

Forschungsbericht BWPLUS

**Standortübergreifendes netzdienliches
Lastmanagement mit kostengünstiger und
hochskalierbarer chargeBIG Ladeinfrastruktur -
Kurztitel: “StandNetzLast“**

von

Patricia Merl

MAHLE International GmbH

Förderkennzeichen: BWINP 19009

Laufzeit: 01.01.2019 – 31.07.2021

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Oktober 2021

Standortübergreifendes netzdienliches Lastmanagement mit kosten- günstiger und hochskalierbarer chargeBIG Ladeinfrastruktur - StandNetzLast

Schlussbericht
im Förderprogramm
Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen (INPUT)

Förderkennzeichen
BWINP19009

Zuwendungsempfänger
MAHLE International GmbH

Gesamtlaufzeit des Vorhabens
Von 01. Januar 2019 bis 31. Juli 2021

Projektleiter
Patricia Merl
Patricia.Merl@mahle.com
+4915168959970

Abgabedatum
18. Oktober 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse.....	6
2 Motivation und Hintergründe des Vorhabens.....	7
3 Aufgabenstellung.....	8
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	10
5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	11
6 Planung und Ablauf des Vorhabens	12
7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	15
8 Erzielte Ergebnisse	16
9 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers	22
10 Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen; Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen.....	23
11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse	26
12 Literaturverzeichnis	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Nutzung der Elektrofahrzeuge als netzdienliche regelbare Last abhängig von Strom (Grenze durch Kabelquerschnitt / Absicherung), Spannung (Last auf dem Niederspannungsnetz) und Netzfrequenz (Last auf dem Verbundnetz)	9
Abbildung 2:	chargeBIG Ladeschrank im MAHLE Werk Lorch.....	13
Abbildung 3:	chargeBIG Ladeschrank am MAHLE Standort in Stuttgart Feuerbach.....	14
Abbildung 4:	chargeBIG Ladepunkte im MAHLE Werk Lorch	16
Abbildung 5:	chargeBIG Ladepunkte am MAHLE Standort in Stuttgart Feuerbach	17
Abbildung 6:	chargeBIG Ladepunkte am MAHLE Standort Stuttgart Bad Cannstatt	17
Abbildung 7:	Intelligentes und phasenindividuelles chargeBIG Lastmanagement	18
Abbildung 8:	chargeBIG System mit anderen Verbrauchern.....	19
Abbildung 9:	Lasten gezielt steuern über OpenADR, chargeBIG.....	20
Abbildung 10:	chargeBIG Ladepunkte bei der CRONIMET Holding GmbH	23
Abbildung 11:	chargeBIG Ladepunkte bei der Marquard & Bahls AG.....	24
Abbildung 12:	chargeBIG Ladeschrank bei der Trelleborg Sealing Solutions GmbH.....	25
Abbildung 13:	chargeBIG POWER	25

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
BEV	Battery Electric Vehicle
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CPO	Charge Point Operator
ELBE	Electrify Buildings for Electric Vehicles
INPUT	Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen
ITWM	Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MW	Megawatt
NO _x	Stickoxid
OEM	Original Equipment Manufacturer
OpenADR	Open Automated Demand Response
PKW	Personenkraftwagen
u. a.	unter andere, untere anderem
ugs.	Umgangssprachlich
W	Watt

1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Förderprogramms INPUT konnten folgende Forschungsergebnisse erzielt werden:

- Nachweis, dass an drei Standorten netzdienliche Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung verschiedenster lokaler Randbedingungen mit einer Vielzahl von Ladepunkten installiert werden kann.
- Nachweis, dass durch intelligentes phasenindividuelles Lastmanagement eine Vielzahl an Elektrofahrzeugen ohne Erweiterung des Netzanschlusses geladen werden kann.
- Nachweise, dass eine Regelung auf Anschlussleistung lokal der Netzstabilisierung dient. Die Regelung auf Netzspannung und Netzfrequenz wurde implementiert. Eine Verifizierung steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch aus.
- Nachweis, dass auf alle drei Standorte gleichzeitig zugegriffen werden kann und auch die Last zeitgleich verringert werden kann. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt noch zu geringen Gesamtregelleistung kann kein Einfluss auf die regionale Netzstabilität genommen werden. Durch die Zunahme der Elektromobilität kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft eine ausreichend große Regelleistung entsteht, um regional zur Netzstabilisierung beizutragen.
- Nachweis, dass hochskalierbare Ladeinfrastruktur mit der bestehenden Niederspannungsnetzinfrastruktur möglich ist.
- Nachweis, dass Elektrofahrzeuge als regelbare Last verwendet werden können.
- Nachweis, dass eine zentralisierte Ladeinfrastruktur eine deutliche Reduktion der Installations- und Wartungskosten ermöglicht.

2 Motivation und Hintergründe des Vorhabens

Im November 2016 hat sich die Bundesrepublik Deutschland dazu verpflichtet im Jahr 2050 treibhausgasneutral zu werden (vgl. *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit* (Hrsg.) 2020a: o. S.). Mit der Nachbesserung des Klimaschutzgesetzes 2021 wird die Treibhausgasneutralität nun 2045 angestrebt (vgl. *Presse- und Informationsamt der Bundesregierung* (Hrsg.) 2021a: o. S.). Ein erheblicher Anteil der Treibhausgase in Deutschland entsteht durch den Verkehrssektor. 2020 wurden durch diesen ca. 145 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid ausgestoßen. Um den Verkehr klimaneutral zu gestalten soll u. a. die Elektromobilität, der Radverkehr und der öffentliche Nah- und Fernverkehr gestärkt werden (vgl. *Presse- und Informationsamt der Bundesregierung* (Hrsg.) 2021b: o. S.).

Im Jahr 2020 wurden ca. 194.000 Personenkraftwagen (PKW) mit reinem elektrischem Antrieb in Deutschland zugelassen. Dies entspricht einem Anstieg von über 200 Prozent zum Vorjahr (vgl. *Kraftfahrt-Bundesamt* (Hrsg.) 2021a, S. 8.). Die steigenden Zulassungszahlen sind u. a. auf staatliche Zuschüsse für E-Fahrzeuge, steigende Kraftstoffpreise für Diesel und Benzin, sinkende Fahrzeugpreise für BEVs (Battery Electric Vehicle), Reichweitensteigerungen, gesteigerte Modellauswahl sowie ein steigendes Umweltbewusstsein der Käufer zurückzuführen. Damit waren zu Beginn 2021 rund 310.000 PKWs mit reinem elektrischem Antrieb in Deutschland im Bestand (vgl. *Kraftfahrt-Bundesamt* (Hrsg.) 2021b, S. 8.). Neueste Prognosen gehen von 14 Mio. E-Autos im Jahr 2030 aus (vgl. *Delhaes, D.* 2021, o. S.).

Mit dem Anstieg der E-Mobilität nimmt auch der Bedarf an Ladeinfrastruktur zu. Im September 2021 waren knapp 47.000 öffentliche Ladepunkte in Betrieb (vgl. *Bundesnetzagentur* (Hrsg.) 2021: o. S.). Das Ziel für das Jahr 2030 sind eine Million öffentliche Ladepunkte in Deutschland (vgl. *Presse- und Informationsamt der Bundesregierung* (Hrsg.) 2021b: o. S.). Damit nimmt auch der Strombedarf zu. Der Strombedarf für einen vollständig elektrifizierten deutschen PKW-Bestand – ca. 45 Mio. PKWs – beträgt 100 Terrawattstunden (TWh) im Jahr. Dies entspricht einem Sechstel des kompletten Strombedarfs Deutschlands (vgl. *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit* (Hrsg.) 2020b: o. S.).

