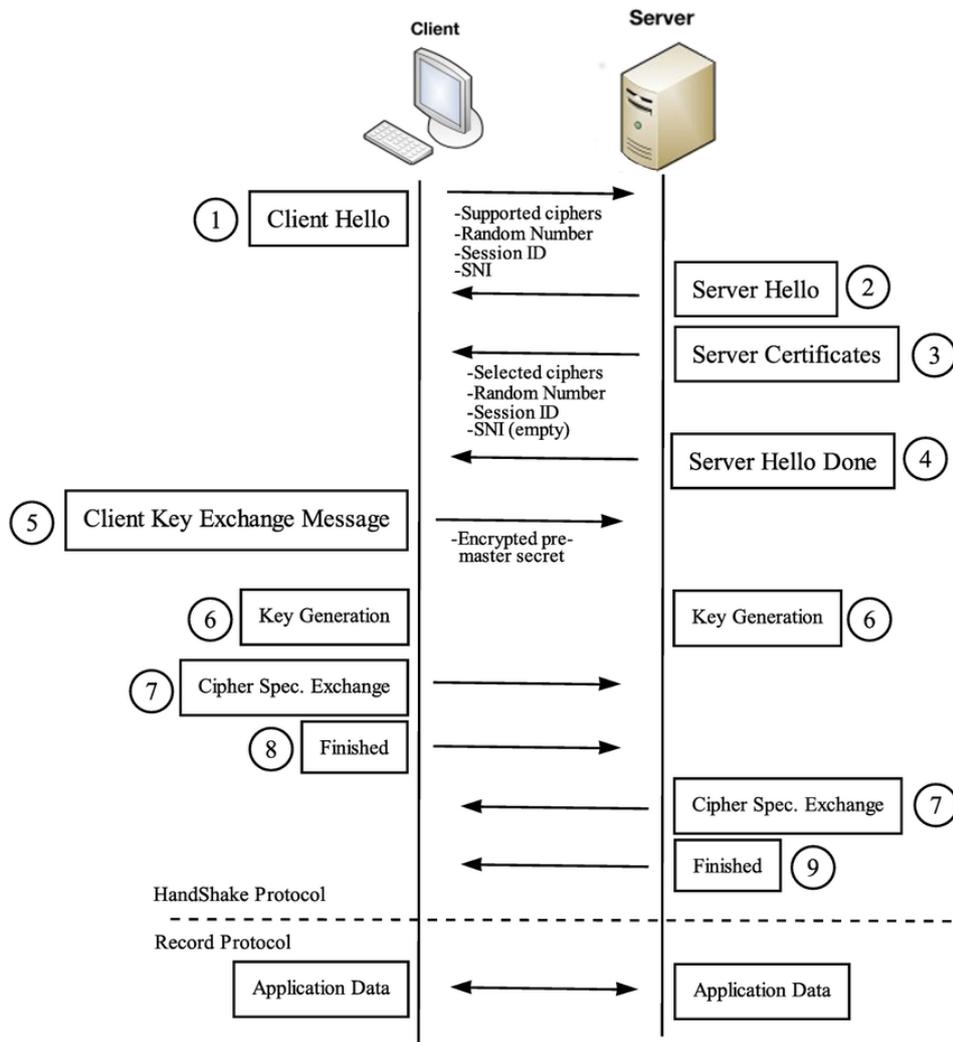


Abbildung 143 TLS-Handshake (exemplarisch)

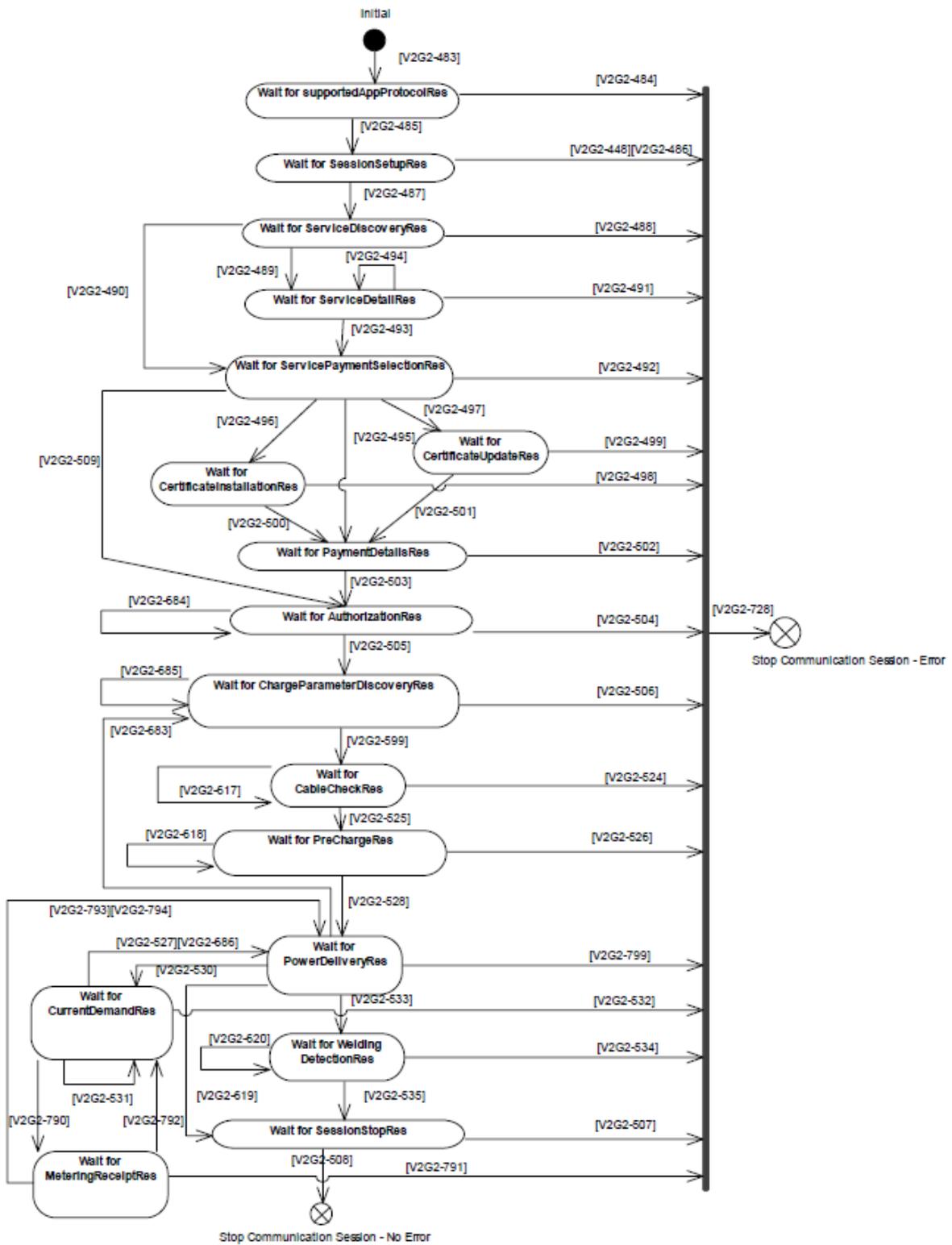


Abbildung 144 Kommunikationszustände für die DC-Nachrichtenübermittlung

Alle für das Projekt FastCharge relevanten Zustände für die Kommunikation gemäß ISO 15118 wurden implementiert (Abbildung 144).

Für das Message Set EIM wurde sowohl TLS als auch die State Machine auf Softwareebene vollständig und erfolgreich getestet. Die davon betroffenen Nachrichtenpaare werden in der Abbildung 137 sowie in der Abbildung 138 aufgelistet.

EIM	PnC	Umsetzung [%]	Test
SupportedAppProtocol SessionSetup ServiceDiscovery ServicePaymentSelection		100	Erfolgreich getestet.
-	CertificateInstallation	0	Out of Scope
-	(CertificateUpdate)	0	Out of Scope
-	PaymentDetails	100	Erfolgreich getestet.
Authorization ChargeParameterDiscovery CableCheck PreCharge PowerDelivery CurrentDemand PowerDelivery WeldingDetection SessionStop		100	Erfolgreich getestet.

Tabelle 9 Teststatus für ISO 15118 Nachrichten

Die ersten Softwaretests für das Message Set PnC wurden ebenfalls mit TLS-Verschlüsselung durchgeführt. Aktuell bricht die Kommunikation beim Senden des PaymentDetailsReq ab. An dieser Stelle übermittelt das Fahrzeug später das Vertragszertifikat sowie alle bis zum Root-Zertifikat vorhandenen MO-Sub-CA-Zertifikate an die Ladesäule.

Bei den realen Tests zwischen Fahrzeug und Ladesäule wurde sowohl Message Set EIM als auch Message Set PNC betrachtet. Nach erfolgreichem SLAC (signal level attenuation characterization) zur Vermeidung von Cross-Talking, IP address assignment und SDP (SECC Discovery Protocol) wird (bisher ohne TLS) eine V2G-Communication-Session zwischen Fahrzeug und Ladesäule aufgebaut. Nach Festlegung des Protokolls (SupportedAppProtocol) werden auch die ersten Nachrichtenpaare ausgetauscht. Beim Empfang der Nachricht ServicePaymentSelectionRes bricht die Kommunikation aktuell ab. Der Grund für den Abbruch muss noch analysiert werden.

Fehlerkurve

Nach Anpassung des Timings in der SW ist die Fehlerwahrscheinlichkeit deutlich reduziert. Die aktuelle SW läuft stabil im Test mit der Siemens Ladestation.

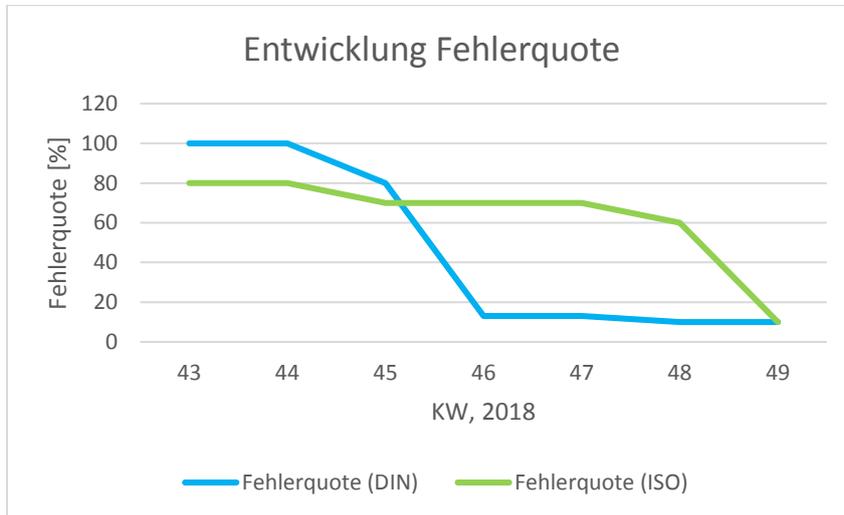


Abbildung 145 Entwicklung Fehlerkurve DIN/ISO

- **Schnittstelle Ladesäule <-> Ladesäulenmanagement (OCPP 1.6+)**

Zur Vorbereitung der Tests mit Allego wurde die OCPP 1.6 Client Implementierung auf der Säule mit der Siemens Server Seite integriert, die als Produkt im Siemens Konzern erhältlich ist.

Zwischen den Partnern wurde dann die Kompatibilität zu OCPP 1.6 getestet. Hierzu wurde als erstes der Kommunikationsaufbau in einem Virtual Private Network von Allego via Hypertext Transfer Protocol (http) mit den entsprechenden OCPP 1.6 Nachrichten als Payload getestet. Nachdem die erweiterten Funktionen für PnC entsprechend definiert waren, wurde eine Umstellung des Kommunikationsprotokolls auf https von Allego beschlossen. Siemens hat die entsprechenden Umstellungen durchgeführt und die für PnC notwendigen Basis-Erweiterungen implementiert und getestet. Aufgrund der fehlenden Bereitstellung einer serverseitigen Lösung seitens Allego konnte jedoch keine entsprechende Integration im Projektverlauf stattfinden.

Ergebnisse und Empfehlungen

Als Vorbereitung der Tests wurde die OCPP 1.6 Client Implementierung auf der Säule mit der Siemens Server Seite integriert, die als Produkt im Siemens Konzern erhältlich ist. Zwischen den Partnern wurde dann die Kompatibilität zu OCPP 1.6 getestet. Hierzu wurde als erstes der Kommunikationsaufbau in einem Virtual Private Networks von Allego via das Hypertext Transfer Protocol (http) mit den entsprechenden OCPP 1.6 Nachrichten als Payload getestet. Nachdem die erweiterten Funktionen für PnC entsprechend definiert waren wurde eine Umstellung des Kommunikationsprotokolls auf http Secure s von Allego beschlossen. Siemens hat die entsprechenden Umstellungen durchgeführt und die für PnC notwendigen Basis Erweiterungen implementiert und getestet. Aufgrund der fehlenden Bereitstellung einer

Server Lösung seitens Allego konnte jedoch keine entsprechende Integration im Projektverlauf stattfinden.

Zur Aufzeichnung der Ladevorgänge hat man sich im Projekt darauf geeinigt, dass alle Informationen, die zwischen Fahrzeug und Ladesäule ausgetauscht werden in einer zentralen Daten Basis gespeichert werden. Dadurch ergab sich die folgende Architektur.

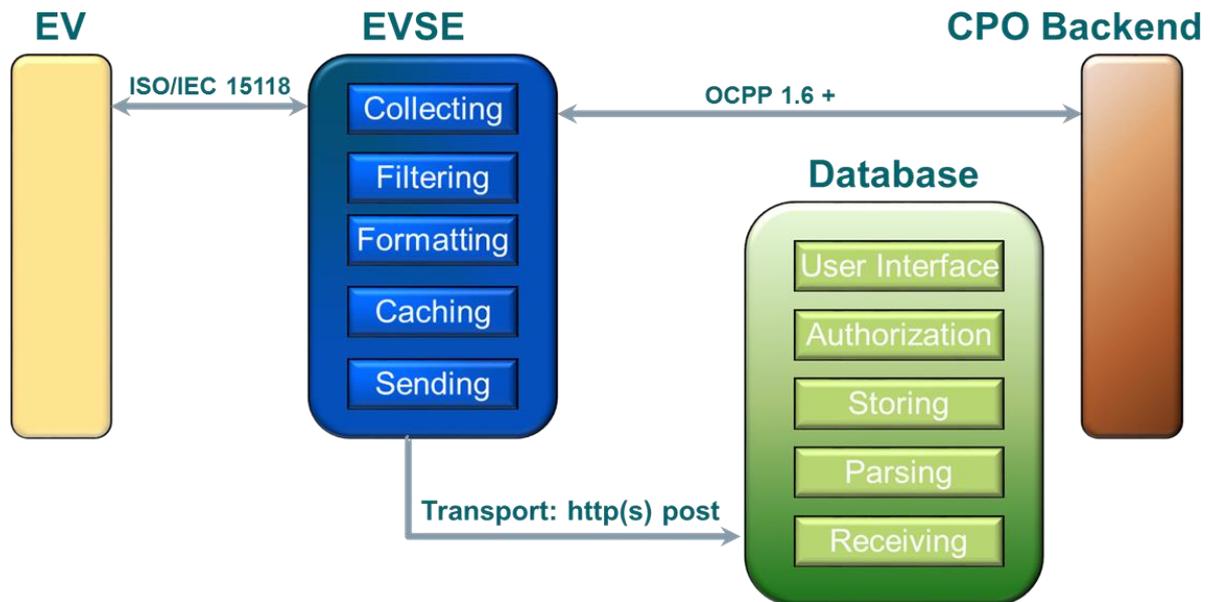


Abbildung 146 Data Management Architektur

Siemens hat eine entsprechende Schnittstelle zum Data Management basierend auf https spezifiziert. Die Datenstrukturen wurden entsprechend RFC 8259 im JSON Format festgelegt. Zu realisierende Funktionen auf der Säulenseite waren das Sammeln, Filtern und Formatieren der Daten und insbesondere die Zwischenspeicherung, die im offline Fall sicherstellt, dass während dieser Zeit ablaufende Ladeprozesse nicht verloren gehen.

Die Schnittstelle wurde von Siemens implementiert, getestet und mit einer Allego Cloud Lösung integriert.

8 Begleitforschung & Öffentlichkeitsarbeit

8.1 Begleitforschung

Die Erkenntnisse aus dem FastCharge Projekt liefern wertvolle Beiträge im Rahmen der von der NOW GmbH koordinierten programmatischen Begleitforschung.

Diese Teilaufgabe beinhaltet sämtliche Anstrengungen der Projektpartner im Hinblick auf die Begleitforschung. Auch durch den Pressetag in Jettingen-Scheppach (siehe Kapitel 8.2) und das Erlebarmachen der Forschungsergebnisse, wurde die strategische Öffentlichkeitsarbeit der Modellregionen Elektromobilität unterstützt. Die programmatische Arbeit der NOW GmbH und die Arbeit des BMVI wurden einer breiten Masse sichtbar dargestellt.

Im Rahmen dieses Abschlussberichtes werden dem Fördergeber sowie dem Förderkoordinator noch einmal projektspezifische Texten, Fotos und Graphiken zur Unterstützung der strategischen Öffentlichkeitsarbeit der Modellregionen Elektromobilität gebündelt zur Verfügung gestellt. Die zentralen Fragestellungen der Begleitforschung sind in den Fachkapiteln sorgfältig und spezifisch aufbereitet. Die Beschreibungen der Projektergebnisse sind durch Graphiken ergänzt. Über die gesamte Laufzeit des Projektes hinweg war das FastCharge Konsortium bzgl. der Inhalte der Begleitforschung in engem Austausch mit dem Förderkoordinator. Eine hohe Qualität der Ergebnisse konnte so fortlaufend sichergestellt werden.

U.a. folgende Forschungsfragen werden durch das Konsortium im Projekt FastCharge umfassend beantwortet. Für die Beantwortung der Fragestellungen wird wie folgt auf die jeweiligen Fachkapitel verwiesen.

Kategorie	Fragestellung	Beantwortung
Fahrzeug und Komponenten	Welche Anforderungen stellt HPC an ein Fahrzeug und seine Komponenten, insbesondere an Batterie und Batteriesicherheit?	Kapitel 5 & Kapitel 6
Fahrzeug und Komponenten	Welche dieser Anforderungen stellen limitierende Faktoren für HPC auf der Fahrzeugseite dar, v.a. in Hinblick auf Abwärme, Batterie (Bauart, Zellchemie, Zelltemperatur etc.) Batterieintegration in das Fahrzeug, Leitungsgrenzen etc.?	Kapitel 5 & Kapitel 6

Fahrzeug und Komponenten	Welche Grenzen für HPC ergeben sich daraus aus Sicht des Fahrzeugs?	Kapitel 5 & Kapitel 6
Ladeinfrastruktur	Welche Anforderungen stellt HPC an LIS und ihre Komponenten (Verfügbarkeit, Ausfallsicherheit, Einsatzreife, Marktperspektive)?	Kapitel 3
Ladeinfrastruktur	Welche dieser Anforderungen stellen limitierende Faktoren auf LIS-Seite dar, v.a. in Hinblick auf Dimensionierung des Netzanschlusses, CCS-Standard, Arbeit in Standardisierungsgremien, Standardisierungsbedarfe, Eichrechtskonformität, etc.?	Kapitel 3 & 4
Ladeinfrastruktur	Welche Grenzen für HPC ergeben sich daraus aus Sicht der Ladeinfrastruktur?	Kapitel 3 & 4
Standardisierung	Welche Ergebnisse hat dieses Projekt in die Standardisierung eingebracht?	Kapitel 3.3 Kapitel 3.4 Kapitel 7
Standardisierung	Wo sind noch Standardisierungsbedarfe?	Kapitel 3.3 Kapitel 9
Effizienz	Wie hängt die Ladeeffizienz von der Ladeleistung und Batteriegröße ab?	Kapitel 5 & Kapitel 6

Effizienz	Welche Grenzen für HPC ergeben sich aus Sicht der Effizienz?	Kapitel 5 & Kapitel 6
Markt	Welche HPC Angebote anderer Hersteller sind bekannt?	Siehe Anhang 6
Markt	Welche Implikationen hat HPC für den notwendigen Netzausbau?	Kapitel 4.2
Markt	Welche Marktperspektive und Geschäftsmodelle, auch unter Berücksichtigung der Nutzerseite, werden vom Konsortium gesehen?	Kapitel 4.2

8.2 Berichterstattung & Öffentlichkeitsarbeit

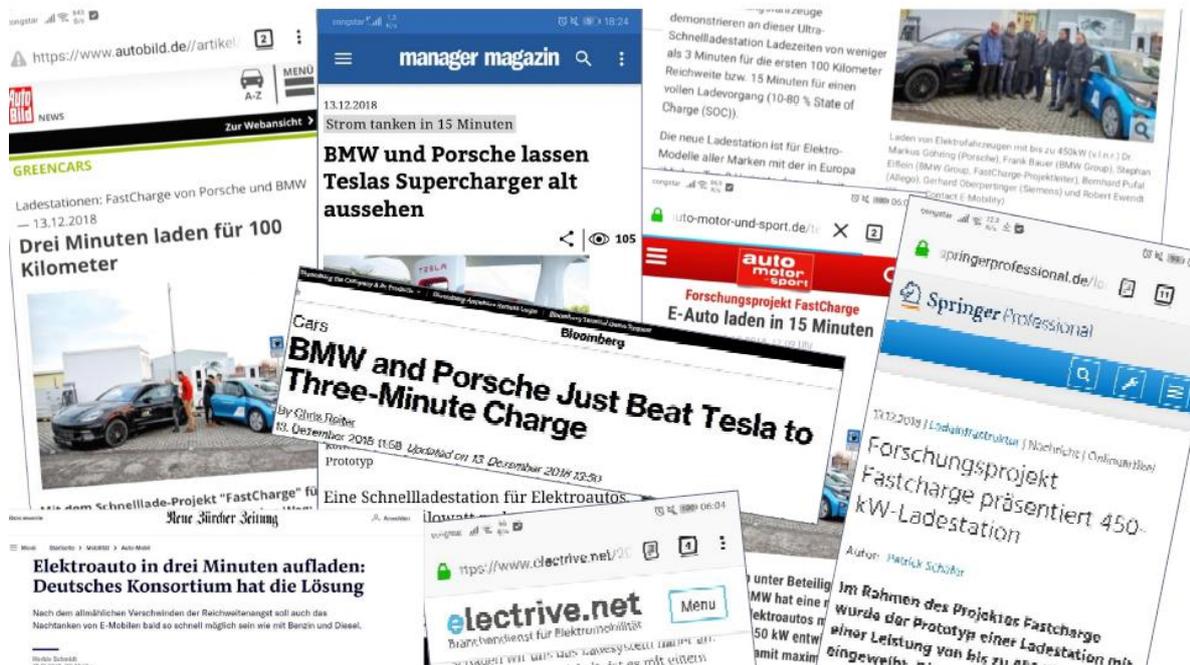


Abbildung 147 Übersicht Medienecho zum FastCharge Pressetag

Am 12. Dezember 2018 wurde das Gesamtsystem am Standort Jettingen-Scheppach für die Öffentlichkeit eingeweiht. Die Funktionsfähigkeit wurde erfolgreich live demonstriert. Der Branchendienst *electrive.net* hat den Event exklusiv begleitet¹² und Videobeiträge der Ladevorgänge sowie Stimmen des Projektleiters¹³ und weiterer Konsortialvertreter¹⁴ ¹⁵ veröffentlicht. Seit Januar 2019 kann der Standort Jettingen-Scheppach öffentlich, kostenfrei und für jedermann zugänglich bis 31.05.2019 genutzt werden.

Im Vorfeld des Events wurden, mit allen Partnern abgestimmt, für den Standort Kommunikationsmaterialien entworfen. Eine ca. 2 qm große Informationsgrafik (Abbildung 148) wurde hinter den zwei Ladesäulen auf einem Schild angebracht und aufgestellt.

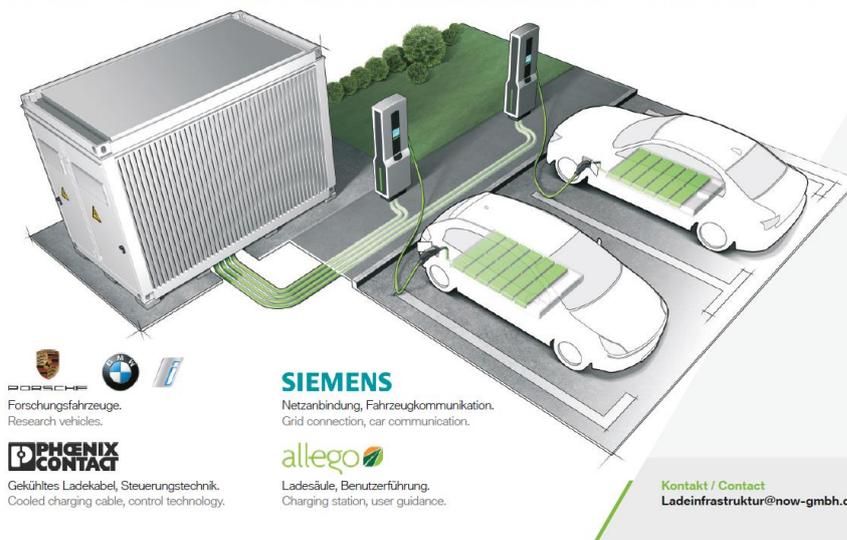
¹² Schwierz, P., 2018.

¹³ *electrive.Net*, 2018(a).

¹⁴ *electrive.Net*, 2018(b).

¹⁵ *electrive.Net*, 2018(c).

**ULTRA-SCHNELLADEN DER ZUKUNFT MIT BIS ZU 450 KILOWATT.
HIGH POWER CHARGING OF THE FUTURE WITH UP TO 450 KILOWATTS.**



POSCHE
Forschungsfahrzeuge.
Research vehicles.

PHENIX CONTACT
Gekühltes Ladekabel, Steuerungstechnik.
Cooled charging cable, control technology.

SIEMENS
Netzanbindung, Fahrzeugkommunikation.
Grid connection, car communication.

allego
Ladesäule, Benutzerführung.
Charging station, user guidance.

Kontakt / Contact
Ladeinfrastruktur@now-gmbh.de



Gefördert durch / supported by: **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur**

Koordiniert durch / coordinated by: **NOW**
NOW-GMBH.DE

Mit **FastCharge** können Fahrzeuge viel schneller als bisher geladen werden. Laden kann damit perspektivisch **so schnell wie Tanken** erfolgen. Diese Forschungs-Stromtankstelle ist nutzbar für **elektrifizierte Fahrzeuge** aller Marken. Die Benutzung ist kostenlos. Die maximale Ladeleistung beträgt **450 Kilowatt**. Auch Fahrzeuge, die nur über eine geringere maximale Ladeleistung verfügen, können hier ohne Modifikation laden. Der Ladevorgang dauert dann entsprechend länger.

With **FastCharge**, vehicles can be charged much faster than before. Perspectively, charging can become **as fast as fueling**. This prototype of a charging station can be used by **electric vehicles** of all brands. The usage is free. The maximum charging power here is **450 kilowatts**. Even vehicles with a lower maximum charging power can be charged here without modification. The charging process just takes longer in these cases.

Abbildung 148 Informationsgrafik FastCharge Projekt

Für die Ladesäulen wurden zusätzlich informative Aufkleber entworfen (Abbildung 149).

ULTRA-SCHNELLADEN DER ZUKUNFT MIT BIS ZU 450 KILOWATT.

HIGH POWER CHARGING OF THE FUTURE WITH UP TO 450 KILOWATTS.

Kontakt / Contact
Ladeinfrastruktur@now-gmbh.de

Gefördert durch / funded by:
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Koordiniert durch / coordinated by:
NOW
NOW-GMBH.DE



Abbildung 149 Aufkleber Ladesäule

Der ganztägige Passetag in Jettingen-Scheppach fand auf dem Euro-Rastpark statt. Neben den Projektleitern der Konsortialpartner waren auch weitere Projektbeteiligte der Partner sowie abgesandte des Förderkoordinators, der NOW GmbH, vor Ort. Highlight des Tages war die erstmaligen Liveaufzeichnungen von Ultra-Schnellladevorgänge der Forschungsfahrzeuge durch das electrve.net Kamerteam.



Abbildung 150 Pressetag: Konsortialpartner am 13.12.2018 in Jettingen-Scheppach vor dem Ladesystem mit Forschungsfahrzeugen



Abbildung 151 Pressetag: Forschungsfahrzeuge am 13.12.2018 vor dem Gesamtsystem in Jettingen-Scheppach



Abbildung 152 Forschungsfahrzeuge am 13.12.2018 vor dem Gesamtsystem in Jettingen-Scheppach II

In der folgenden Abbildung ist ein Screenshot der eigens entwickelten Porsche-App für die Tabletpresentation dargestellt. Die Ladeleistung, der Ladezustand die erreichten Kilometer sowie die Ladezeit des Porsche Forschungsfahrzeuges sind dort abgebildet. Die Kommunikation zwischen dem Tablet und dem Aggregateträger geschieht per WLAN.



Abbildung 153 Tabletoberfläche Porsche (exemplarische Werte)

Analog dazu wurden die Ladeinformationen des BMW Forschungsfahrzeuges auf einem Tablet veranschaulicht. Die Livedaten wurden während des Ladevorgangs vom Kamerateam gefilmt und anschließend auf electrive.net veröffentlicht (Abbildung siehe unten).

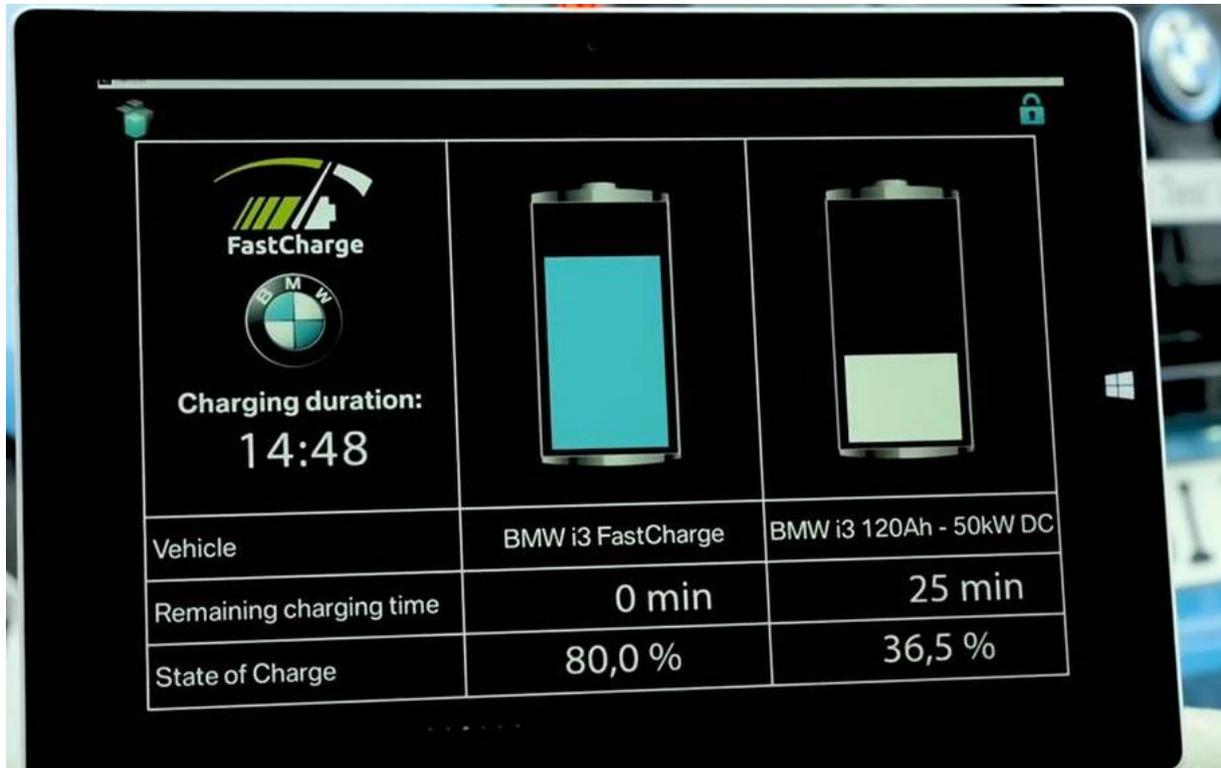


Abbildung 154 Tabletoberfläche BMW

Die offizielle, gemeinsame Pressemitteilung (siehe 8.3. im Original, BMW Branding) wurde von allen Konsortialpartnern auf den jeweiligen Homepages veröffentlicht. Das Medienecho war national und international enorm groß und viel sehr positiv aus. Alle bedeutende Nachrichtendienste, Online- und Fachmedien haben über das Projekt als Weltneuheit berichtet.^{16 17 18 19 20 21}

¹⁶ Reiter, C., 2018.

¹⁷ Seibt, T., 2018.

¹⁸ Focus, 2018.

¹⁹ Soller, G., 2018.

²⁰ Schmidt, A., 2018.

²¹ ManagerMagazin, 2018.

8.3 Pressemitteilung zur Livedemonstration des Gesamtsystems in Jettingen-Scheppach

BMW i Presse- und Öffentlichkeitsarbeit



Presse-Information
13. Dezember 2018

Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.

Steigerung der Ladeleistung auf bis zu 450 kW – Industriekonsortium entwickelt Technologie, die das Laden von Elektrofahrzeugen so schnell und komfortabel wie Tanken machen könnte.

Jettingen-Scheppach. Die am Forschungsprojekt „FastCharge“ beteiligten Industrieunternehmen präsentierten gestern die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiet der schnellen und komfortablen Energieversorgung von Elektrofahrzeugen. Im bayerischen-schwäbischen Jettingen-Scheppach wurde der Prototyp einer Ladestation mit einer Leistung von bis zu 450 kW eingeweiht. In diesem Projekt entstandene Elektro-Forschungsfahrzeuge demonstrieren an dieser Ultra-Schnellladestation Ladezeiten von weniger als 3 Minuten für die ersten 100 Kilometer Reichweite bzw. 15 Minuten für einen vollen Ladevorgang (10-80 % State of Charge (SOC)).

Die neue Ladestation ist für Elektro-Modelle aller Marken mit der in Europa üblichen Typ-2-Variante des weltweit verbreiteten Combined Charging System (CCS) geeignet und kann ab sofort kostenlos genutzt werden.

Das im Juli 2016 gestartete Forschungsprojekt „FastCharge“ wird von einem Industriekonsortium unter der Führung der BMW Group betrieben, dem die Allego GmbH, die Phoenix Contact E-Mobility GmbH sowie die Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG und die Siemens AG angehören. „FastCharge“ wird mit insgesamt 7,8 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert. Die Umsetzung der Förderrichtlinien wird von der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) koordiniert.

Firma
Bayerische
Motoren Werke
Aktiengesellschaft
Postanschrift
BMW AG
80788 München
Telefon
+49-89-382-72652
Internet
www.bmwgroup.com



BMW i

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Presse-Information

Datum 13. Dezember 2018

Thema Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.

Seite 2

Mit schnellem und komfortablem Aufladen steigt die Attraktivität von Elektromobilität. Die Steigerung der verfügbaren Ladeleistung auf bis 450 kW – dem Drei- bis Neunfachen der an bisherigen DC-Schnellladestationen maximal verfügbaren Leistung – ermöglicht eine deutliche Verkürzung der Ladezeiten. Im Rahmen von „FastCharge“ wird untersucht, welche technischen Voraussetzungen an Fahrzeugen und Infrastruktur erfüllt werden müssen, um die extrem hohen Ladeleistungen einsetzen zu können.

Die Basis bildet eine leistungsstarke Ladeinfrastruktur. Das im Projekt eingesetzte Energieversorgungssystem von Siemens ermöglicht es, die Grenzen der Schnellladefähigkeit der Fahrzeugbatterien zu erproben. Es kann schon heute mit höheren Spannungen von bis zu 920 Volt arbeiten, wie sie bei zukünftigen Elektrofahrzeugen erwartet werden. In das System wurden sowohl die Hochleistungselektronik für die Ladeanschlüsse als auch die Kommunikationsschnittstelle zu den Elektrofahrzeugen integriert. Dieser Lade-Controller sorgt für eine automatische Anpassung der abzugebenden Leistung, so dass verschiedene Elektroautos mit einer Infrastruktur geladen werden können. Die flexible, modulare Architektur des Systems erlaubt es außerdem, mehrerer Fahrzeuge simultan zu laden. Dank des Ladens mit hohen Stromstärken und Spannungen ermöglicht es eine Vielzahl unterschiedlicher Einsatzgebiete, etwa für Flottenladelösungen oder, wie in diesem Fall, das Laden an Autobahnen. Für den Anschluss an das öffentliche Stromnetz in Jettingen-Scheppach wurde im Projekt ein Ladecontainer mit zwei Ladeanschlüssen realisiert: Ein Anschluss hat eine bisher einmalige Ladeleistung von max. 450 kW, der Zweite gibt bis zu 175 kW ab. Beide Ladesäulen können ab sofort kostenlos mit allen CCS-fähigen Fahrzeugen genutzt werden.

Die jetzt vorgestellten Ladesäulen-Prototypen von Allego nutzen die Ladestecker des bewährten Combined Charging System (CCS) in der Typ-2-Variante für Europa. Dieser Ladestandard hat sich bereits heute bei einer Vielzahl von elektrifizierten Fahrzeugen bewährt und ist in weiten Teilen der Erde verbreitet.

Um die beim schnellen Aufladen mit besonders hoher Leistung auftretenden Anforderungen zu erfüllen, kommen gekühlte HPC-Ladekabel (High Power



BMW i Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Presse-Information
Datum 13. Dezember 2018
Thema Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.
Seite 3

Charging) von Phoenix Contact zum Einsatz, welche vollständig CCS-kompatibel sind. Als Kühlfüssigkeit wird ein umweltfreundliches Wasser-Glykol-Gemisch verwendet, wodurch der Kühlkreislauf halboffen gestaltet werden kann. Dadurch ist die Wartung im Gegensatz zu hermetisch geschlossenen Systemen, die mit Öl arbeiten, vergleichbar einfach, z. B. wenn Kühlfüssigkeit nachgefüllt wird.

Eine Herausforderung bestand darin, die in der Ladeleitung befindlichen Kühlschläuche beim Anschließen an die Ladesäule nicht zu quetschen, wie es mit einer herkömmlichen Kabelverschraubung passieren würde. In diesem Fall würden der Kühlfluss und damit die Kühlleistung beeinträchtigt werden. Dieses Problem wurde von Phoenix Contact gelöst durch eine speziell entwickelte Wanddurchführung mit definierten Schnittstellen für Leistungsübertragung, Kommunikation und Kühlung sowie integrierter Zugentlastung.

Je nach Fahrzeugmodell kann die neue Ultra-Schnellladestation sowohl für Fahrzeuge mit 400-V, als auch 800-V-Batteriesystemen eingesetzt werden. Ihre Ladeleistung passt sich automatisch der maximal zulässigen Ladeleistung des Fahrzeugs an. Die Zeitersparnis, die durch höhere Ladeleistungen erzielt werden kann, lässt sich am Beispiel des BMW i3 Forschungsfahrzeugs darstellen. Für einen Ladevorgang von 10-80 % SOC der Hochvoltbatterie mit 57 kWh Netto-Kapazität werden nur noch 15 Minuten benötigt. Dies kann fahrzeugseitig durch den speziell entwickelten Hochvoltspeicher in Kombination mit einer intelligenten Ladestrategie erreicht werden. Dazu zählen u.a. die genaue Vorkonditionierung der Speichertemperatur bei Ladestart, Temperaturmanagement während des Ladevorgangs und ein perfekt abgestimmtes Profil der Ladeleistung über Zeit. Der Ladevorgang erfolgt über ein neuartiges fahrzeugseitiges Mehrspannungsnetz mit Hochvolt-DC/DC-Wandler (HV-DC/DC), indem die geforderte 800-V-Eingangsspannung der Ladesäule auf die niedrigere 400-V-Systemspannung des BMW i3 Forschungsfahrzeugs transformiert wird. Durch den HV-DC/DC kann das Fahrzeug auch rückwärtskompatibel an allen alten und zukünftigen Ladestationen Strom tanken. Entscheidend für einen zuverlässigen Betrieb ist die gesicherte Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule. Deswegen werden ebenso Standardisierungsthemen zur Interoperabilität erforscht und in Normierungsgremien gebracht.



BMW i Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Presse-Information
Datum 13. Dezember 2018
Thema Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.
Seite 4

Das Porsche Forschungsfahrzeug mit einer Netto-Batteriekapazität von ca. 90 kWh erreicht eine Ladeleistung von über 400 kW und ermöglicht damit Ladezeiten von unter 3 Minuten für die ersten 100 km Reichweite.

Über Allego.

Allego ist ein führender europäischer Betreiber von Ladelösungen für Elektrofahrzeuge mit langer Erfahrung im Bereich Elektromobilität, einschließlich der Schaffung eines Netzwerks von Schnellladestationen mit mehreren Standards in Belgien, Frankreich, Deutschland, den Niederlanden, Luxemburg und dem Vereinigten Königreich. Bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Ladestationen arbeitet Allego erfolgreich mit Partnern aus verschiedenen Branchen zusammen. Allego betreibt über 10.000 Ladepunkte in städtischen Gebieten und entlang der Hauptverkehrswege und unterstützt Unternehmen und Fahrer von Elektrofahrzeugen über eine cloud-basierte Serviceplattform. Diese Plattform umfasst das gesamte Portfolio an praktischen Dienstleistungen wie Billing, Active Monitoring, Mobile Apps, Website-Portale und Analytics. Unternehmen können ihren Kunden, Mitarbeitern und Besuchern weltweit E-Ladeeinrichtungen unter einer eigenen Marke anbieten.
www.allego.eu

Über Phoenix Contact.