Die Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien im deutschen Strommix (Schwankungen in der Erzeugung), der Rückbau von Kohle- und Kernkraftwerken (Grundlastwerken) sowie der Zunahme des Strombedarfs durch die Elektromobilität stellt die Energieversorger vor erhebliche Herausforderungen im Bereich der Energieerzeugung und -verteilung (vgl. *Vahlenkamp, T. et al.* 2020, S. 1). Um diesen Herausforderungen im Energiesektor gerecht zu werden und die Energiewende zu unterstützen, bedarf es intelligenter und netzdienlicher Ladelösungen.

3 Aufgabenstellung

Im Rahmenplan wurden folgende Ziele für das Projekt StandNetzLast definiert:

- 1) Nachweis, dass an fünf Standorten netzdienliche Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung verschiedenster lokaler Randbedingungen mit einer Vielzahl von Ladepunkten installiert werden kann.¹
- 2) Nachweis, dass durch intelligentes phasenindividuelles Lastmanagement eine Vielzahl an Elektrofahrzeugen ohne Erweiterung des Netzanschlusses geladen werden kann.
- 3) Nachweis, dass eine Regelung auf Anschlussleistung, Netzspannung und Netzfrequenz lokal der Netzstabilisierung dient.
- 4) Nachweis, dass eine Regelung und Vernetzung über fünf Standorte hinweg auf Anschlussleistung, Netzspannung und Netzfrequenz regional der Netzstabilisierung dient.

Weiterhin wurden folgende Einzelergebnisse der Projektteilnehmer festgelegt:

- 5) Nachweis der lokal netzdienlichen Regelung auf Basis des Niederspannungsnetzes; hier möchte der Projektpartner MAHLE aufzeigen, dass hochskalierbare Ladeinfrastruktur mit der bestehenden Niederspannungsnetzinfrastruktur möglich ist.
- 6) Nachweis der regional netzdienlichen Regelung auf Basis der Netzfrequenz; hier möchte der Projektpartner Fraunhofer ITWM aufzeigen, dass schon heutige Elektrofahrzeuge als regelbare Last einen wertvollen Beitrag zur Stabilisierung der Energienetze beitragen können.
- 7) Der Unterauftragnehmer eliso möchte aufzeigen, dass zentralisierte Ladeinfrastruktur eine deutliche Reduktion der Installations- und Wartungskosten ermöglicht und damit einen wertvollen Beitrag zur Elektrifizierung der individuellen Mobilität in Baden-Württemberg darstellt.

Netzdienlichkeit wird bei StandNetzLast in einem dreistufigen Prozess standortindividuell und standortübergreifend sichergestellt. An jedem Standort ist die maximal verfügbare Leistung bekannt, die Energieströme aller Verbraucher des Standortes werden analysiert und nur die verbleibende Leistung wird intelligent phasenindividuell auf die ladenden Elektrofahrzeuge verteilt. Sollte die Spannung im Niederspannungsnetz sinken, reagiert die intelligente Regelung auf diese Überlastsituation und reduziert die Leistungsaufnahme der Elektrofahrzeuge zur Entlastung und Stabilisierung des Niederspannungsnetzes. Zu hohe oder zu niedrige Netzfrequenzen weisen auf Probleme mit der Energieverteilung in den Hochspannungsnetzen oder bei der Energieerzeugung hin. Auch hier werden die Fahrzeuge als regelbare Last eingesetzt und deren Leistungsaufnahme intelligent phasenindividuell erhöht oder verringert, bis zum Lastabwurf.