Die im Januar 2013 gegründete Phoenix Contact E-Mobility GmbH ist mit über 200 Mitarbeitern innerhalb der Phoenix Contact-Gruppe das Kompetenzzentrum für Ladetechnik im Bereich der Elektromobilität – und liefert Komponenten und Lösungen für Ladeinfrastruktur und Elektrofahrzeuge. Zum Produktportfolio zählen Ladekabel, Ladesteuerungen und Fahrzeug-Inlets für das Gleich- und Wechselstromladen. Mit der passenden Software sowie zahlreicher weiterer Komponenten der Phoenix Contact-Gruppe werden darüber hinaus Lösungen für eine leistungsfähige Ladeinfrastruktur bis hin zum intelligenten Ladeparkmanagement entwickelt. Als Innovationsträger setzt das Unternehmen Maßstäbe bei der Weiterentwicklung und der weltweiten Standardisierung einer modernen und alltagstauglichen Ladeinfrastruktur – so auch in der Entwicklung zukunftsweisender Schnellladetechnologien wie High Power Charging, um zur Akzeptanz und zum Durchbruch der Elektromobilität in der heutigen Gesellschaft beizutragen.
www.phoenixcontact.com/hpc

Über Porsche.

Die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG mit Sitz in Stuttgart-Zuffenhausen ist der weltweit führende Hersteller exklusiver Sportwagen. 2017 lieferte das Unternehmen rund 246.000 Neuwagen an Kunden in aller Welt aus und erwirtschaftete einen Umsatz von 23,5 Milliarden Euro. Das operative Ergebnis betrug 4,1 Milliarden Euro, womit Porsche zu den profitabelsten Automobilherstellern der Welt zählt. Mit der Sportwagen-Ikone 911 begründete Porsche vor über 50 Jahren das Sportwagen-Segment. Daneben haben sich mit dem 718 Boxster, 718 Cayman, Panamera, Macan, und Cayenne weitere Modellreihen etabliert.



BMW i Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Presse-Information
Datum 13. Dezember 2018
Thema Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.
Seite 5

Meilensteine setzt Porsche auch bei Plug-in-Hybrid-Antrieben:

So war Porsche der erste Hersteller, der diese Technologie bei Hochleistungsportwagen (918 Spyder), exklusiven Limousinen (Panamera S E-Hybrid) sowie Premium-Geländewagen (Cayenne S E-Hybrid) einsetzt.

Und im rollenden Versuchslabor 919 Hybrid arbeitete Porsche in der LMP1-Klasse der WEC Langstreckenweltmeisterschaft bis 2017 äußerst erfolgreich an der Technologie von morgen, die 2019 auch im ersten rein elektrobetriebenen Seriensportwagen Taycan zum Einsatz kommen wird. Insgesamt beschäftigt der Porsche AG Konzern rund 30.000 Menschen einschließlich weltweit 70 Tochtergesellschaften.

Produktionsstandorte sind Zuffenhausen (911, 718 Boxster, 718 Cayman) und Leipzig (Panamera, Macan).

Entwicklung und Design sowie der Motorsport sind im Entwicklungszentrum Weissach angesiedelt.

www.porsche.com

Über Siemens.

Die Siemens AG (Berlin und München) ist ein führender internationaler Technologiekonzern, der seit mehr als 170 Jahren für technische Leistungsfähigkeit, Innovation, Qualität, Zuverlässigkeit und Internationalität steht. Das Unternehmen ist weltweit aktiv, und zwar schwerpunktmäßig auf den Gebieten Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung. Siemens ist einer der größten Hersteller energieeffizienter ressourcenschonender Technologien. Das Unternehmen ist außerdem einer der führenden Anbieter effizienter Stromerzeugungs- und Stromübertragungslösungen, Pionier bei Infrastrukturlösungen sowie bei Automatisierungs-, Antriebs- und Softwarelösungen für die Industrie. Darüber hinaus ist das Unternehmen mit seiner börsennotierten Tochtergesellschaft Siemens Healthineers AG ein führender Anbieter bildgebender medizinischer Geräte wie Computertomographen und Magnetresonanztomographen sowie in der Labordiagnostik und klinischer IT. Im Geschäftsjahr 2018, das am 30. September 2018 endete, erzielte Siemens einen Umsatz von 83,0 Milliarden Euro und einen Gewinn nach Steuern von 6,1 Milliarden Euro. Ende September 2018 hatte das Unternehmen weltweit rund 379.000 Beschäftigte. Weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.siemens.com.

Über BMW i.

BMW i ist eine Marke der BMW Group und steht für vernetzte Mobilitätsdienstleistungen, visionäre Fahrzeugkonzepte und ein neues Verständnis von Premium, das sich stark über Nachhaltigkeit definiert. BMW i ist in 74 Ländern mit den Modellen BMW i3 (Elektrofahrzeug für Metropolen-Regionen), dem BMW i8 (Plug-in-Hybrid-Sportwagen) und BMW iPerformance Automobilen (alle BMW Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge) vertreten. BMW i erschließt neue Zielgruppen für das Unternehmen und dient als Inkubator für Innovationen. Technologien werden nach ihrem erfolgreichen Ersteinsatz bei BMW i auch in die Muttermarke BMW transferiert.

Weitere mit BMW i assoziierte Geschäftsfelder sind DriveNow (Carsharing), ReschNow (Carsharing 2.0), ChargeNow (einfacher Zugang zum weltweit größten Netzwerk an Ladepunkten), ParkNow (einfaches Finden, Reservieren und Bezahlen von Parkplätzen), BMW i Ventures (Investitionen in junge Unternehmen mit Schwerpunkt auf urbaner Mobilität), BMW Energy (Energiedienstleistungen) und das Kompetenzzentrum für Urbane Mobilität (Beratung für Städte).

Bitte wenden Sie sich bei Rückfragen an:



BMW i

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Presse-Information
Datum: 13. Dezember 2018
Thema: Forschungsprojekt „FastCharge“: Ultra-Schnellladetechnologie bereit für die Elektrofahrzeuge der Zukunft.
Seite: 6

BMW Group
Wieland Bruch,
Konzernkommunikation
BMW i und Elektromobilität
Telefon: +49-89-382-72652
E-Mail: wieland.bruch@bmwgroup.com

Kontakte der Konsortialpartner:

Allego
Ralf Maushake
Pressesprecher
Telefon: +49 (0) 162 2080 677
E-Mail: ralf.maushake@allego.eu

Phoenix Contact
Angela Josephs
Leiterin Corporate Communications und Pressesprecherin
Telefon: +49 5235 3-41512
E-Mail: ajosephs@phoenixcontact.com

Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG
Mayk Wienkötter
Pressesprecher Elektromobilität, Zukunftstechnologien & Connected Car
Telefon: +49 (0)7 11/9 11-2 07 64
E-Mail: mayk.wienkoetter@porsche.de

Siemens AG
Anna Korb
Communications, Energy Management
Telefon: +49 9131 173 663 7
E-Mail: anna.korb@siemens.com

9 Roadmap High Power Charging 2030

In diesem Kapitel gibt das FastCharge-Konsortium einen Ausblick auf mögliche, zukünftige Entwicklungen auf dem Themengebiet des öffentlichen Ultra-Schnellladens mit Leistungen 150 - 450 kW und darüber hinaus, bis zum Jahr 2030 in Deutschland. Dieser qualitative Blick in die Zukunft ist in die technischen Kategorien Fahrzeugtechnik, Leistungselektronik, Frontend, Ladeschnittstelle und Kommunikations- und Informationstechnologie unterteilt. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf mögliche Marktentwicklung des Fahrzeug- und Infrastrukturmarktes der Elektromobilität mit einem Fokus auf Ultra-Schnellladen. Die hier dargestellten Prognosen sind Ansichten und möglichen Zukunftsvisionen der einzelnen Partner. Die Verantwortlichkeiten für die Inhalte der Roadmap Kategorien wurden wie folgt verteilt: Fahrzeugtechnik: BMW und Porsche; Leistungselektronik Infrastruktur: Siemens; Frontend: Allego; Ladeschnittstelle: Phoenix Contact; Informations- und Kommunikationstechnik: Porsche, Siemens, BMW. In einem nächsten Schritt müssen die Roadmap Inhalte in enger Abstimmung synchronisiert werden. Auf allen Gebieten ist dementsprechend in Zukunft weitere Standardisierungsarbeit nötig, die über den Umfang dieses Projektes hinausgeht.

9.1 Fahrzeugtechnik

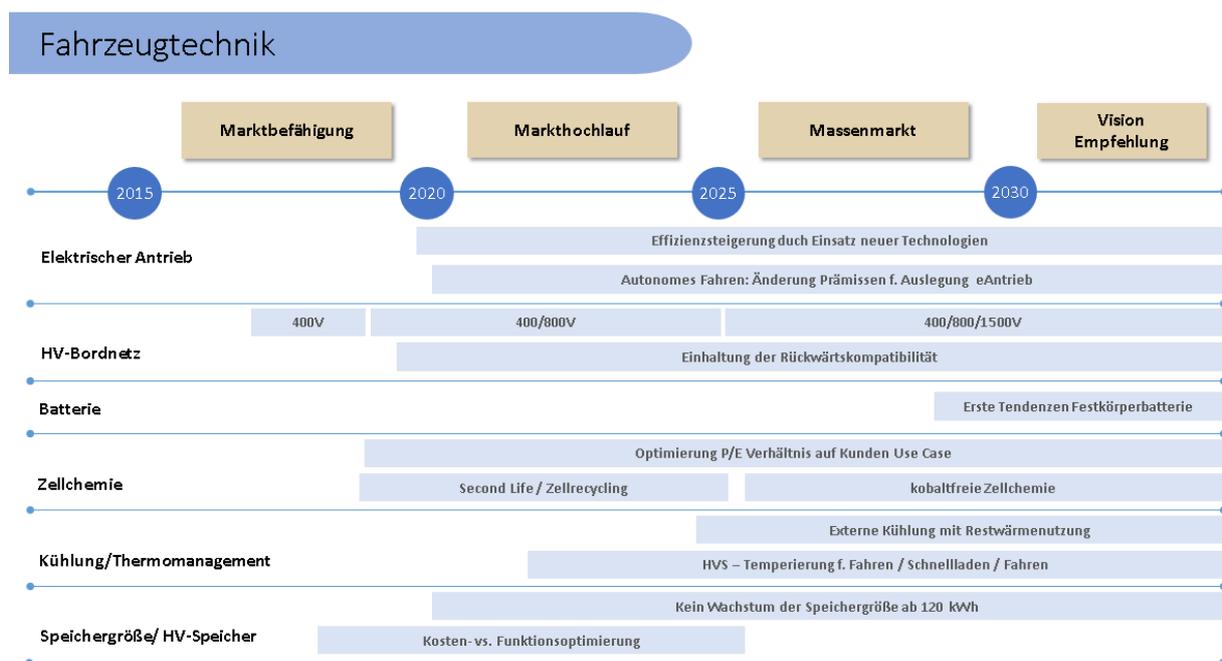


Abbildung 155 Roadmap Fahrzeugtechnik

Möglichweise ist bei einer Nettobatteriekapazität von 120 kWh eine wirtschaftliche Systemgrenze erreicht. In Zukunft wird die Konzeption und Größe von Fahrzeugspeichern noch stärker an das Fahrzeugsegment und dadurch die fahrzeugspezifischen Use-Cases angepasst werden. Abwägungen zwischen hohen Kapazitäten gegenüber mehr Fahrleistung und höherer Ladeleistung werden getroffen um Kosten zu optimieren.

Die in der Zukunft anvisierten Ziele im Bereich der Fahrzeugtechnik sind Steigerungen/Optimierungen in den Bereichen Kosten, Effizienz, Leistungsdichte, Zuverlässigkeit und Systemleichtbau.

Ein weiteres Themenfeld auf dem auch zukünftig ein Entwicklungsfokus liegen wird, ist das bereits im Rahmen des FastCharge Projektes behandelte Energie- und Thermomanagement (Kapitel 5&6).

Nachdem in den vergangenen Jahren der Fokus auf der Erforschung verschiedener möglichst effizienter Motorkonzepte lag, kommt nun besonders die effiziente Serienproduktion hinzu. Neben neuen Fertigungsverfahren ist dabei der effiziente Materialeinsatz für Hochleistungs- und Hochenergie-Batteriesysteme von großer Bedeutung.

Zum einen bieten neue beziehungsweise verbesserte Materialien (beispielsweise bei Magneten, Elektroblechen, Isolierstoffen, Klebstoffen etc.) Optimierungspotenzial, zum anderen liegt das Augenmerk auf der Reduktion beziehungsweise Vermeidung von seltenen Rohstoffen. Für die derzeit weit verbreitete, permanentmagneterregte Synchronmaschine sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten notwendig, um die Abhängigkeit von den schweren Seltenerdmetallen, die sowohl hinsichtlich Verfügbarkeit als auch Kosten ein potenzielles Risiko darstellen, zu überwinden.

Wesentliches Thema für die Leistungselektronik ist die Realisierung von Systemen mit reduzierter Verlustleistung bei gleichzeitig erhöhtem Integrationsgrad.

Trotz reduzierter systemischer Verlustleistung führt die gleichzeitige Erhöhung der Integrationsdichte für das Design kompakter Funktionseinheiten für kleinste Einbauräume zu einer Erhöhung lokaler Verlustleistungsdichten, zu sogenannten „Hot Spots“. Deren thermische Ausprägungen werden zu einer dominierenden Auslegungsgröße im gesamten Systemdesign, was neben der Anforderung der grundsätzlich erhöhten Integrationsfähigkeit aktiver/passiver Komponenten zu einem erweiterten Anforderungsprofil in der Temperatur- und Temperaturwechselbeständigkeit von aktiven und passiven Bauelementen sowie aller eingesetzten Materialien im komplexen systemischen Werkstoffverbund führt.

Im Bereich des Batterierecyclings liegen sowohl ökonomische als auch ökologische Chancen.

Folgende Entwicklungen könnten u.a. über 2020 hinaus relevant sein:

- Anpassung und Optimierung des Energie- und Thermomanagements im Hinblick auf die Anforderungen solch hochintegrierter Antriebsstränge.
- Skalierung von Spannung und Leistung: Module werden flexibel ausgelegt, sodass ein 400 V bzw. 800 V Netz auch nach oben und unten weiterentwickelt wird. Denkbar sind in Zukunft sogar 1500 V Standards. 400/800 V werden in naher Zukunft parallel existieren.

- Wie FastCharge zeigt werden Batterien in Zukunft immer schneller mit höherer Leistungen geladen, was ebenfalls höhere Spannungen erfordert
- Neue Ansätze hochautomatisiertes/autonomes Fahren: Wechselwirkungen mit E / E- und IKT-Architekturen, neue Nebenverbraucher müssen berücksichtigt werden.
- Neue Systemarchitekturen im Fahrzeug um Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit beim hochautomatisierten/autonomen Fahren zu gewährleisten: Mehr Redundanzen, Notbetrieb-Modus, neue Betriebsstrategien und Speicherreserven.

9.2 Leistungselektronik Infrastruktur

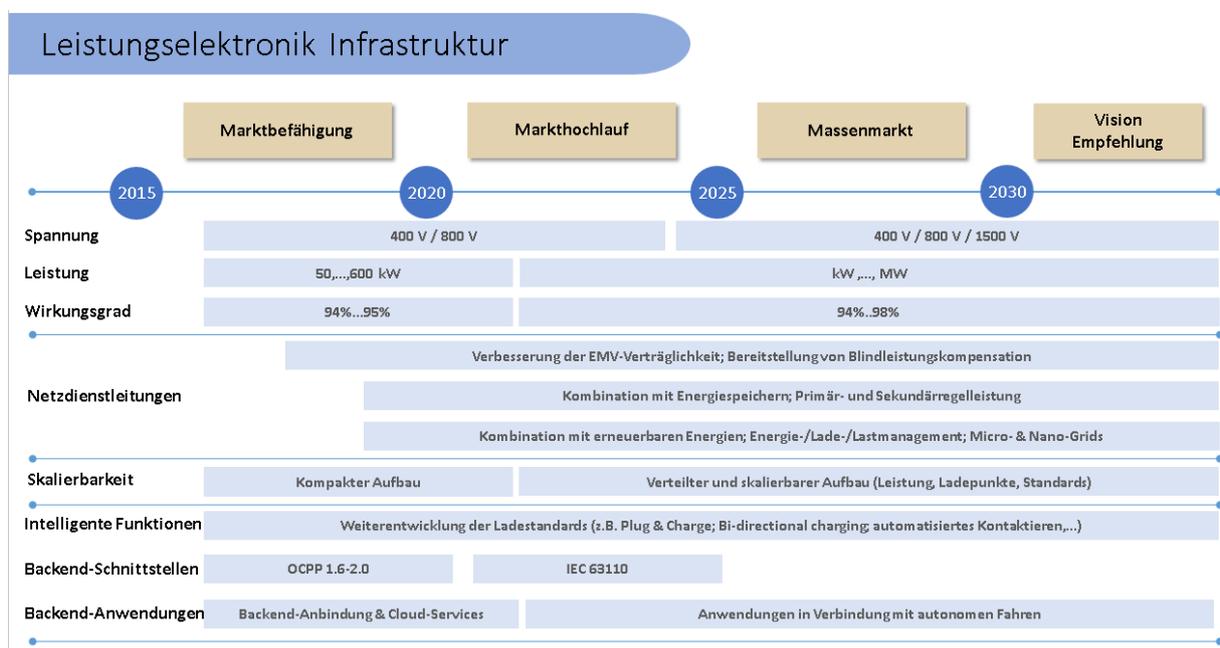


Abbildung 156 Roadmap Leistungselektronik Infrastruktur

Im Bereich der Leistungselektronik der Infrastruktur sind in der näheren Zukunft vor allem Verbesserungen hinsichtlich der Effizienz und weitere Steigerungen der Ladeleistung zu erwarten.

Zur Reduzierung von Verlusten und zur Verringerung der erforderlichen Kabelquerschnitte wird es zu einer Steigerung der Ladespannung kommen. Diese geht einher mit einem Trend zu höherer DC-Leistung zur Verkürzung der Ladezeiten bei gleichzeitig steigenden Fahrzeug-Batteriekapazitäten. Durch den Einsatz neuer Halbleiter-Technologien und optimierter Schaltungskonzepte kann der Wirkungsgrad der Ladesysteme weiter erhöht werden.

Zusätzlich zu diesen hardwareseitigen Entwicklungen sind eine kontinuierliche Entwicklung der Integrationsmöglichkeiten von Ladeinfrastrukturlösungen mit erneuerbaren Energiequellen und Energiespeichern sowie die Weiterentwicklung der Anbindungen an moderne Cloud-Systeme zu erwarten

9.3 Frontend

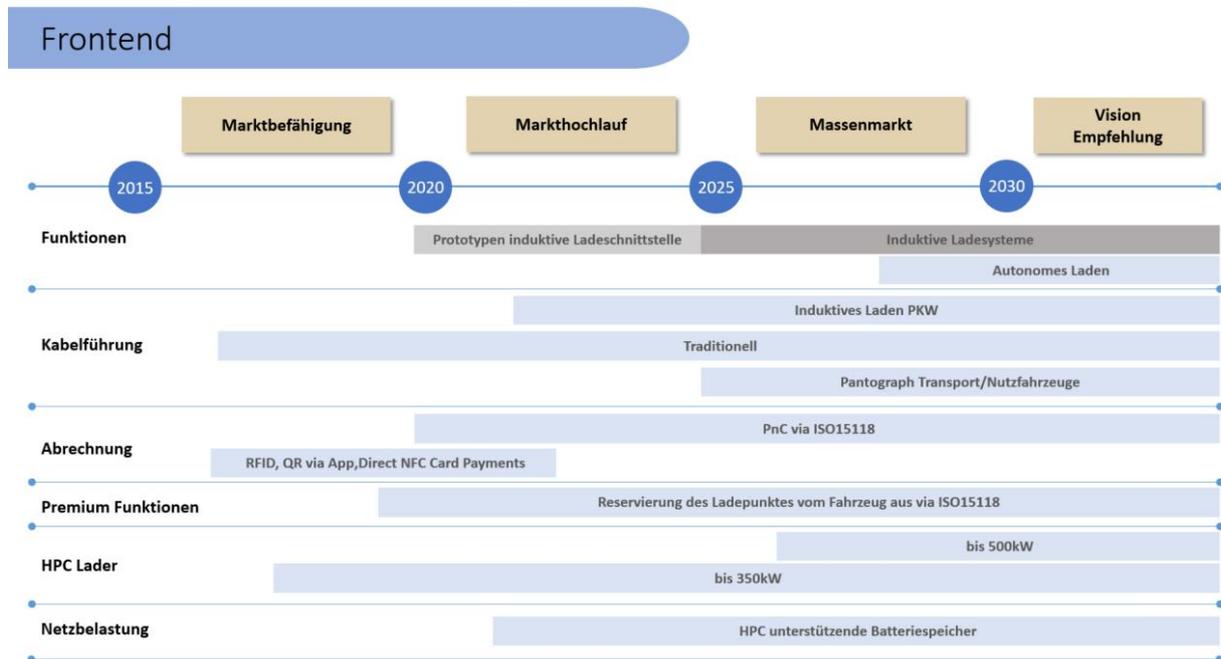


Abbildung 157 Roadmap Frontend

Das „Frontend“ bei einem Schnelllader unterscheidet sich für den Benutzer nicht in der Bedienung von den vorhandenen Ladern.

Ein kleines Display führt den Benutzer durch die durchzuführenden Schritte um das Fahrzeug zu laden und wird zukünftig kilowattgenau den bezogenen Strom anzeigen und abrechnen.

Die zukünftigen Schnellladestationen sollten sich optisch von den „normalen“ Ladestationen unterscheiden. Direkt bei der Anfahrt des Standortes sollte ersichtlich sein, für welche „Ladegeschwindigkeit“ man sich entscheiden kann. Mittels großer Display könnten während des Ladevorganges Videoclips oder Werbung zusätzlich zu den Ladeinformationen angezeigt werden.

Zur Unterscheidung der unterschiedlichen Leistungsklassen der Lader wären einheitliche farbliche Kennzeichnungen aller Anbieter an den Frontends benutzerfreundlich.

Ebenfalls könnten auf einen großen Display Reservierungsnummern angezeigt werden, um das Auffinden von, während der Anfahrt an den Standort mittels Fahrzeug reservierten Ladern, zu erleichtern.

Ab 2025 sind auch Standorte denkbar an denen Sprach- und Bilderkennung eingesetzt werden, vorausgesetzt Datenschutzrechtliche Hürden werden zuvor geklärt. 500 kW werden langfristig eine Systemgrenze für PKW darstellen, auch wenn es in China ab 2025 erste Tendenzen für 900 kW Lader geben könnte.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen erscheint der Einsatz von Batteriespeichern, auch Second-Life Batteriespeichern, gerade für das Schnellladen an Standorten ohne ausreichend dimensionierten Netzanschluss sehr sinnvoll.

Der Einsatz könnte an neuen Standorten ab 2021/2022 stark zunehmen.

Vorrangig für Transport- und Nutzfahrzeuge wird es auf ausgewählten Streckenabschnitten oberleitungsgeführte Lademöglichkeiten geben.

9.4 Ladeschnittstelle

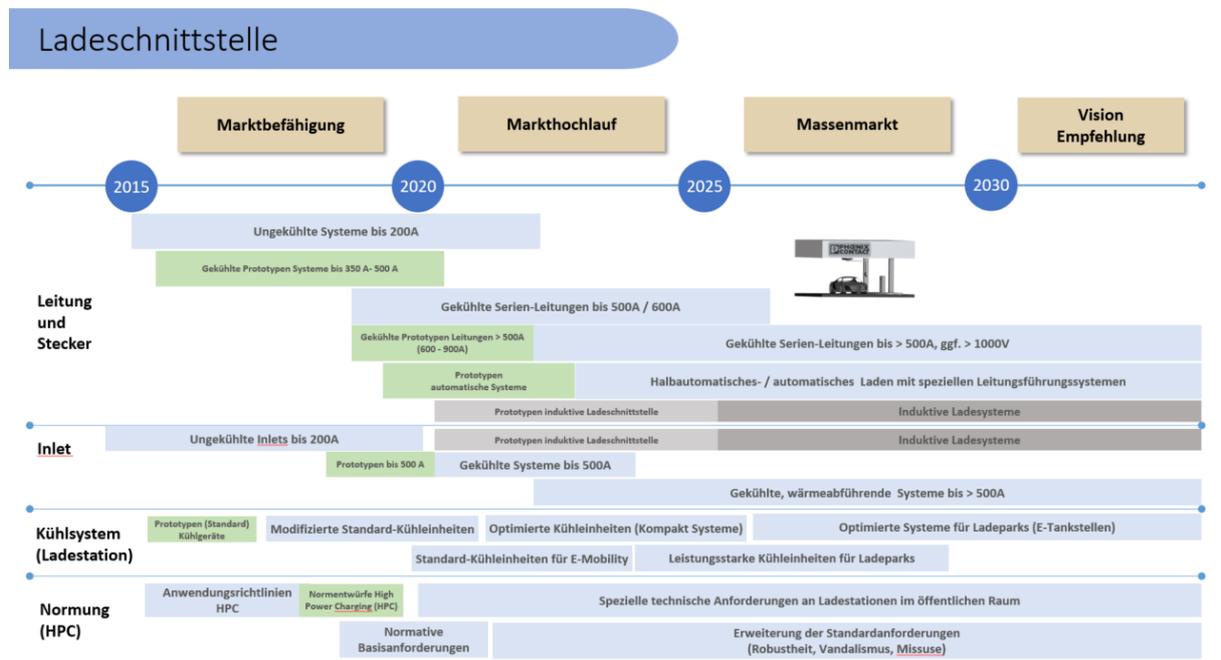


Abbildung 158 Roadmap Ladeschnittstelle

Die abgebildete Roadmap zeigt den aktuellen Status sowie eine zukünftig mögliche Entwicklung von Ultra-Schnellladesystemen im öffentlichen Raum. Die vier abgebildeten Technologien sind in verschiedene Phasen unterteilt – von der Marktbefähigung bis zur Zukunftsvision der einzelnen Bereiche. Seitens Phoenix Contact werden in diesem Förderprojekt die Teilbereiche: Leitung und Stecker, die Fahrzeugschnittstelle (Inlet), das notwendige Kühlgerät auf der Infrastrukturseite und die normativen Vorgaben für das Thema Schnellladen betrachtet. Diese Darstellung zeigt somit einen aktuellen Teilausschnitt mit unverbindlichem Ausblick in die Zukunft des öffentlichen Schnellladens in der Gesamtapplikation Elektromobilität.

Wenn man überhaupt von einer historischen Betrachtung in der E-Mobilität sprechen darf, sind damit in der Regel wenige Jahre gemeint. In dieser Zeit wurden ungekühlte Gleichstrom-Schnellladesystem mit Leistungen bis zu 150 kW aufgebaut.

Dabei werden Ladeleitungen mit entsprechendem Stecker verwendet, die maximal 200 A führen können. Diese Applikationen können technisch noch ungekühlt aufgebaut werden. Mit steigenden Anforderungen an die Verkürzung der Ladezeiten und somit einer Erhöhung der Ladeleistung sowie Beibehaltung der Alltagstauglichkeit, müssen aus technischen Gegebenheiten, gekühlte Leitungen und Stecker eingesetzt werden.

Aktuell sind gekühlte Systeme mit einer Ladeleistung von ca. 350 kW aufgebaut bzw. Systeme bis ca. 500 kW entstehen aktuell. Bei diesen hohen Leistungen sind Ströme bis zu 500 A realisierbar. Die aktuellen Fahrzeugschnittstellen sind momentan noch ungekühlt ausgeführt. Betrachtet wird aktuell die Wärmeabfuhr der Fahrzeugschnittstelle zu verbessern. Mit dem ersten gekühlten Infrastruktur-Ladesystemen, kommen auch immer mehr modifizierte Kühlaggregate zum Einsatz, die sich den spezifischen Anforderungen der Elektromobilität anpassen. Parallel zu den heutigen Marktanforderungen entwickeln sich, aus den vorhandenen Standards, die normativen Anforderungen an gekühlte Komponenten und Ladesysteme.

Teilweise fließen nationale Anforderungen in die internationale Normumgebung ein. Ein Markthochlauf für gekühlte Ladesysteme ist ab 2020 denkbar.

Für die Zukunft könnte vermutlich der Massenmarkt für gekühlte Schnellladesysteme auf der Infrastrukturseite ab 2025 zu erkennen sein. Bis dahin werden voraussichtlich Schnell-Ladesysteme flächendeckender installiert sein sowie die technischen Anforderungen in die normativen Standards einfließen. Es ist empfehlenswert Anforderungen zu schaffen, die für einen einheitlichen Aufbau der Ladestationen und Ladeparks sorgen und für Anlagenbauer und Betreiber eine Orientierung vorgeben sowie dem Endnutzer die Handhabung erleichtern. Dazu gehört auch, dass öffentliche Ladestationen vor Vandalismus (Kameraüberwachung) und vor Umwelteinflüssen (Dach) zu schützen sind. Vielleicht sind vollautomatische Ladesysteme für die Zukunft denkbar, um dem Anwender die Handhabung zu erleichtern und noch sicherer zu gestalten.

Unter dem Punkt Komfort sind ggf. auch induktive Ladesysteme denkbar, jedoch auch heutiger Sicht eher nicht in den geforderten Leistungsklassen des Schnellladens. Der Vollständigkeit halber seien diese Systeme hiermit erwähnt, werden jedoch nicht weiter betrachtet.

9.5 Informations - & Kommunikationstechnik

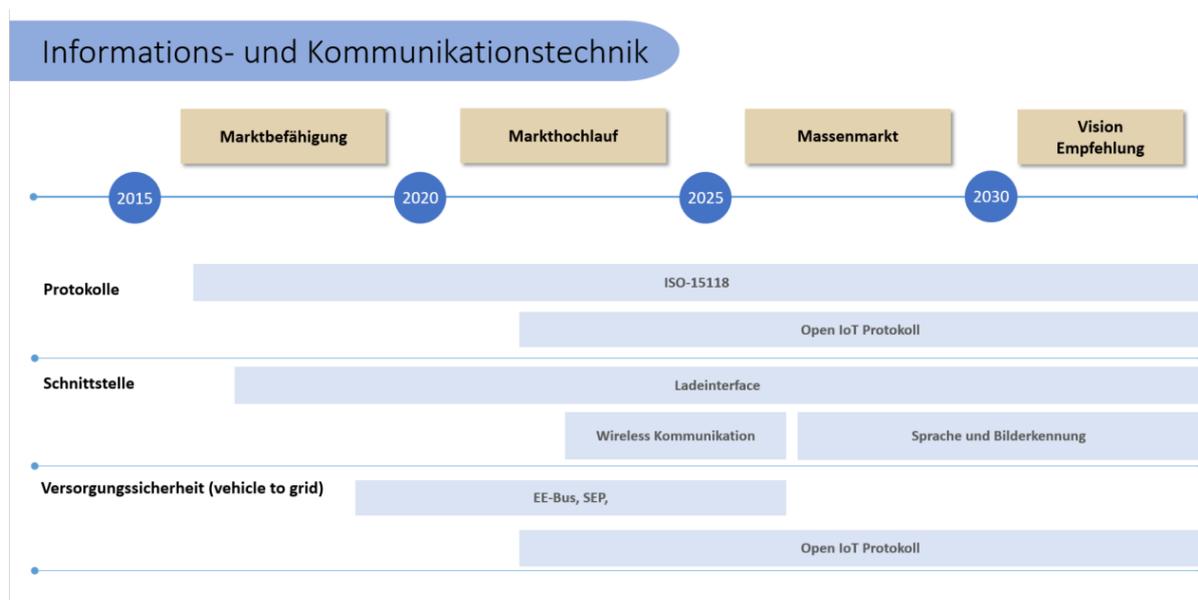


Abbildung 159 Roadmap Informations- und Kommunikationssysteme

Der Schwerpunkt in den nächsten drei Jahren wird insbesondere auf der Weiterentwicklung und flächendeckenden Implementierung bestehender Kommunikationsstandards, wie ISO

15118 oder OCPP für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur sowie zwischen Ladeinfrastruktur und einem Backend System, liegen.

Ziel muss eine Interoperabilität zwischen den verschiedenen Infrastrukturen und Fahrzeugen sowie den verschiedenen Dienstleistern sein. Eine europäische eRoaming-Plattform für eine barrierefreie und grenzüberschreitende Mobilität wäre aus Nutzersicht wünschenswert.

Neue Geschäftsmodelle und Abrechnungsdienstleistungen von Ladevorgängen, zum Beispiel PnC oder Block-Chain-Technik basierte Modelle und/oder neue Buchungsplattformen werden in Zukunft durch den Fortschritt auf dem IKT Feld ermöglicht werden.

Dafür ist es notwendig, neben den technischen Voraussetzungen und Kompatibilität mit vorhandenen Systemen auch die Vereinbarkeit mit bestehenden Gesetzen und Regularien zu gewährleisten. Datenschutz ist hier an erster Stelle zu nennen, bspw. auch für den Einsatz von Sprach- und Bilderkennungstools an Ladestationen.

In den nächsten Jahren werden zunehmend neue, datenbasierte Geschäftsmodelle in der Elektromobilität Anwendung finden. Basis dafür sind die bis dahin erlangte Rechtssicherheit über Dateneigentum und -verwendung im europäischen Binnenmarkt sowie die damit verbundenen Möglichkeiten, auch Daten im Gegenzug für eine angebotene Dienstleistung einsetzen zu können. IKT spielen dabei eine zentrale Rolle, um Prozesse abwickeln zu können und neue Geschäftsmodelle in diesem Sinne zu ermöglichen.

Die stark zunehmende Nachfrage nach dynamischen, echtzeitnahen Informationen, bedingt durch neue Services wie die Reservierung eines Ladepunktes, Lastmanagement, bidirektionales Laden, die Nutzung variabler Tarife und Preisangebote, wird neue Geschäftsmodelle antreiben.

Die Ladeinfrastruktur wird perspektivisch mit mehr Sensorik ausgestattet und im Sinne einer digitalen Vernetzung in „Urbane Plattformkonzepte“ integriert. Die Ladeinfrastruktur wird mittels Sensorik dementsprechend in die Vision eines Internets der Dinge integriert und zur selbstgesteuerten Kommunikation mit seiner Umwelt befähigt. Die Multimodalität wird weiter zunehmen, sodass sich digitale regionale Marktplätze im Rahmen neuer Smart-City Ansätze entwickeln werden. Das Kernstück wird dabei eine hochfrequente Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) sein, die ebenfalls eine stärker standardisierte Kommunikation zwischen technischen Geräten erfordert. U.a. an dieser Stelle wird der Einsatz von Open IoT Protokollen zunehmen.

Auch die Umsetzung der Energiewende verlangt eine bessere Vernetzung und Kommunikation zwischen Fahrzeug und Netz. Neue Geschäftsmodelle werden die Integration von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur in das Energiesystem, inklusive der dafür notwendigen Datenbereitstellung, vorantreiben. Ebenso wird die Möglichkeit einer Rückspeisung aus dem Fahrzeug in das Verteilnetz stärker in den Fokus rücken. Intelligente und standardisierte IKT-Lösungen sind dabei unabdingbar und müssen zeitnah entwickelt werden.

9.6 Marktentwicklung

Das Ziel von 1 Million Elektrofahrzeugen wird nach aktuellen Prognosen der NPE voraussichtlich im Jahr 2022 erreicht. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen Kunden von einem leistungsstarken, nutzerfreundlichen Gesamtsystem „Elektromobilität“ überzeugt werden. Für den erfolgreichen Markthochlauf der Elektromobilität und der damit verbundenen Etablierung eines qualitativ hochwertigen Gesamtsystems, gilt es, die noch bestehenden Lücken des Systems, z.B. die Verkürzung der Ladezeiten, schnellstmöglich zu schließen.

Auch unter Berücksichtigung von erfolgreichen Förderprojekten wie FastCharge und deren Ergebnistransfer in die Serienentwicklung wird die Marktentwicklung bis 2030 weiter Fahrt aufnehmen: In den Hochrechnungen dieses Projektes wird ein xEV Anteil bei den Neuzulassungen für das Jahr 2030 in Deutschland von ca. 36% erwartet, davon sind ca. 60% BEV.

Für die 1 Million Elektrofahrzeuge im Jahr 2022 werden, gemäß Hochrechnungen der NPE, die Installation von 70.000 öffentlichen AC-Ladepunkten und 7.100 öffentlichen DC-Ladepunkten sowie rund 1 Million privaten Ladepunkten notwendig sein.

Aktuelle Zahlen zeigen Ende März 2019 einen Bestand von etwa 17.400 Ladepunkten, davon sind etwa 12% Schnelllader²². Mehr als drei Viertel der Ladesäulen werden von Energieunternehmen betrieben.²³

Laut dem Marktszenario der NPE werden im Jahr 2025 130.000 bis 190.000 öffentliche AC-Ladepunkte und 13.000 bis 19.000 öffentliche DC-Ladepunkte benötigt.²⁴ Die FastCharge Szenarien zeigen HPC-Ladepunkt Bedarfe von gut 3.000 (contra Szenario), ca. 8.400 (erwartetes Szenario) und knapp 12.000 (progressives Szenario) in Deutschland für das Jahr 2030. HPC meint in diesem Kontext Ladepunkte mit Leistungen von 150 – 450 kW.

Für die öffentliche DC-Ladeinfrastruktur ergibt sich gem. NPE ein Verhältnis von ca. 1:165 im Jahr 2025, dies entspricht ungefähr der aktuellen Relation zwischen Zapfsäulen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.²⁵ Im Rahmen der progressiven FastCharge Prognose wird ein Verhältnis von HPC Ladern zu HPC fähigen BEV von 1:168 für das Jahr 2030 errechnet.

Die Auswertungen der Ladedaten des öffentlichen Standortes in Jettingen-Scheppach zeigen, dass es bereits jetzt eine wahrnehmbare Nachfrage nach Ladeleistungen im Bereich von 50 kW -150 kW und mehr gibt (siehe Kapitel 4.1).

Ein Serienfahrzeug, welches bereits jetzt in der Lage ist, Leistungen von bis zu 450 kW aufzunehmen ist auf dem freien Markt nicht erhältlich und daran wird sich in den nächsten 3-5 Jahren aller Voraussicht nach nichts ändern. Allerdings sind zunehmend Fahrzeuge mit Ladeleistungen von deutlich über 50 kW erhältlich. Kunden möchten ihr Fahrzeug in kurzer Zeit aufladen und auch auf der Langstrecke möglichst keine Einbußen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennerantrieben in Kauf nehmen. Um dieses Kundenbedürfnis zu befriedigen werden in naher bis mittelfristiger Zukunft DC-Ladepunkte in einer Leistungsbandbreite von 50 kW – 350 kW und Spannungen von bis zu 1.000 V bundesweit in Betrieb genommen.

Auch bei den Fahrzeugherstellern im Projekt lassen sich schon jetzt Tendenzen zu höheren Ladeleistungen erkennen. Bei BMW werden mit dem Einzug der fünften Generation des E-Baukasten für die Fahrzeuge BMW iX3 (2020), BMW i4 (2021), BMW iNEXT (2021) DC-Ladeleistungen von 150 kW möglich sein.²⁶ Porsche seinerseits hat den Porsche Taycan für das Jahr 2019 angekündigt. Die Ladeleistung wird bei ca. 250 kW liegen. In Verbindung mit

²² Schnelllader bezeichnet hier Ladestation mit einer Leistung ab 22 kW entsprechend EU-Richtlinie 2014/94/EU

²³ Wolther, M., 2018.

²⁴ Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5 „Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung“ –, 2019.

²⁵ Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Berlin, 2018.

²⁶ BMW Group, 2019.

entsprechender Infrastruktur werden die Ladezeiten somit Schritt für Schritt verkürzt, der Kunde gewinnt.

10 Fazit und Ausblick

Im Rahmen von FastCharge wurde erfolgreich untersucht, welche technischen Voraussetzungen an Fahrzeugen und Infrastruktur erfüllt werden müssen, um extrem hohe Ladeleistungen Realität werden zu lassen.

Die umgesetzten Forschungsergebnisse des Projekts FastCharge sind, wie im vorrangegangenen Text dargestellt, hochrelevant für den Elektromobilitätsmarkt und die Wertschöpfung in Deutschland.

Mit schnellem und komfortablem Aufladen steigt die Attraktivität von Elektromobilität. Ladezeiten von weniger als 3 Minuten für die ersten 100 Kilometer Reichweite bzw. 15 Minuten für einen vollen Ladevorgang – FastCharge zeigt durch technologische Pionierarbeit im Gesamtverbund auf, dass Laden in Zukunft wie Tanken funktionieren kann. Elektrofahrzeuge werden langstreckentauglich sein! Die Pausen für den Ladevorgang werden gerade für einen Kaffee oder ein kurzes Telefonat ausreichen.

Ein Highlight des Projektes, bei dem die Expertise aller Partner zusammen kam, war die Live Demonstration des Ultra-Schnellladens auf dem Eurorasthof in Jettingen-Scheppach an der A8.

Alle Projektpartner konnten im Rahmen dieses Events ihre langjährigen Forschungsarbeiten unter Realbedingungen vorführen.

Dabei wurde eine Steigerung der verfügbaren Ladeleistung auf bis zu 450 kW – dem Drei- bis Neunfachen der an bisherigen DC-Schnellladestationen maximal verfügbaren Leistung erreicht – wodurch eine deutliche Verkürzung der Ladezeiten möglich wird.

Die Basis war eine leistungsstarke Ladeinfrastruktur. Das im Projekt eingesetzte Energieversorgungssystem von Siemens ermöglichte es, die Grenzen der Schnellladefähigkeit der Fahrzeugbatterien zu erproben. Es kann schon heute mit höheren Spannungen von bis zu 920 Volt arbeiten, wie sie bei zukünftigen Elektrofahrzeugen erwartet werden. In das System wurden sowohl die Hochleistungselektronik für die Ladeanschlüsse als auch die Kommunikationsschnittstelle zu den Elektrofahrzeugen integriert. Dieser Lade-Controller sorgt für eine automatische Anpassung der abzugebenden Leistung, so dass verschiedene Elektroautos mit einer Infrastruktur geladen werden können. Die flexible, modulare Architektur des Systems erlaubte es außerdem, mehrerer Fahrzeuge simultan zu laden.

Für den Anschluss an das öffentliche Stromnetz in Jettingen-Scheppach wurde im Projekt ein Ladecontainer mit zwei Ladeanschlüssen realisiert: Ein Anschluss hat eine bisher einmalige Ladeleistung von max. 450 kW, der Zweite gibt bis zu 175 kW ab.

Die Ladesäulen-Prototypen von Allego haben die Ladestecker des CCS in der Typ-2-Variante für Europa genutzt.

Um die beim schnellen Aufladen mit besonders hoher Leistung auftretenden Anforderungen zu erfüllen, kamen gekühlte HPC-Ladekabel von Phoenix Contact zum Einsatz. Als Kühlflüssigkeit wurde ein umweltfreundliches Wasser-Glykol-Gemisch verwendet, wodurch der Kühlkreislauf halboffen gestaltet werden konnte. Dadurch war die Wartung im Gegensatz zu hermetisch geschlossenen Systemen, die mit Öl arbeiten, vergleichbar einfach.

Je nach Fahrzeugmodell konnte die neue Ultra-Schnellladestation sowohl für Fahrzeuge mit 400-V, als auch 800-V-Batteriesystemen eingesetzt werden. Ihre Ladeleistung passte sich automatisch der maximal zulässigen Ladeleistung des Fahrzeugs an. Die Zeitersparnis, die durch höhere Ladeleistungen erzielt werden konnte, lässt sich am Beispiel des BMW i3 Forschungsfahrzeugs darstellen. Für einen Ladevorgang von 10-80 % SOC der Hochvoltbatterie mit 57 kWh Netto-Kapazität wurden nur noch 15 Minuten benötigt. Dies konnte fahrzeugseitig durch den speziell entwickelten Hochvoltspeicher in Kombination mit einer intelligenten Ladestrategie erreicht werden. Dazu zählten u.a. die genaue

Vorkonditionierung der Speichertemperatur bei Ladestart, Temperaturmanagement während des Ladevorgangs und ein perfekt abgestimmtes Profil der Ladeleistung über Zeit. Der Ladevorgang erfolgte über ein neuartiges fahrzeugseitiges Mehrspannungsnetz mit Hochvolt-DC/DC-Wandler, indem die geforderte 800-V-Eingangsspannung der Ladesäule auf die niedrigere 400-V-Systemspannung des BMW i3 Forschungsfahrzeugs transformiert wurde. Durch den HV-DC/DC konnte das Fahrzeug auch rückwärtskompatibel an allen bestehenden und zukünftigen Ladestationen Strom tanken. Entscheidend für einen zuverlässigen Betrieb war die gesicherte Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule.

Das Porsche Forschungsfahrzeug mit einer Netto-Batteriekapazität von ca. 90 kWh erreichte eine Ladeleistung von über 400 kW und ermöglichte damit Ladezeiten von unter 3 Minuten für die ersten 100 km Reichweite.

Ergänzend zu den technischen Innovationen wurden im Rahmen des Projektes Standortempfehlungen und zukünftige Nachfrageprognosen für schnellladefähige Fahrzeuge erarbeitet, welche die enormen Marktpotentiale aufzeigen. Der BEV Anteil bei den Neuzulassungen für das Jahr 2030 in Deutschland liegt zwischen 15% und 30%. Auch der Bedarf an Ultra-Schnellladeinfrastruktur von ca. 3.000–12.000 Ladepunkten in Deutschland für das Jahr 2030 verdeutlicht, wie stark der Markt in den kommenden Jahren wachsen wird. Die prognostizierten, damit verbundenen Spitzenbedarfe von 539 MW gegen 18 Uhr im Jahr 2025 und 3029 MW im Jahr 2030, sollten zu der jeweiligen Zeit keine Probleme hinsichtlich der Versorgungssicherheit hervorrufen.

Um Ultra-Schnellladen in diesem Projekt Realität werden zu lassen, mussten einige Herausforderungen bewältigt werden. So ist die Knappheit an hochwertigen Lithium-Ionen-Zellen durch eine hohe Marktnachfrage deutlich spürbar, was sich in langen Lieferzeiten ausgedrückt hat. Nicht nur die Batteriehersteller, sondern auch Lieferanten aktiver und passiver Einzelbauelementen werden stark von der hohen Nachfrage strapaziert, so dass es zu Verzögerung bei der Lieferung von Batterypacks kommen kann.

Ausblick

Es gibt noch weitere Aspekte die eine Betrachtung, möglicherweise auch in zukünftigen Förderprojekten, verdienen würden. Welche Herausforderungen gilt es also in Zukunft zu bewältigen, die über das FastCharge Projekt hinausgehen, um die nötige Weiterentwicklung der Elektromobilität aus der Nische zum Massenmarkt zu beschleunigen?

Neben Fahrzeugtechnik, Ladeinfrastruktur und Ladeschnittstelle werden zusätzlich Energie- und Umweltthemen, Stadtplanung sowie rechtliche Rahmenbedingungen eine übergeordnete Rolle spielen. Einzelne Systemelemente wie bspw. Fahrzeug, Energieversorgung und Ladeinfrastruktur sowie neu geschaffene rechtliche Rahmenbedingungen müssen aufeinander abgestimmt entwickelt werden. Nur so wird ein funktionierendes, nutzerfreundliches und sinnvoll aufgebautes Verbundsystem Elektromobilität entstehen. Das Gesamtsystem wird entscheidend sein, wenn es darum geht, die Nachfrage auf ein Massenmarkt Niveau zu erhöhen.

Neben einem breiten Angebot an Elektrofahrzeugen aus allen Segmenten und Preisklassen, einer qualitativ hochwertigen Ladeinfrastruktur (öffentlich und privat), sind für Nutzer wie für den Gesetzgeber vor allem auch Umwelt- und Klimaaspekte entscheidend.

Um die Klimabilanz von E-Fahrzeugen weiter zu optimieren, auch über den gesamten Lebenszyklus, sind deutsche Industrieunternehmen gefragt, technische Innovationen z.B. auf folgenden Gebieten voranzutreiben: Batterieeigenschaften, Konzeption des Antriebsstranges, Optimierungen beim Leichtbau, Batterierecycling.

Vor allem die zunehmende Integration von erneuerbaren Energiequellen wird die Bilanz zusätzlich deutlich verbessern.

Der Stromanteil, der aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, nimmt zu. Die Anzahl der Elektrofahrzeuge wird wachsen. Diese parallele Entwicklung im Energie- und dem Mobilitätssektor verdeutlicht: Deutschland steht nicht nur vor einer Mobilitäts-, sondern auch vor einer Energiewende. Ein Umstand der neue Handlungsfelder eröffnet.

Je höher die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ist, desto wichtiger wird eine nutzerfreundliche und netzdienliche Netzintegration von Elektrofahrzeugen. Aktuell und in den nächsten 5-7 Jahren ist das deutsche Stromnetz keine kritische Größe für den Markthochlauf der Elektromobilität.

Langfristig sollte trotzdem ein Fokus auf die Netzverträglichkeit gelegt werden. Vor allem wenn Ladeleistungen, die Fahrzeuganzahl und damit auch die Spitzenlast, in weniger erschlossenen Gebieten steigen. U.a besteht ein lokaler Bedarf, die Verteilnetze entsprechend auszubauen und zu modernisieren. Diese Investitionen in die Netzinfrasturktur erscheinen lohnend, wenn dadurch eine höhere Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann. Außerdem steigt dadurch die Systemattraktivität für potentielle Marktakteure.

Ladeinfrastrukturbetreiber können bspw. auf Basis intelligenter Netze kostintensive Lastspitzen vermeiden oder reduzieren, weiterhin werden Anwendungsfälle aus dem Bereich des bidirektionalen Ladens möglich. Auf dieses Weise kann die Elektromobilität durch Energiedienstleistungen, wie dem Bereitstellen von Regelleistung, das Netz in Zeiten volatiler Stromproduktion, stabilisieren.

Damit der Fahrzeugnutzer seinen mobilen Stromspeicher zur Verfügung stellt, müssen entsprechende Incentivierungsmodelle entwickelt werden, an denen Fahrzeughersteller und Fahrzeugnutzer verdienen, auch der Einfluss solcher Modelle auf die Batteriealterung muss weiter untersucht werden.

Fahrzeughersteller, Fahrzeugnutzer, Ladeinfrastrukturbetreiber, E-Mobility Dienstleister, Behörden, Städte und Kommunen, Gesetzgeber auf Bund- und Länderebene, Stromerzeuger und Stromnetzbetreiber: Alle Marktkräfte müssen sich im übertragenen Sinne die Hand reichen. Nur so können Voraussetzungen geschaffen werden, die dafür sorgen, dass die Speicherverfügbarkeit mit dem (geplanten) Fahr- und Ladeverhalten der Nutzer in Kontext mit relevanten Ladeinfrastruktur-, Erzeugungs- und Netzdaten gesetzt werden können. Gelingt dies, können E-Fahrzeuge auf lange Sicht zusätzliche Potenziale für Klimaneutralität und auch neue Geschäftsmodelle für alle Marktteilnehmer, inkl. der privaten Fahrzeugnutzer, bieten.

Der Austausch relevanter Daten auf einem standardisierten Weg ist daher ein Schlüsselement, um eine erfolgreiche Kopplung der Sektoren Verkehr und Energie zu ermöglichen.

Der vorangegangene Text verdeutlicht die komplexen Wirkungsbeziehungen der Projektumgebung von FastCharge. Er zeigt weitere Themengebiete auf, in denen Herausforderungen, auch mit Hilfe von Förderung, bewältigt werden können, um das Ziel eines performanten und sinnvollen Gesamtsystems zu erreichen.

Bis zu diesem Ziel ist es noch ein langer Weg, der Schritt für Schritt gegangen werden muss. Dieses Projekt mit seinen Partnern Allego, BMW, Phoenix Contact, Porsche und Siemens ist einen bedeutenden dieser Schritte erfolgreich gegangen.

11 Anhang

Anhang 1: Merkmalsausprägung

Merkmal	Merkmalsausprägungen						
	männlich	weiblich					
Geschlecht	männlich	weiblich					
Alter	17-25J (Fahranfänger)	26-40 J	41-60 J	61-75 J	> 75 J		
Nutzungsart	gewerblich	privat					
Fahrzeugtyp	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	Transporter		
Batteriekapazität	25 kWh	50 kWh	75 kWh	100 kWh	125 kWh	> 125 kWh	
Szenerie (Streckenart)	Stadtstraßen	Landstraße	Hauptverkehrsstraße	Autobahn			
Höchstgeschwindigkeit	bis 120 km/h	bis 150 km/h	bis 180 Km/h	bis 210 Km/h	bis 250 Km/h	>250 Km/h	
Durchschnittsgeschwindigkeit	30 km/h (Stadt)	70 km/h (Pendler mit Überland und Stadtanteil)	100 km/h (Autobahnfahrer mit gemütlicher Fahrweise)	130 km/h (Autobahnfahrer mit zügiger Fahrweise)	160 km/h (Autobahnfahrer mit schneller Fahrweise)		
Pausenverhalten	Keine Pause	WC Pause (3 Min)	reines Laden (Dauer abhängig von gewünschter Reichweite)	Laden und Toilettenpause (10 min)	Pause mit kurzem Imbiss (15 min)	lange Pause (bis 30 min)	sehr lange Pause (bis zu 2 h, z.B. bei Sehenswürdigkeiten)
Wettereinfluss	-30° bis 0°	0° bis 30°	30° bis 50°				
Anhänger	Anhänger vorhanden, z.B. Caravan	kein Anhänger					
minimale Restreichweite bei Anfahrt Ladestation	10 km	30 km	50 km	80	120		
Verortung Anschluss Stecker	vorne rechts	vorne mittig	vorne links	hinten rechts	hinten mittig	hinten links	
erfüllte Normen Kommunikation	DIN SPEC 70121	ISO/IEC 15119					
Zugang Ladestation	direkte Anfahrt (ähnlich Tanksäule)	Parkplatz (eventuell kostenpflichtig)	persönliche Garage				
Stromnetz	Wechselstrom-Laden (AC)	Gleichstrom-Laden (DC)					
Abrechnung	Barzahlung	EC-/Kreditkartenablechnung	automatische Abrechnung über Fahrzeugerkennung				

Fahrzeugeterkennung	Erkennung über Identifikationsmedium (z.B. Tankkarte, Chip, Schlüssel...)	automatische Erkennung über Stecker	automatische Erkennung über Funk/Wlan				
Reichweite Fahrzeug	0-50 km	50-100 km	100-150 km	150-250 km	250-450 km	>450 km	
Leistung Fahrzeug	0-15 kW	15-40 kW	40-80 kW	80-150 kW	150-300 kW	>300 kW	
Verbrauch Fahrzeug	0-5 kWh/100 km	5-10 kWh/100 km	10-15 kWh/100 km	15-22 kWh/100 km	>23 kWh/100 km		
Fahrstrecke [km]	0-10 km	10-30 km	30-60 km	60-100 km	100-150 km	150-250 km	250-400 km
max. zulässiges Gesamtgewicht	ultraleichte PKW um 500 kg	leichte PKW < 1000 kg	mittelschwere PKW < 1500 kg	schwere PKW < 2200 kg	außerordentlich schwere PKW, Transporter <3500 kg	Leichte Lkw und Transporter um 8 t	
Fahrtart	langsam	gemütlich	konstant	rasant /zügig	schnell		
Anwendung Funktionen	Eco Keine ECO Funktionen	Funktionen Anwendung ECO Funktionen (energiesparendes Fahren u.a. Start/Stopp Funktion)					
Ladestecker	Typ 2 SuperCharger	Typ1 CHAdeMO	Typ2	Typ1	CCS	Schuko	
Bordnetz	400 V	800 V					
max. aufnehmbare Ladeleistung	0-3,6 kW	3,6-7,2 kW	7,2-11 kW	11-22 kW	22-50 kW	50-150 kW	150-250 kW

Tabelle 10 Merkmale & Ausprägungen auf das Lade- & Fahrverhalten

Anhang 2: Annahme Fahrscenarien

Annahmen für Fahrscenarien						
2020						
Fahrzeugtyp	Beispiel	Batteriekapazität [KW]	Verbrauch [KWh/100KM] nach WLTP (@ Geschw. 47 KM/h)	Reichweite [KM]	Ladeleistung [KW]	Ladedauer 80% [min]
Kleinwagen	i 3, Ampera-e	50	16	312,5	50	48
Kompaktklasse	Tesla E	70	18	388,888889	150	22,4
Oberklasse	Audi E-Tron Quattro, Mercedes EQS	100	20	500	150	32
Sportwagen	Porsche Mission E	100	20	500	220	21,81818182
Lieferwagen	Mercedes Sprinter	80	22	363,6363636	50	76,8
2025						
Fahrzeugtyp	Beispiel	Batteriekapazität [KW]	Verbrauch [KWh/100KM] nach WLTP (@ Geschw. 47 KM/h)	Reichweite [KM]	Ladeleistung [KW]	Ladedauer 80% [min]
Kleinwagen	VW Golf	50	16	312,5	150	16
Kompaktklasse	BMW 3er	100	18	555,5555556	220	21,81818182
Oberklasse	Audi A8	150	20	750	350	20,57142857
Sportwagen	Porsche	150	20	750	400	18
Lieferwagen	Mercedes Sprinter	120	22	545,4545455	250	23,04

Tabelle 11 Annahmen für Fahrscenarien

Anhang 3: Tabelle Use Cases

Reiseplanung (vor Reiseantritt)

Use Case

Fahrer (oder Mitfahrer) plant die Route vor der Fahrt (gedanklich, per App/ Software, Atlas) nach individuellen Kriterien

Fahrzeugnutzer stellt sein Sicherheitslimit (km oder % SOC) fürs Fahrzeug ein.

Kundenanforderung (Hypothese)

- Routenkriterien (Schnelligkeit, Schnelles Laden, Reservierbare Ladestationen, ...) werden übersichtlich (online) dargestellt und können einfach durch den Fahrzeugnutzer ausgewählt werden
- Alternative Routenvorschläge werden angezeigt und können ausgewählt werden.

- Einstellung des Sicherheitslimits über
 - Smartphone App
 - Webportal
 - Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug

Navigation/ Routing vor/ mit Fahrtbeginn

Use Case

Der Fahrzeugnutzer (oder anderer Fahrzeuginsasse) wählt über das Navigationssystem die schnellstmögliche (bzw. persönlich präferierte (z.B. kürzeste Strecke)) Reiseroute unter Berücksichtigung der dafür notwendigen Ladezeiten an entsprechenden Orten.

Kundenanforderung (Hypothese)

- Die schnellstmögliche Reiseroute inkl. Ladezeiten soll dem Kunden zur Verfügung gestellt werden.
- Navigationssystem muss alle Ladestandorte enthalten
- Für Ladestandorte liegen Echtzeitdaten vor (Anzahl freier Ladepunkte, Wartezeit,...)
- Auch zukünftige Reservierungen werden in den Status der Ladesäulen einbezogen

Fahren

Use Case

Der Fahrzeugnutzer nimmt mit seinem Elektrofahrzeug am Straßenverkehr teil.

Kundenanforderung (Hypothese)

Anforderungen an den normalen Fahrbetrieb des Fahrzeugs werden hier nicht behandelt. Es geht primär um das Zusammenspiel zwischen Ladestation und Fahrzeug/ Nutzer.

Navigation / Routing während der Fahrt

Use Case

Der Fahrzeugnutzer (oder anderer Fahrzeuginsasse) nutzt die dynamische Routenführung.

Fahrzeugnutzer erhält automatisch Handlungsempfehlungen

Kundenanforderung (Hypothese)

Dynamische Routenführung abhängig von

- Verkehr
- Verbrauch
- Batterieladestand
- Ladestationsverfügbarkeit

Anzeige oder Kommunikation von Empfehlungen (z.B. früheres/ späteres Tanken, Geschwindigkeiten, Wechsel gegenüber ursprünglich geplanter Ladestation)

Auswahl Ladestandort/ Ladestation

Use Case

Der Fahrzeugnutzer sucht/ wählt eine beliebige Schnellladestation in der Nähe seiner Route.

Kundenanforderung (Hypothese)

- Anzeige freier Schnellladestationen im Navigationssystem, auf der App
- öffentliche Anzeigen (ähnlich Schilder freie Parkplätze)
- Betriebsbereitschaft der Ladesäule wird angezeigt (z.B. online, Anzeige)

Der Fahrzeugnutzer vergleicht mögliche Ladestationen auf seinem Weg anhand individueller Kriterien

Unterscheidungsmerkmale transparent u.a.:

- Bewertung der Standorte
- Gastroangebot sichtbar
- Zusatzleistungen sichtbar
- Verfügbarkeit sichtbar
- Preisunterschiede sichtbar

Der Fahrzeugnutzer des schnellladefähigen Fahrzeugs sucht/ wählt eine herkömmliche Ladestation (z.B. 50 kW) für den Ladevorgang (z.B. in städtischen/ ländlichen Regionen)

- Zugang zu herkömmlichen (Nicht Ultra-Schnellladestationen) Ladestationen
- ansprechende Preismodelle für Kunden

Der Fahrzeugnutzer sucht/ wählt die bestmögliche freie Schnellladestation in der Nähe seiner Route.

Informationssysteme (Navigation, App, Fahrzeugsoftware) informieren Fahrzeugnutzer über die bestmögliche Ladesäule im Hinblick auf die kürzeste Fahrtdauer/ kürzeste Strecke/ Sicherstellung der Ankunft

Der Fahrer eines herkömmlichen BEV (Ladeleistung max. 50 KW) sucht/ wählt eine Schnellladestation für den Ladevorgang (z.B. an der Autobahn)

- Zugang zu Ultra-Schnellladestationen Ladestationen
- ansprechende Preismodelle für Kunden

Der Fahrzeugnutzer sucht /wählt eine Schnelllademöglichkeit in städtischen/ ländlichen Regionen abseits des Autobahn-/ Fernstraßennetzes.

Abdeckung ländlicher und städtischer Regionen mit Ultra-Schnellladesäulen

(Flotten)kunden mit Grünstromvertrag sucht/ wählt Schnellladestation mit Strom aus erneuerbaren Energien

Der Fahrzeugnutzer (oder anderer Fahrzeuginsasse) reserviert einen freien (Schnell-)ladeplatz durch Angabe/ Auswahl von Ankunfts- und Abfahrtszeiten (Reservierungszeitraum).

- Reservierbare Schnellladeplätze um schnellen Ladevorgang zu garantieren
- Auswahlmöglichkeiten bzgl. Zeitraum
- Sicherstellung des freien Ladeplatzes
- Einstellung via Smartphone App, Webportal, Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug möglich

Der Fahrzeugnutzer (oder anderer Fahrzeuginsasse) reserviert einen freien (Schnell-)ladeplatz vor Fahrtantritt.

- frühzeitiger Reservierungsvorgang über App, Webportal, Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug
- Anzeige freier Zeiten
- Kostentransparenz

Der Fahrzeugnutzer (oder anderer Fahrzeuginsasse) reserviert einen freien (Schnell-)ladeplatz während der Fahrt.

- Informationssysteme enthalten Echtzeitdaten
- unkomplizierter Reservierungsvorgang während der Fahrt ohne Ablenkung des Fahrers
- automatische Reservierung über dynamische Routenführung (Fahrzeug/ App reservieren Ladeplatz)

Fahrzeugnutzer lässt den zuvor angegebenen Ankunftszeitpunkt (z.B. bei Reservierung) verstreichen

- Kurzfristige Stornierung möglich
- keine/ geringe Strafzahlungen

Anfahren der Ladestation

Use Case

Der Fahrzeugnutzer fährt Parkplatzbereich an und sucht/ wählt einen geeigneten freien Ladeplatz am Ladeort.

Kundenanforderung (Hypothese)

- Information über freie Ladeplätze (Beschilderung, Navigation (In Car Audio))
- Wegweiser
- detaillierte und zugleich übersichtlich Kennzeichnung (z.B. Markierung reservierter Parkflächen, Anzeige tatsächlich freier Parkflächen, Anzeige unterschiedlicher Abnahme Ladeleistungen)
- Optimierte Navigation / Fahrzeugführung am Standort. Z.B. Ladestationen sind seitlich anfahrbar, so dass optimierter Verkehrsfluss ermöglicht wird (kein „Ein- und Ausparken“)

Autonomes Fahrzeug steuert den nächsten freien Ladeplatz automatisch an und hält am Ladeplatz

- automatische Kommunikation bzgl. optimalem Haltepunkt zwischen Fahrzeug und Ladestation

Autonomes Fahrzeug steuert den nächsten freien Ladeplatz automatisch an und hält am Ladeplatz.

- Fahrer verbleibt im Fahrzeug (z.B. setzt Telko oder Schlaf fort)
- direkte Kommunikation bzgl. Parkposition zwischen Fahrzeug und Ladesäule
- Fahrzeugerkennung und Abrechnung erfolgen automatisch

Der Fahrzeugnutzer kann aufgrund der hohen Auslastung keinen freien Ladeplatz am Ladeort anfahren (Wartezeit).

- Anzeige des als nächstes zur Verfügung stehenden Ladeplatz am Standort (Anzeige im Fzg. Display, Smartphone Display, direkt am Ladepark)
- Anzeige alternativer Ladestandorte und deren Realisierbarkeit
- automatische geregelte Reihenfolge der Wartenden (wer darf wann welchen Ladeplatz nutzen?)
- frühzeitiger Aufruf bei freiwerdender Parkfläche
- geeignete Halte-/Parkflächen für Wartende
- Anzeige der Wartezeit
- geringe Wartezeiten
- spezifische Angebote aufgrund/ während Wartezeit
- Gutscheine o.ä. (z.B. kostenloser Zugang zur Lounge, Freigetränk, Freiminuten,...)

Parkvorgang

Use Case

Der Fahrzeugnutzer parkt das Fahrzeug in dem dafür vorgesehen Bereich der Ladesäule.

Das autonome Fahrzeug positioniert sich so an der freien Ladestation, dass das Ladekabel automatisch mit der Ladebuchse verbunden werden kann.

Der Fahrer (und/ oder Mitfahrer) steigt nach dem Parkvorgang aus dem Fahrzeug aus.

Kundenanforderung (Hypothese)

- gut zugängliche Parkflächen
- ausreichend Abstand zu anderen Fahrzeugen und anderen Gegenständen zur Vermeidung von Kratzern etc.
- keine Zuparken möglich (reibungslöse Abfahrt)
- Fahrzeugerkennung seitens der Ladestation und umgekehrt
- Parkeinweisung seitens der Ladestation durch Kommunikation mit Fahrzeug
- ausreichend Bewegungsfläche
- Schutz vor Lärm
- Sauberkeit
- Schutz vor Witterung

Authentifizierung

Use Case

Fahrzeugnutzer oder Mitreisender authentifizieren sich (das Fahrzeug) für Ladevorgang.

Die Identifikation erfolgt automatisch zwischen Fahrzeug und Ladesäule.

Kunde mit xEV mit CHAdeMO Ladestandard möchte an HPC Station laden

Kundenanforderung (Hypothese)

Erkennung über

- Eingabe Kundennummer etc.
- persönliche Identifizierungskarten (Führerschein, Kreditkarte)
- RFID
- SMS

- Keine Kundeninteraktion mit Ladeinfrastruktur (Plug and Charge)
- Eine Anzeige informiert über Status des PnC Vorgangs

- Möglichkeit mit CHAdeMO Ladestandard an Schnellladestation zu laden

Vorbereitung Ladevorgang

Use Case

Kunde verbindet Fahrzeug über Kabel / Stecker mit Ladestation

Fahrzeugnutzer wählt Ladeleistung (zur Diskussion: Auswahl Startzeit, Reiseweite)

Fahrzeugnutzer wählt zwischen gesteuertem und sofortigem Laden

Fahrzeugnutzer gibt seine gewünschte Mindestreichweite ein

Kundenanforderung (Hypothese)

- klare grafische Anweisungen
- einfache Handhabung
- Bestätigung der Verbindung (Einrasten)
- geringes Gewicht
- hygienisch
- sicher gegen Stromstöße etc.

- Auswahl von Ladeszenarien zu unterschiedlichen Kosten
- z.B. Auswahl zwischen Schnell- und Normalladen (Ladeleistung)
- Kunde kann sich in Zeiten hoher Auslastung / geringerer Stromkapazitäten für langsameres Laden (zu geringerem Preis) entscheiden (aktives Loadmanagement)

Option gesteuertes Laden

Einstellung des Sicherheitslimits über

- Informationen aus Navigationssystem
- Smartphone App
- Webportal
- Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug
- direkt an Ladestation

Fahrzeugnutzer gibt seine gewünschte Ladedauer (min./max.) ein

- Einstellung des Sicherheitslimits über
- Informationen aus Navigationssystem
- Smartphone App
- Webportal
- Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug
- direkt an Ladestation

Nutzer mit Handicap möchte Laden und Ladekabel mit Fahrzeug verbinden.

- separate Ladestationen mit erleichtertem Zugang
- behindertengerechte Anordnung von Ladestation und Parkfläche
- Handhabung Kabel etc. möglich
- Bedienung Frontend (Einstellungen) möglich
- Anzeigen im Sichtfeld
- Servicepersonal zur Unterstützung

Die Verbindung zwischen Ladestation und (autonomen) Fahrzeug erfolgt automatisch.

- standardisierte transparente Parkeinweisung
- Anzeigen im/ außerhalb Fahrzeug
- Bestätigung richtiger Parkposition durch Anzeige
- Bestätigung der Verbindung durch Anzeige
- Übernahme von Schäden (Haftung)

Kunde gibt an, wann er sein Fahrzeug benötigt und wie weit er fahren möchte.

- Eingabefenster via App, Display etc.
- aktueller Ladeverlauf stets sichtbar
- Möglichkeit Änderungen vorzunehmen

Durchführung Ladevorgang

Use Case

Das Fahrzeug lädt an der Ladestation

Kundenanforderung (Hypothese)

- Gleichzeitig werden mehrere Ladepunkte mit Leistung versorgt (maximale Auslastung)
- Kein/ geringer Abfall der Ladeleistung bei Vollaustattung
- In Peak- Reisezeit (z.B. Urlaub, Pendeltage) Maximalauslastung über mehrere Stunden

(Premium)-kunde (z.B. Oberklassefahrzeug) möchte garantiert mindestens >300 kW laden

- Verbindliche Einhaltung der Ladeleistungsangaben
- bevorzugte Ladeplätze
- keine Beeinflussung durch Vollaustattung des Gesamtsystems

Kunde stellt sein Fahrzeug als kurzfristigen Pufferspeicher anderen EV zur Verfügung

- Option Pufferspeicher/ Einspeisung
- Peak Shaving aus Sicht des Betreibers

- attraktive Vergütungsmodelle für Fahrzeugbesitzer

Betreiber möchte Standzeiten ohne Laden reduzieren (Detektion über Kabel / Sensor / Beacon? Incentivierung der Fahrer für schnelles Verlassen des Ladeplatzes nach Ladevorgang; Information über Ladevorgangsende)

Kunde verweilt im Auto und nutzt die Fahrzeugfunktionen (Klimaanlage, Radio, Apps,)

- Volle Funktionalität während Ladevorgangs gewährleistet
- Kein Anfahren ohne vorzeitiges Ablösen des Steckers möglich

Kunde nutzt den Ladevorgang für Toilettenpause

Öffentliche Toiletten in unmittelbarer Umgebung

Kunde geht in Shop und trinkt einen Kaffee/ kauft eine Kleinigkeit

Geschäft/ Automat in unmittelbarer Umgebung

Kunde geht in Restaurant und isst ausgiebig

Restaurant in unmittelbarer Umgebung

Kunde geht in Schnellrestaurant und erwirbt dort Essen to go

Schnellrestaurant in unmittelbarer Umgebung

Kunde nutzt Pause für längeren Aufenthalt (Spielplatz, Spaziergang (mit Hund), Business Area

Angebote für Kinderunterhaltung/
Möglichkeiten zum Ausruhen/
Spazieren gehen

Kunde nutzt zusätzliche Services des Betreibers am Standort

- Business Lounge
- WLAN

Kunde verbringt Wartezeit im Fahrzeug und nimmt In Car Entertainment Angebote wahr (Schnelles Internet, Streaming, Hörbücher, Online Spiele für die Familie)

In Car Entertainment Angebote u.a.:
- Schnelles Internet
- Streaming
- Hörbücher
- Online Spiele für die Familie

Kunde schaut sich aktuelle Ladungsdaten an

Anzeige von Informationen
- Anzeige SoC
- Restladezeit
- Kosten
- Spannung
- Strom
Anzeige via:
- Smartphone App
- Webportal
- Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug
- Ladestation

Kunde nutzt Zusatzangebote an der Ladestation

Add on Features an Ladesäule

Ladevorgang beenden

Use Case

Eine neuer Kunde übernimmt das Fahrzeug an der Ladestation (z.B. Car Sharing Fahrzeugübernahme)

Kunde wird frühzeitig über das Ende des Ladevorgangs informiert

Kunde löst die Steckverbindung zwischen Fahrzeug und Ladestation

Kunde bringt den Stecker etc. nach dem Ende des Ladevorgangs in die ursprüngliche Situation

Fahrzeugnutzer beendet den Ladevorgang vor der zuvor angegebenen Abfahrtszeit (z.B. Ablauf Reservierungszeitraum)

Fahrzeugnutzer beendet den Ladevorgang vor dem Erreichen der angegebenen Mindestreichweite

Fahrzeugnutzer bleibt nach beendetem Ladevorgang auf dem Ladeplatz stehen (ist weiterhin mit der Ladestation verbunden)

Fahrzeughalter startet das Fahrzeug und entfernt sich von der Ladesäule

Kundenanforderung (Hypothese)

- Übernahme durch neuen Kunden
- neuer Kunde kann Ladevorgang beenden
- längere Standzeiten für Carsharing Fahrzeuge ohne finanzielle Belastung

Kundeninformation mit Vorlaufzeit via:

- Informationen aus Navigationssystem
- Smartphone App
- Webportal
- ABK im Fahrzeug
- direkt an Ladestation

- klare Anweisung
- Anzeige, dass Entkopplung möglich
- Anzeige, dass Entkopplung erfolgt

- klare Anweisung
- Bestätigung der richtigen Position (Einrasten)

- frühzeitige Beendigung des Ladevorgangs möglich
- Änderungen der persönlichen Einstellungen während des Ladevorgangs möglich
- verbrauchsgerechte Abrechnung

- frühzeitige Beendigung des Ladevorgangs möglich
- Information über nicht ausreichende Reichweite

- Nutzung des Ladeplatzes als Park- und Rastplatz über Ladezeitraum hinaus
- keine Kosten für Standzeit

zügiges und problemloses Entfernen von der Ladesäule und direkter Zugang zur geplanten Route

Bezahlvorgang/ Abrechnung

Use Case

Der Kunde informiert sich über den fälligen Betrag

Der Kunde wählt eine der Zahlungsoptionen

Kunde bezahlt Ladevorgang

Fahrzeugnutzer überprüft seine Abrechnung

Fahrzeugnutzer lässt seinen Ladebonus im Smartphone / Web anzeigen

Kundenanforderung (Hypothese)

Anzeige der Kosten via:

- Informationen aus Navigationssystem
- Smartphone App
- Webportal
- Anzeigebedienkonzept im Fahrzeug
- direkt an Ladestation

- Auswahl verschiedener Zahlungsoptionen

- Kostentransparenz (Anzeige Energiemenge, Preis)
- Datensicherheit
- Bestätigung der Zahlung

- Kunde erhält Zugriff auf kWh genaue Abrechnung

Bonussysteme, App, Web

Datenauswertung

Use Case

Fahrzeugnutzer lässt sich seine Auswertungen (Einhaltung des Reservierungszeitraums, Ladeverlauf (in EUR und kWh,.....) anzeigen

Kundenanforderung (Hypothese)

Abfrage per Smartphone, Webportal, im Fahrzeug, an der Ladestation möglich

Fehlerhandling

Vor, während und auch nach dem Ladevorgang kann es zu einer ganzen Reihe von Fehlern oder Missverständnissen kommen. Im Extremfall ist kein Ladevorgang möglich oder der Bezahlvorgang funktioniert nicht. Für jedes Problem können mehrere Ursachen vorliegen. In jedem Fall ist es wichtig, den Kunden frühzeitig zu informieren, wenn das System defekt oder nur eingeschränkt nutzbar ist. Bei Unklarheiten oder Missverständnissen seitens des Nutzers, sind nützliche Handlungsanweisungen oder Servicenummern eine Alternative um kurzfristig Lösungen zu finden.

Use Case

Kunde wird über Fehler informiert werden und bekommt Handlungshinweise.

wesentliche Fehler:

- Fahrzeugnutzer erhält keine Information über freie Ladesäulen bzw. den Ladeort
- mechanischer Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladestation nicht möglich
- Authentifizierung scheitert (keine gegenseitige Erkennung von Fahrzeug/ Fahrer und Ladesäule
- Kein Ladevorgang oder Ladevorgang erfolgt lediglich mit reduzierter Leistung
- fehlerhafter Abrechnungs-/ Bezahlvorgang
- mechanische Verbindung zwischen Fahrzeug und Ladestation lässt sich nicht trennen
- Fahrzeug bleibt nach Verlassen der Ladestation noch angemeldet (Kosten fallen an)

Kundenanforderung (Hypothese)

- Servicenummern
- Frühzeitige Information über Funktionsstatus
- Handlungsempfehlungen

Anhang 4: Tabelle Beschreibung der Fahrscenarien

Pendler (täglich)

Fahrtstrecke Münster – Düsseldorf – Münster



Kilometer 250 KM

Häufigkeit täglich

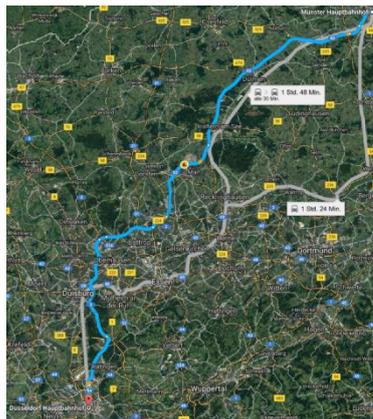
Pausenverhalten Wenn möglich keine Pause, sondern Laden am Arbeitsplatz oder zu Hause.

Aufgrund der hohen täglichen Wegstrecke kann es dazu kommen, dass Laden unterwegs notwendig ist.

Maximale Pausendauer: 5min

Pendler (Wochenende)

Fahrtstrecke Stuttgart – Bielefeld - Stuttgart



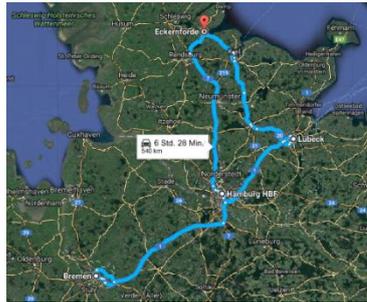
Kilometer 476 KM je Weg

Häufigkeit Jeweils Donnerstag- und Sonntagabend

Pausenverhalten Fahrer präferiert je Strecke eine Pause a max. 15 min

Vertreter Fahrt mit Firmenwagen

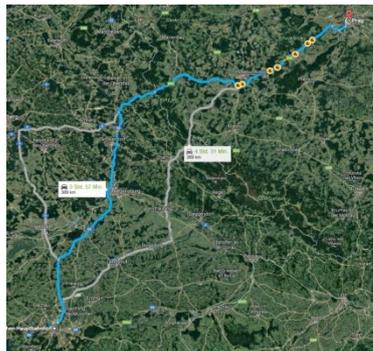
Fahrtstrecke Eckernförde - Hamburg - Bremen - Lübeck - Eckernförde



Kilometer	540 KM
Häufigkeit	3 mal wöchentlich
Pausenverhalten	Fahrer präferiert eine kurze Toilettenpause (10 min) und eine lange Pause (45 min) inkl. Essen

Wochenende Ausflug

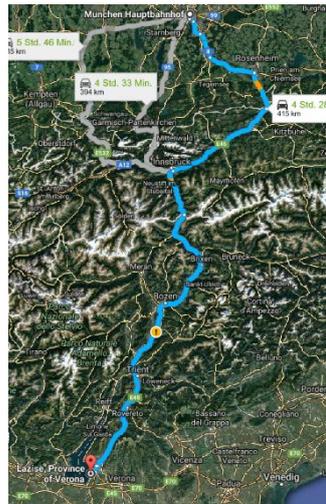
Fahrtstrecke München - Prag



Kilometer	389 KM
Häufigkeit	2 mal innerhalb von 3 Tagen
Pausenverhalten	Fahrer präferiert je Strecke eine längere Pause (15 min) um eine Kleinigkeit zu essen und Toilettenpause

Urlaubsfahrt (4 Personen)

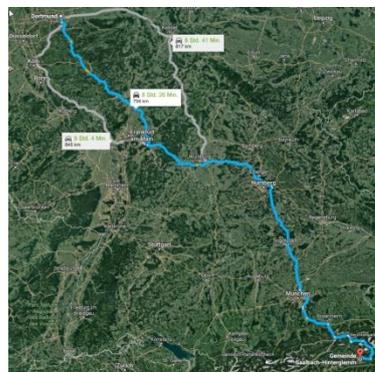
Fahrtstrecke München - Lazise (Gardasee)



Kilometer 416 KM
 Häufigkeit 2 mal innerhalb von 14 Tagen
 Pausenverhalten Familie präferiert eine kurze Pause (10 min) und eine längere Pause (30 min) inkl. Essen

Skiurlaub (4 Personen) inkl. Dachbox

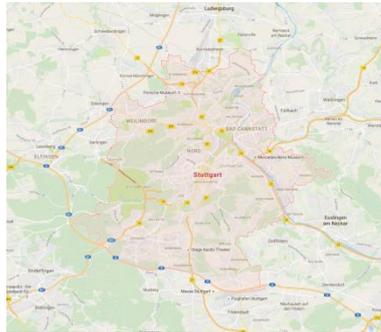
Fahrtstrecke Dortmund - Saalbach



Kilometer 789 KM
 Häufigkeit 2 mal innerhalb von 7 Tagen
 Pausenverhalten Gruppe präferiert späte kurze Pause (10 min) und später längere Pause (20 min) für Frühstück

Taxi Raum Stuttgart

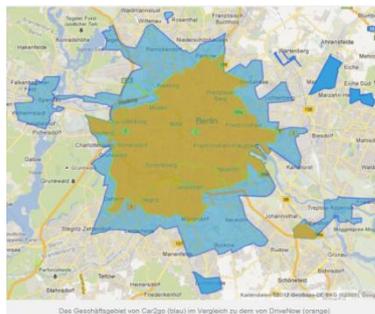
Fahrtstrecke Raum Stuttgart



Kilometer	360 KM
Häufigkeit	täglich
Pausenverhalten	Keine längeren Pausen vorgesehen, da Ladezeit keine Einnahmen bedeuten. Ladevorgang nach Schichtende geplant. Bei 24 h Nutzung möglichst kurze Pausen anvisiert.

Carsharing Berlin

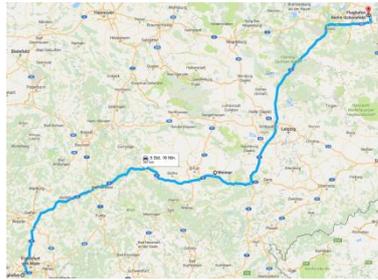
Fahrtstrecke Raum Berlin



Kilometer	80 KM
Häufigkeit	täglich
Pausenverhalten	<p>Hier existiert ein Zwiespalt. Auf der einen Seite werden CarSharing Fahrzeuge immer wieder an öffentlichen Ladestation abgestellt und müssten bei längeren Standzeiten nicht Schnellladen. Auf der anderen Seite wollen Nutzer, die ein Fahrzeug laden müssen, möglichst zeitnah ihre Reise fortsetzen und würden somit auch schnellladen. Spätestens wenn wir das autonome Fahren berücksichtigen spielt das Schnellladen eine entscheidende Rolle. Da hier die Fahrzeugverfügbarkeit für die Betreiber die höchste Priorität hat.</p> <p>In diesem Fall gehen wir lediglich von 80 KM Fahrtstrecke je Tag aus. Somit kann das Fahrzeug regelmäßig und vor allem über Nacht schonend geladen werden.</p> <p>Die Nutzer präferiert in unserem Fall keine Pause, da er schnell von A nach B möchte ohne langen Ladevorgang.</p>

Mietwagen

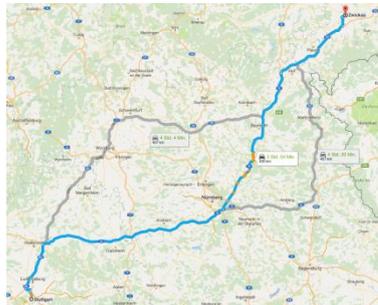
Fahrtstrecke Frankfurt Flughafen – Gera – Berlin Flughafen



Kilometer	567 KM
Häufigkeit	3 mal wöchentlich
Pausenverhalten	Der Mietwagen wird im Regelfall mit voller Ladekapazität und vollem Speicher übergeben. Für Langstreckenfahrten mieten insbesondere Geschäftskunden oftmals Mittel- oder Oberklassemodelle. In diesem Szenario möchte der Nutzer die Strecke bis zum Termin in Gera an einem Stück zurücklegen. Nach dem Termin möchte der Nutzer aufgrund von Zeitdruck (Abflugtermin) eine kurze Pause (10 min) einlegen.

Vollautonomes Fahren

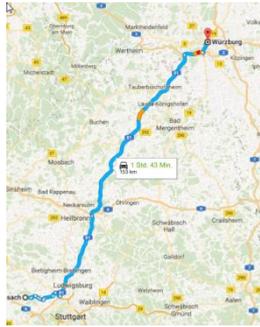
Fahrtstrecke	Stuttgart - Zwickau
--------------	---------------------



Kilometer	400 KM
Häufigkeit	jeweils einmal auf 2 aufeinander folgenden Tagen
Pausenverhalten	<p>In diesem Szenario gehen wir von einer Nachtfahrt und einem schlafendem Fahrer sowie einem automatisierten Ladevorgang aus. Der Fahrer stellt vor Beginn seiner Reise die gewünschte Ankunftszeit ein. Dem Fahrer sind die Dauer und die Anzahl der Ladevorgänge egal, wenn er zur gewünschten Zeit ankommt und die Kosten seinen Erwartungen entsprechen.</p> <p>In diesem Fall präferiert der Fahrer eine Pause nur dann, wenn es gemäß der Routenführung notwendig ist. Die Pausendauer ist nicht direkt vom Kunden vorgegeben, sondern ergibt sich aus Geschwindigkeit und geplanter Ankunftszeit.</p>

Sportwagen Fahrt (nachts)

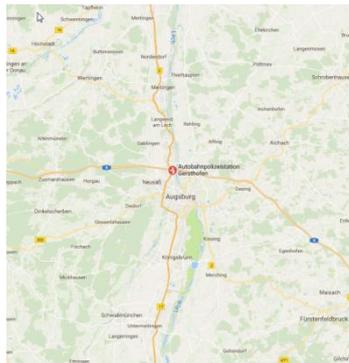
Fahrtstrecke	Weissach – Würzburg – Weissach
--------------	--------------------------------



- Kilometer 300 KM
- Häufigkeit einmalig
- Pausenverhalten Der Fahrer präferiert keine Schnellladepause. Nach Möglichkeit lädt der Fahrer an einer herkömmlichen Ladestation, Im Falle einer notwendigen Pause an der Autobahn, soll die Standzeit minimal (5min) sein.

Autobahn Polizei Fahrzeug

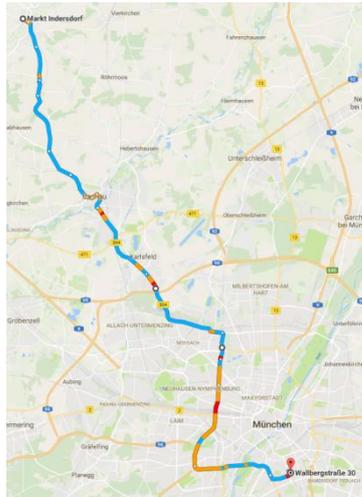
Fahrtstrecke Umfeld Gersthofen A8



- Kilometer 400 KM
- Häufigkeit täglich
- Pausenverhalten Da die Ladezeit im Regelfall auch Arbeitszeit ist, sind die Pausen minimal zu gestalten (möglichst keine Pausen, bei Bedarf max. 10 min/ Schicht). Ansonsten werden die Fahrzeuge über Nacht über AC Ladestationen geladen.

Pendler Stadtverkehr

Fahrtstrecke Markt Indersdorf – Perlach



Kilometer 65 KM
 Häufigkeit Täglich Hin- und Rückweg
 Anzahl Pausen Fahrer lädt nur an Schnellladestationen wenn es unbedingt notwendig ist. In diesem Szenario ist kein Schnellladevorgang geplant, da wir von höheren Kosten und Speicherschädigung ausgehen.

Lieferfahrt (Post, Transport UPS, ...)

Fahrtstrecke z.B. Post, ...; z.B. von großen Verteilzentren; Kleintransporter < 7,5 t



Kilometer 220 KM
 Häufigkeit täglich
 Anzahl Pausen Aufgrund Arbeitszeit kein Schnellladen. Bei Bedarf kurze Pausen.

Urlaubsfahrt mit Wohnwagen (Rentner Ehepaar)

Fahrtstrecke Arnheim – Damp



Kilometer 530 KM

Häufigkeit 2 Mal innerhalb von 3 Wochen

Pausenverhalten Nutzer sind an einer entspannten An- und Abreise interessiert und planen mehrere Pausen. In diesem Szenario gehen wir von einer 15 minütigen und einer 20 minütigen Pause aus.

Anhang 5 Testfälle Plug and Charge

Testfall ID	Gruppe	Testfall Beschreibung	Testobjekte	Testumgebung	Besonderheiten	Ausgangszustand	auslösende Aktion	erwartetes Ergebnis
1	SLAC	SLAC - einfacher Fall	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt	EVSE- nur ein Ladepunkt	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	SLAC Mechanismus startet -> Ladepunkt eindeutig identifiziert
2	SLAC	SLAC - viele Ladepunkte	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt	EVSE- mehrere Ladepunkte- crosstalk	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	SLAC Mechanismus startet -> Ladepunkt eindeutig identifiziert
3	PLC	SDP - IP Port öffnen	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Netzwerkschlüssel wird ausgetauscht
4	PLC	SDP - TLS aufbauen	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	TLS Verschlüsselung steht
5	PLC	DC Laden nach DIN	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (EIM)	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv

6	PLC	DC Laden nach ISO (ohne TLS)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (EIM)	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
7	PLC	DC Laden nach ISO (mit TLS)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (EIM)	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
8	PLC	DC Laden nach ISO (mit TLS, 0 Cypher)	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE - DC Ladepunkt (offline)	Noch in Klärung ob EVSE 0-Cipher unterstützt. TLS_ECDH_ECDSA_WI TH_NULL_SHA256	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
9	PLC	DC Laden nach ISO (mit TLS, verschlüsselt)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
10	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EV - kein V2G)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE - DC Ladepunkt (offline)	OBC- V2G root beim OBC löschen	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)

11	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EV - Fehler V2G 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	OBC- falsches V2G root (passt nicht zur Kette)	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
12	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EV - Fehler V2G 2)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	OBC- V2G root abgelaufen (Datum überschritten)	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
13	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EVSE - Fehler V2G 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	EVSE: - zeitlich ungültige CPO sub CAs nötig	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
14	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EVSE - Fehler V2G 2)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	EVSE: - CPO Kette passt nicht, Sub CA1/2 fehlerhaft	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
15	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EVSE - Fehler V2G 3)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	EVSE: - EVSE leaf, falscher private Key, passt nicht zum öffentlichen Schlüssel	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)

16	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler EVSE - Fehler V2G 4)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	EVSE:- EVSE leaf, Gültigkeitsdatum abgelaufen	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
17	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler BE - Fehler V2G 1)	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	Hubject Infrastruktur - keine OCSP response, Timeout	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
18	TLS	DC Laden nach ISO (Fehler BE - Fehler V2G 2)	OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	Hubject Infrastruktur - negative OCSP response, Zertifikat auf Blackliste	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	kein Aufbau TLS Verbindung -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
19	Normal	Laden nach ISO (Authentifizierung 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	-	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
20	Normal	Laden nach ISO (Authentifizierung 2)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	CPO BE erteilt Ladefreigabe	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv

21	Normal	Laden nach ISO (Authentifizierung 3)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	CPO BE erteilt Ladefreigabe und prüft OCSP response	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
22	Normal	Laden nach ISO (Fehler EV Authentifizierung 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC- Fehlerhafte Vertrags Zertifikat Kette nötig	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
23	Normal	Laden nach ISO (Fehler EV Authentifizierung 2)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC- falscher private Key für Vertrags Zertifikat, passt nicht zum öffentlichen Schlüssel	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
24	Normal	Laden nach ISO (Fehler EV Authentifizierung 3)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC- Gültigkeit Vertrags Zertifikat abgelaufen	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
25	Normal	Laden nach ISO (Fehler EVSE Authentifizierung 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	EVSE - kein MO root CA	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)

26	Normal	Laden nach ISO (Fehler EVSE Authentifizierung 2)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	Hubject Infrastruktur - negative OCSP response, MO root revoked	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
27	Normal	Laden nach ISO (Fehler EVSE Authentifizierung 3)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	Hubject Infrastruktur - negative OCSP response, MO Sub CA1 revoked	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
28	Normal	Laden nach ISO (Fehler EVSE Authentifizierung 4)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	Hubject Infrastruktur - negative OCSP response, MO Sub CA2 revoked	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
29	Normal	Laden nach ISO (Fehler EVSE Authentifizierung 5)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	Hubject Infrastruktur - negative OCSP response, Vertragszertifikat revoked	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Fehler bei PnC -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
30	Installation	Laden nach ISO (Zertifikats Installation 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	OBC - Vertragszertifikat nicht vorhanden EVSE - Vertragszertifikat ist auf Säule vorhanden	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv

31	Installation	Laden nach ISO (Zertifikats Installation 2)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC - Vertragszertifikat nicht vorhanden EVSE - Vertragszertifikat ist bei CPO vorhanden	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
32	Installation	Laden nach ISO (Zertifikats Installation 3)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC - Vertragszertifikat nicht vorhanden EVSE - Vertragszertifikat ist im Pool vorhanden	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	DC Laden aktiv
33	Installation	Laden nach ISO (Fehler Zertifikats Installation 1)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	OBC- OEM-Prov- Zertifikat fehlerhaft	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Vertrags Zertifikat wird nicht installiert -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
34	Installation	Laden nach ISO (Fehler Zertifikats Installation 2)	OBC, RBS OBC, EVSE	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (offline)	OBC - Gültigkeit OEM- Prov-Zertifikat abgelaufen	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Vertrags Zertifikat wird nicht installiert -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
35	Installation	Laden nach ISO (Fehler Zertifikats Installation 3)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	EVSE - OEM-Prov- Zertifikat wird im BE abgelehnt	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Vertrags Zertifikat wird nicht installiert -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)

36	Installation	Laden nach ISO (Fehler Zertifikats Installation 4)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	OBC- OEM-Prov- Zertifikat PCID ungültig	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Vertrags Zertifikat wird nicht installiert -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
37	Installation	Laden nach ISO (Fehler Zertifikats Installation 5)	OBC, EVSE, CPO	OBC- Standardkonfig EVSE- DC Ladepunkt (online)	EVSE- kein neues Vertragszertifikat im Pool	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Vertrags Zertifikat wird nicht installiert -> Unverschlüsseltes DC Laden (EIM)
38	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SupportedAppProtocol Res)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
39	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SessionSetupRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
40	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ServiceDiscoveryRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
41	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ServiceDetailsRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 4,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten

42	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PaymentServiceSelect ionRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
43	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PaymentDetailsRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 4,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
44	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - AuthorizationRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
45	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ChargeParameterDisc overyRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
46	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CertificateInstallationR es)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 4,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
47	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CertificateUpdateRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 4,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten

48	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CableCheckRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
49	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PreChargeRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
50	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PowerDeliveryRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 4,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
51	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CurrentDemandRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 0,025 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
52	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - WeldingDetetionRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
53	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SessionStopRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten

54	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - MeteringReceiptRes)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Anfrage < 1,5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Request erhalten
55	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SupportedAppProtocol Req)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
56	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SessionSetupReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
57	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ServiceDiscoveryReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
58	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ServiceDetailsReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
59	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PaymentServiceSelect ionReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten

60	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PaymentDetailsReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
61	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - AuthorizationReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
62	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - ChargeParameterDisc overyReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
63	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CertificateInstallationR eq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
64	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CertificateUpdateReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
65	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CableCheckReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten

66	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PreChargeReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
67	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - PowerDeliveryReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 5 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
68	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - CurrentDemandReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 0,25 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
69	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - WeldingDetetionReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
70	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - SessionStopReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten
71	Timing	Laden nach ISO (V2G Msg - MeteringReceiptReq)	OBC, RBS	OBC- Standardkonfig RBS- SCC Package	RBS - Antwort < 2 sec	OBC/EVSE Standby	Ladekabel stecken	Response erhalten

Anhang 6 Übersicht ausgewählte HPC Anbieter in Deutschland

Marke	Bezeichnung v. Hersteller	Leistung (kW)	Max. Spannung	Stecker	Link
ABB	Hochleistungs Ladestation	150/350/500	800	CCS	https://new.abb.com/ev-charging/de/produkte/ladestationen-pkws/hochleistungs-ladestationen
ads-tec & Porsche	High Power Charger	320	920	CCS	https://www.ads-tec.de/unternehmen/presse/press/artikel/elektromobilitaet-ads-tec-stellt-auf-der-evs30-einen-320-kw-speicherbasierten-high-power-charger-f.html
ChargeIT	DC-Schnellladestation	150	600	CCS/CHAd eMO	https://www.chargeit-mobility.com/loesungen-produkte/hardware/dc-schnell-ladestation/
chargepoint	Express Plus	500	1000	CCS/CHAd eMO	https://www.chargepoint.com/de-de/products/business/
Delta Energy	Ultra Fast Charger	150	1000	n.a.	http://www.charge-ultra-fast.com/en/
Enercon	E-Charger 600	350	920	CCS/CHAd eMO	https://www.amperio.eu/ladetechnik/enercon-e-charger-600kw-dc/
Kreisel	Chimero	160	n.a.	CCS/CHAd eMO	http://www.kreiselectric.com/chimero/
Parkstrom	Advanced	150	n.a.	CCS/CHAd eMO	http://parkstrom.de/wp-content/uploads/2018/06/Ansicht-parkstrom-

					Info-Faltblatt-08-06-18.pdf
Alpitronic	Hypercharger 300	300	1000	CCS/CHAd eMO	https://www.hypercharger.it/wp-content/uploads/2018/06/HYC_225_300_produktbrief_v20180513.pdf
efacec	HV350	350	920	CCS	https://electricmobility.efacec.com/ev-high-power/
Evbox	DC-HPC	350	950	CCS/CHAd eMO	https://evbox.de/produkte/dc-ladestation
Moon Power	Power Charger 300 DC	300	1000	CCS/CHAd eMO	https://www.moonpower.com/fuer-unternehmen/moonpower-charger-75-300
Siemens	Compact Power Charger	150	920	CCS/CHAd eMO	https://new.siemens.com/global/de/produkte/mobilitaet/strassenverkehr/elektromobilitaet/ecars-schnellladetechnologie.html
Tritium	Veefil HPC	475	920	CCS/CHAd eMO	https://www.tritium.com.au/product/productitem?url=veefil-pk

11.1 Ansprechpartner

Für Rückfragen stehen die folgend genannten Ansprechpartner zur Verfügung:

Koordinator	Ansprechpartner	Email-Adresse
Bayerische Motoren Werke AG 80788 München <i>Kurzform: BMW</i>	Projektleiter: Stephan Elflein	stephan.elflein@bmw.de
	Projektkoordinator: Michael Meurer	michael.meurer@bmw.de
Verbundpartner	Ansprechpartner	Email-Adresse
Allego GmbH <i>Kurzform: Allego</i>	Bernhard Pufal	bernhard.pufal@allego.eu
	Dr. Stephan Hell	stephan.hell@allego.eu
PHOENIX CONTACT E-Mobility GmbH <i>Kurzform: Phoenix Contact</i>	Robert Ewendt	rewendt@phoenixcontact.com
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG <i>Kurzform: Porsche</i>	Michael Dimitrov	michael.dimitrov@porsche.de
	Dr. Markus Göhring	markus.goehring@porsche.de
Siemens AG <i>Kurzform: Siemens</i>	Gerhard Oberpertinger	gerhard.oberpertinger@siemens.com

Hinweis: Im vorliegenden Text werden aus Gründen der Leserlichkeit nur die Kurzformen der Projektpartner verwendet.

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Das FastCharge Konsortium.....	10
Abbildung 2 Ladecontainer Architektur	16
Abbildung 3 Container und Kioske nach Aufbau in Aschheim.....	17
Abbildung 4 Ladetests mit Container und Leistungssenke	17
Abbildung 5 Einzelfundamentblöcke.....	18
Abbildung 6 Containerplatzierung.....	18
Abbildung 7 Mittelspannungstransformator	19
Abbildung 8 Untersuchung der "Hotspots".....	20
Abbildung 9 Leistungstest mit DC-Wirklastbank	20
Abbildung 10 Zwei von drei Leistungsmodulen (HPC + H01 CP1 & CP2).....	21
Abbildung 11 Drittes Leistungsmodul (HPC + H02 CP1).....	22
Abbildung 12 DC Messsensor (max. 940 V, max. 500 A).....	24
Abbildung 13 Auswertungselektronik.....	24
Abbildung 14 Versuchsaufbau.....	25
Abbildung 15 Designgehäuse.....	26
Abbildung 16 Standard Gehäuse.....	26
Abbildung 17 Menüführung auf dem Monitor.....	27
Abbildung 18 Der Ladestrom bestimmt den Leitungsquerschnitt.....	28
Abbildung 19 Zusammenhang normativer Einsatzbereiche.....	29
Abbildung 20 Grafische Darstellung Einfluss der Kühlung und normative Anforderungen in Kelvin (K).....	29
Abbildung 21 Abgrenzung Gesamtsystem Phoenix Contact	30
Abbildung 22 HPC-Konzeptstufen im Projekt	31
Abbildung 23 Schnittbild Kühlkonzept CCS-Basis	32
Abbildung 24 Explosionszeichnung CCS-Basis.....	32
Abbildung 25 Kontakt bei 400 A ohne Kühlung	33
Abbildung 26 Kontakt bei 400 A mit Kühlung.....	33
Abbildung 27 Normaler Betriebsfall bei 500A	34
Abbildung 28 Simulation Fehlerfall bei 500A	34
Abbildung 29 Beispielmessung Simulation eines plötzlichen Temperaturanstiegs... ..	35
Abbildung 30 Erweitertes, neues Konzept des HPC-Ladesteckers	35

Abbildung 31	Finales Konzept des HPC-Ladesteckers	36
Abbildung 32	Finales Konzept HPC-Ladestecker mit austauschbaren Frontkomponenten.	37
Abbildung 33	Projektspezifische Entwicklung des HPC-Ladesteckers mit Kühleinheit	38
Abbildung 34	Ergebnisse der gecrimpten Kontaktverbindung	39
Abbildung 35	Ultraschallgeschweißte Kontaktverbindung	39
Abbildung 36	Beschrieben durch Ultraschallangeschweißte Kontakt (links) gasdichte Kompression (rechts).....	40
Abbildung 37	Widerstandswerte nach Alterung der Kontakte.....	40
Abbildung 38	Schnittbild / Aufbau der HPC-Leitung.	42
Abbildung 39	Temperaturkurven HPC-Mantelleitung bei 500 A und 20°C Umgebungstemperatur.....	42
Abbildung 40	Konzept mit Ladesäuleneinführung und Stromschienenanschluss für die Leistungsleitungen. Konzeptschritte Kühleinheit	43
Abbildung 41	Integrationsschritt der Kühleinheit.....	43
Abbildung 42	Unterschiede passive und aktive System (Standard Bauformen)	44
Abbildung 43	400 A Ladestrom bei 20 °C Umgebungstemperatur	45
Abbildung 44	400 A Ladestrom bei 40 °C Umgebungstemperatur	46
Abbildung 45	500 A Ladestrom bei 40 °C Umgebungstemperatur	46
Abbildung 46	Stufenmessung zur Grenzwertbestimmung von passiven Kühlsystemen mit dem Phoenix Contact Steckersystem	47
Abbildung 47	Stufenmessung zur Grenzwertbestimmung mit einem aktivem Kühlgerät und dem Phoenix Contact Stecksystem	48
Abbildung 48	Ermittlung optimaler Arbeitspunkt der Pumpe bei ausreichender Kühlleistung.....	49
Abbildung 49	Diagramme Volumenstrom und Druckverluste	49
Abbildung 50	Projektzeitdurchlauf „projektspezifisches Kühlgerät“ nach Konzeptfestlegung.....	50
Abbildung 51	Konzeptdarstellung - Komponenten einer passiven Kühleinheit.....	50
Abbildung 52	Integration der Kühleinheit im 3-D Modell.....	51
Abbildung 53	Finales Konzept mit optimierten Luftein und -austritt	51
Abbildung 54	Integration der Kühleinheit für die Anlage Jettingen-Scheppach.	52

Abbildung 55 Passives Kühlgerät für HPC-Testanlagen	53
Abbildung 56 Standard Universalinlet.....	54
Abbildung 57 Explosionsdarstellung der Einzelkomponenten im Inlet.....	54
Abbildung 58 BMW Prototyp Fahrzeugschnittstelle	55
Abbildung 59 Porsche Prototyp Fahrzeugschnittstelle	55
Abbildung 60 Messdiagramm Prototyp Fahrzeugschnittstellen 500 A Test.....	56
Abbildung 61 Bedieneinheit 200 A BMW Aschheim	59
Abbildung 62 Bedieneinheiten 200A (links) und 500A (rechts) BMW Aschheim	59
Abbildung 63 Bedieneinheiten 500 A (links) und 200 A (rechts) Porsche Weissach	60
Abbildung 64 Bedieneinheiten 500 A (links) und 200 A (rechts) Jettingen-Scheppach	60
Abbildung 65 3D Model des geplanten Standortes.....	61
Abbildung 66 Standortplanung Umbau Jettingen-Scheppach	62
Abbildung 67 Ladevorgang 50 kW.....	63
Abbildung 68 Ladevorgang 86 kW.....	64
Abbildung 69 Ladevorgang 153 kW.....	64
Abbildung 70 Prognostizierter Bestand der Elektrofahrzeuge (xEV) in Deutschland bis 2030.....	67
Abbildung 71 HPC-relevante Segmente und deren prozentuale Anteile (in Farbe) ≥ 150kW Ladeleistung	68
Abbildung 72 HPC-fähige BEV bis 2030 in Deutschland nach Szenario	69
Abbildung 73 Beispiel Berechnungsmethode für Suchräume (RWTH ISB).....	69
Abbildung 74 Summierung der Verkehrsnetzbelastungen, schematisch (RWTH ISB)	71
Abbildung 75 Bedarf der öffentlichen HPC-Ladepunkte für 2025 & 2030 bei progressiver Fahrzeugprognose (RWTH ISB).....	71
Abbildung 76 Bedarf an HPC Ladepunkten nach Szenario und Prognosejahr.....	72
Abbildung 77 HPC Ladeinfrastrukturbedarf 2025 nach Großstadt-Region	73
Abbildung 78 HPC Ladeinfrastrukturbedarf 2030 nach Großstadt-Region	74
Abbildung 79 Großstadtregionen 2015 (BBSR 2017).....	74
Abbildung 80 HPC Ladepunktbedarf in den Großstadt-Regionen aus dem Binnenverkehr	75

Abbildung 81: Erwartete Leistungsnachfrage während des Tages für HPC Infrastruktur in Deutschland nach Szenario, 2025	76
Abbildung 82: Erwartete Leistungsnachfrage während des Tages für HPC Infrastruktur in Deutschland nach Szenario, 2030	76
Abbildung 83: HPC-Ladepunktbedarf in Deutschland bis 2030 (Erwartetes Szenario)	78
Abbildung 84 HPC-Ladepunktbedarf in Deutschland bis 2030 (Progressives Szenario)	79
Abbildung 85 Theoretisches Erlöspotenzial.....	80
Abbildung 86 Forschungsfahrzeug BMW in Jettingen-Scheppach.....	81
Abbildung 87 Fahrzeugkonzept.....	82
Abbildung 88 Explosionsdarstellung FastCharge Forschungsfahrzeug.....	83
Abbildung 89 Hochvoltarchitektur FastCharge Forschungsfahrzeug.....	84
Abbildung 90 Hochvolt – Spannungswandler	85
Abbildung 91 Funktionsmuster HV-DC/DC Schleife 1, im Kofferraum verortet.....	85
Abbildung 92 Hochvolt-Spannungswandler 2018, hochintegriert	86
Abbildung 93 HV-DC/DC mit Abtriebswellen und -getriebe	86
Abbildung 94 Rückfall-Lösung mit 2 parallelgeschalteten Spannungswandlern	87
Abbildung 95 Hochvoltverteiler FastCharge	88
Abbildung 96 modulnaher Zelltest	89
Abbildung 97 exemplarisches Lade-Stromprofil	90
Abbildung 98 Laden mit 173 kW im Boost-Modus	91
Abbildung 99 Mess-Sheet von FastCharge Presseevent (Laden innerhalb 15 min).	91
Abbildung 100 Explosionszeichnung Forschungs – Hochvoltspeicher	92
Abbildung 101 FastCharge Schützbox	93
Abbildung 102 FastCharge Ladedose	93
Abbildung 103 Identifizierung von Hot Spots durch 3D-Simulation.....	94
Abbildung 104 Kältekreis	95
Abbildung 105 Niedertemperatur – Kühlkreis 1	96
Abbildung 106 HVS-Kühlkreis	96
Abbildung 107 Beispielhafte Simulation Heißluftwalze	97
Abbildung 108 DC/DC – erstes Funktionsmuster	97

Abbildung 109 Blick von unten auf FastCharge Spannungswandler (in Fahrtrichtung von hinten).....	98
Abbildung 110 800 V Spannungswandler mit Abtriebswelle und eDH (elektrischer Durchlauferhitzer)	98
Abbildung 111 luftgekühlter Hochstromverteiler (rechts, Blick von oben)	99
Abbildung 112 Thermische Absicherung einer FastCharge Komponente (HV-Verteiler)	100
Abbildung 113 Erstinbetriebnahme Teilsystem FastCharge	100
Abbildung 114 Entladen der FastCharge Batterie durch Rückspeisen	101
Abbildung 115 Topologie des Hochvoltsystems	102
Abbildung 116 Verkabelung HV-Komponenten	103
Abbildung 117 HV-Batterie mit Zusatzkühlumfang	104
Abbildung 118 Simulation der Batterietemperatur	105
Abbildung 119 Strömungssimulation Batteriemodul	105
Abbildung 120 Strömungssimulation Batteriemodul	106
Abbildung 121 Die hintere Sitzmulde ist komplett entfernt.....	107
Abbildung 122 Stattdessen ist eine Haube mit Öffnung als Zugang zu den neuen kühlmittelführenden Komponenten verbaut.	107
Abbildung 123 Einbau Batterie: Die Batterie wird mit der gesamten Kühlung von unten ins Fahrzeug eingefahren.....	108
Abbildung 124 Package Gesamtfahrzeug	108
Abbildung 125 Durch die Entfernung der hinteren Sitzmulde ist genügend Platz für die zusätzlichen Kühlkreis-Aufbauten auf der Batterie.	109
Abbildung 126 Anschluss Batterie- an die Fahrzeugkühlung.....	109
Abbildung 127 Darstellung der Hochvoltkomponenten im Fahrzeug	110
Abbildung 128 Aufgebaute Batterie mit zusätzlichen Kühlmängeln und BMS	111
Abbildung 129 Typischer Verlauf der Ladeleistung	113
Abbildung 130 Ausschnitt des gemessenen Ladeprofils im Fahrzeug bei dem Schnellladeversuch in Jettingen-Scheppach	114
Abbildung 131 Vergleich der Zelltemperaturen zweier Ladeprofile.....	115
Abbildung 132 Messpunkte für die folgenden Sankey-Diagramme	116
Abbildung 133 Ladewirkungsgradvergleich Variante 1 (250 kW)	116
Abbildung 134 Ladewirkungsgradvergleich Variante 2 (400 kW)	117

Abbildung 135: FastCharge Systemkomponenten	118
Abbildung 136 Identifizierte Komponenten, Schnittstellen und Protokolle	119
Abbildung 137 Initialisierung zwischen EV und EVSE (1/2).....	122
Abbildung 138 Initialisierung zwischen EV und EVSE (2/2).....	122
Abbildung 139 Precharge und Energy Transfer zwischen EV und EVSE.....	123
Abbildung 140 Ende der Ladesequenz zwischen EV und EVSE	123
Abbildung 141 Überblick zu den fahrzeugseitigen Zuständen einer V2G- Communication-Session.....	124
Abbildung 142 Aktueller Stand der Umsetzung für die Ladekommunikation	125
Abbildung 143 TLS-Handshake (exemplarisch)	126
Abbildung 144 Kommunikationszustände für die DC-Nachrichtenübermittlung.....	127
Abbildung 145 Entwicklung Fehlerkurve DIN/ISO	129
Abbildung 146 Data Management Architektur	130
Abbildung 147 Übersicht Medienecho zum FastCharge Pressetag.....	134
Abbildung 148 Informationsgrafik FastCharge Projekt	135
Abbildung 149 Aufkleber Ladesäule	135
Abbildung 150 Pressetag: Konsortialpartner am 13.12.2018 in Jettingen-Scheppach vor dem Ladesystem mit Forschungsfahrzeugen	136
Abbildung 151 Pressetag: Forschungsfahrzeuge am 13.12.2018 vor dem Gesamtsystem in Jettingen-Scheppach	136
Abbildung 152 Forschungsfahrzeuge am 13.12.2018 vor dem Gesamtsystem in Jettingen-Scheppach II.....	137
Abbildung 153 Tabletoberfläche Porsche (exemplarische Werte)	137
Abbildung 154 Tabletoberfläche BMW	138
Abbildung 155 Roadmap Fahrzeugtechnik.....	145
Abbildung 156 Roadmap Leistungselektronik Infrastruktur	147
Abbildung 157 Roadmap Frontend.....	148
Abbildung 158 Roadmap Ladeschnittstelle.....	149
Abbildung 159 Roadmap Informations- und Kommunikationssysteme.....	150

11.3 Glossar/Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AE	Antriebselektronik
AGB	Ausgleichsbehälter
A-Muster	Funktionsmuster mit Einschränkungen
BCU	Base-Charge-Unit: Die Leistungseinheit welche die Leistungselektronik des Ladesystems enthält.
BEV	Battery powered electric vehicle
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BOL	Begin of Life
CAD	Computer-aided design: Konstruktionssoftware
CAM	Center of Automotive Management
CAN	Controller Area Network: ein serielles Bussystem
CCS	Combined Charging System
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CP	Control Pilot
CPO	Charge Point Operator (Ladestationsbetreiber)
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DIN Spec 70121	Kommunikationsstandard
E / E	Elektrik- und Elektronik
ECC	Box-Computer, der in Schaltkästen oder Schaltschränken eingebaut werden kann.
eDH	elektrischer Durchlauferhitzer
EIM	External Identification Means: Authorisierungsverfahren
EKK	Elektrischer Klima Kompressor
EU	Europäische Union
EV	Electric Vehicle
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment (Ladestation)
EXVs	Elektrisches Expansionsventil
G	Gramm
GSM	Global System for Mobile Communications: Mobilfunkstandard
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HMI	Human-Machine-Interface (Bedienschnittstelle)

HPC	High Power Charging (Laden mit Leistungen von 150 – 450 kW)
HV	Hochvolt
HV-DC/DC	Hochspannungswandler
HVS	Hochvoltspeicher
HVVT	Hochvoltverteiler
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission: Eine internationale Normungsorganisation für Normen im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IP54	Genormte Schutzklasse
ISO 15118	Internationaler Kommunikationsstandard der, die Kommunikation zwischen einer Ladestation und einem Elektrofahrzeug beschreibt.
JSON	JavaScript Object Notation: Datenformat in Textform zum Zweck des Datenaustauschs zwischen Anwendungen
K	Kelvin
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KSWT	Kreuzstromwärmetauscher
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LED	light-emitting diodes: Leuchtmittel
LP	Ladepunkt
LV	Niedervolt
MVA	Megavoltampere (Scheinleistung)
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Förderkoordinator von FastCharge)
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
OBC	On Board Charger
OCPP	Open Charge Point Protocol : Applikationsprotokoll für die Authentifizierung von Elektromobilen in Ladestationen (Anbindung Ladestation an Betreiber)
PHEV	Plug in hybrid electric vehicle
PKW	Privatkraftfahrzeug
PLC	Power Line Communication

PnC	Plug and Charge
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Pv	Verlustleistung
PWM	Puls-Weiten-Modulation
PWT	Wärmetauscher
RFID	radio-frequency identification; Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen
RWTH Aachen	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
SECC	supply equipment communication controller: Datenübertragungsprotokoll
SiC	Silicium Carbid
SoC	State of Charge
STELLA	Standortfindungsmodell für elektrische Ladeinfrastruktur
T	Temperature
TLS	Transport Layer Security (Verschlüsselungsprotokoll zur Datenübertragung im Internet)
UI	User Interface
USS	Ultraschallschweiß-Technologie
UX	User Experience
V	Volt
V2G	Vehicle to Grid
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure: neues Messverfahren zur Bestimmung der Abgasemissionen (Schadstoff- und CO ₂ -Emissionen) und des Kraftstoff-/Stromverbrauchs von Kraftfahrzeugen.
xEV	Abkürzung für alle Fahrzeuge, die einen elektrischen Traktionsmotor enthalten

11.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Simulation Fahrscenarien	14
Tabelle 2 Ergebnisse nach Umwelteinflüssen nach DIN EN ISO 6988 / DIN 50018	41
Tabelle 3 High Power Charging (HPC) Klassifizierung	65
Tabelle 4 Prognostizierte Fahrzeug-Eigenschaften nach Segment und Technologieentwicklungen (RWTH und FastCharge Annahmen)	70
Tabelle 5 Bedarf an HPC Ladepunkte nach Bundesland für die Prognosejahre 2025 und 2030.....	73
Tabelle 6 Erwartete tägliche Energiebedarf nach Bundesland (Erwartetes Szenario)	77
Tabelle 7 Vorschlag für ein bundesweite HPC-Ladeinfrastruktur Rollout je Bundesland (Ladepunkte, Erwartetes Szenario)	80
Tabelle 8 Aktueller Stand der Umsetzung/Zustand	126
Tabelle 9 Teststatus für ISO 15118 Nachrichten	129
Tabelle 10 Merkmale & Ausprägungen auf das Lade-&Fahrverhalten	159
Tabelle 11 Annahmen für Fahrscenarien.....	160

11.5 Literatur und Quellen

BMW Group, 2019.

Elektromobilität unter Extrembedingungen: Der BMW iX3, der BMW i4 und der BMW iNEXT im Kältetest am Polarkreis

<https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0293467DE/elektromobilitaet-unter-extrembedingungen:-der-bmw-ix3-der-bmw-i4-und-der-bmw-inext-im-kaeltetest-am-polarkreis>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Bratzel, S., 2018.

Center of Automotive Management (CAM) - E-Mobilität: Absatztrends in wichtigen globalen Automobilmärkten: 1.-3. Quartal 2018

https://auto-institut.de/index_htm_files/Pressemitteilung_Elektro_Q3_2018.pdf

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Brost, W., T. Funke and M. Lembach, 2018a.

Räumliche Differenzierung des ÖPNV-Modalsplits zur Integration in die Standortbetrachtung für Ladeinfrastrukturen. REALCORP 2018 – Expanding Cities & Diminishing Space. Wien.

Brost, W., T. Funke, R. Philipsen, T. Brell und M. Ziefle, 2018b.

Integrated Model Approach STELLA. Method of Site Identification for Charging Infrastructure. 15th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems (CTS 2018). Projekt: SLAM (BMW).

Brost, W., T. Funke und R. Philipsen, 2018c.

Calculation of potential for setting up charging infrastructure for battery-powered electric vehicles – Focusing the calculation of potential according to the urban quarter level. International scientific Conference on Mobility and Transport Urban Mobility – Shaping the Future Together (mobil.TUM 2018). Juni 2018, München.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2018.

Laufende Stadtbeobachtung – Raumabgrenzungen. Großstadtregionen.

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/Grossstadtregionen/Grossstadtregionen.html?nn=443048>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2018.

INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung.

<https://www.inkar.de/>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Bundesregierung de Bundesrepublik Deutschland, 2009.

Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung

https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2016-08/nep_09_bmu_bf.pdf

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

electrive.Net, 2018(a).

FastCharge-Projektleiter Stephan Elflein von BMW über ultraschnelles Laden

https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=irGATOUmx80

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

electrive.Net, 2018(b).

Robert Ewendt von Phoenix Contact über gekühlte Ladekabel
<https://www.youtube.com/watch?v=1TI-TSEq5eU&t=91s>
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

electrive.Net, 2018(c).

FastCharge: Dr. Markus Göhring von Porsche über Laden mit 400 kW
<https://www.youtube.com/watch?v=uX4GI4EyW88>
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Europäische Union – EU, 2014.

RICHTLINIE 2014/94/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32014L0094>
zuletzt geprüft am 14.05.2019

Focus, 2018.

Porsche und BMW testen Super-Lader für Elektroautos
https://www.focus.de/auto/elektroauto/fastcharge-100-kilometer-in-drei-minuten-porsche-und-bmw-testen-super-lader-fuer-elektroautos_id_10062599.html
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Kraftfahrtbundesamt, 2019.

Pressemitteilung Nr. 5/2019
https://www.kba.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/pm_05_19_bestand_01_19_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=6
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

ManagerMagazin,2018.

BMW und Porsche lassen Teslas Supercharger alt aussehen
<https://www.manager-magazin.de/digitales/it/tesla-supercharger-bmw-und-porsche-bieten-schnelladestation-mit-dreifacher-kapazitaet-a-1243611.html>
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) Berlin, 2015.

Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase
http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_Fortschrittsbericht_2018_barrierefrei.pdf
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Berlin, 2018.

Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015
https://www.bdew.de/media/documents/20151127_Statusbericht-LIS.pdf
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5 „Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung“ –, 2019.

S O F O R T P A K E T LADEINFRASTRUKTUR 2019
<https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/03/Bericht-M%C3%A4rz-2019-AG-5-Sektorkopplung-der-NPM-Sofortpaket-Ladeinfrastruktur-2019.pdf>
zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Reiter, C., 2018.

BMW and Porsche Just Beat Tesla to Three-Minute Charge

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-12-13/bmw-porsche-boast-three-minute-charging-jolt-for-electric-cars>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Seibt, T., 2018.

E-Auto laden in 15 Minuten

<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/elektroauto-schnell-laden-projekt-fastcharge/>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Schmidt, A., 2018.

FastCharge: Prototyp für superschnelles Laden

<https://edison.handelsblatt.com/erklaren/fastcharge-prototyp-fuer-superschnelles-laden/23786348.html>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Schwierz, P., 2018.

FastCharge-Projekt demonstriert Laden mit bis zu 450 kW

<https://www.electrive.net/2018/12/13/fastcharge-projekt-demonstriert-laden-mit-bis-zu-450-kw/>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Soller, G., 2018.

FastCharge: Volladen in einer Viertelstunde

<https://vision-mobility.de/news/fastcharge-volladen-in-einer-viertelstunde-1695.html>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Wolther, M., 2018.

Elektromobilität: Neue Zahlen aus dem BDEW-Ladesäulenregister

<https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/ueber-16100-oeffentliche-ladepunkte-deutschland/>

zuletzt geprüft am 14.05.2019.