Durch die Vernetzung aller fünf Standorte kann im Rahmen von INPUT der positive Einfluss auf das Energienetz durch den Einsatz einer Regelleistung von bis zu 1,7 MW (Megawatt) bewertet werden. Im Verbundprojekt StandNetzLast soll

¹ Anmerkungen: Im Rahmen des INPUT Förderprogramms sollte an vier MAHLE Standorten die chargeBIG Ladeinfrastruktur aufgebaut werden. Der fünfte Standort ist der bereits bestehende Demonstrator beim MAHLE Standort in Stuttgart Bad Cannstatt. Dieser Demonstrator wurde im Rahmen des Softprogramms *Saubere Luft 2017-2020* des BMWi aufgebaut.

aufgezeigt werden, dass durch eine standortübergreifende Vernetzung von Ladepunkten - quasi in Echtzeit (innerhalb von 1050 Millisekunden) - relevante Regelleistung für eine Netzstabilisierung zur Verfügung steht. Dabei kann die Regelung über die Grenzen von Versorgungsnetzbetreibern hinweg und ohne Zugang zum Energiehandel erfolgen.

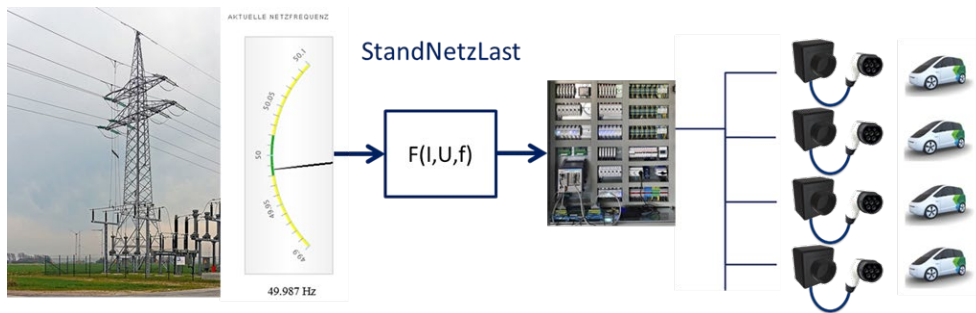


Abbildung 1: Nutzung der Elektrofahrzeuge als netzdienliche regelbare Last abhängig von Strom (Grenze durch Kabelquerschnitt / Absicherung), Spannung (Last auf dem Niederspannungsnetz) und Netzfrequenz (Last auf dem Verbundnetz)

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zum Zeitpunkt des Projektantrages wurden auf dem Markt hauptsächlich zwei Arten von Ladelösungen angeboten: Schnellladelösungen und einzelne Ladepunkte (ugs. *Wallboxen*). Schnellladelösungen werden insbesondere im öffentlichen Raum eingesetzt. Oftmals sind diese an Raststätten an der Autobahn zu finden. In diesem Anwendungsfall kann Laden mit Tanken gleichgesetzt werden. Wallboxen sind hauptsächlich als Einzellösungen zu sehen. Es fehlen jedoch Lösungen, die eine Vielzahl von E-Fahrzeugen parallel laden können, ohne den Netzanschluss zu erweitern und gleichzeitig netzdienlich sind.

Im Rahmen des *Softprogramms Saubere Luft 2017-2020* des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) entwickelte MAHLE mit seinen Verbundpartnern die neuartige, kosteneffiziente, hochskalierbare und netzdienliche Ladelösung *chargeBIG*. MAHLE setzt dabei auf eine Zentralisierung der Elektronikkomponenten im sog. *Schaltschrank*, fest angeschlagenen Kabeln an den Stellplätzen und einphasigen Ladeleistungen zwischen 2,3 und 7,2 kW.

Die *chargeBIG* Ladelösung eignet sich für Parkflächen, auf denen Fahrzeuge lange Zeit stehen. Das können beispielsweise Mitarbeiterparkplätze im Unternehmen, Stellplätze für Flotten oder (öffentliche) Parkhäuser (Messen, Flughäfen, Hotels etc.) sein, die mindestens 18 Ladepunkte benötigen.

Im Rahmen des *Softprogramms Saubere Luft 2017-2020* des BMWi wurde im MAHLE Mitarbeiterparkhaus in Stuttgart Bad Cannstatt ein Demonstrator mit 96 intelligenten einphasigen Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW, vier 22 kW Ladepunkten und einem DC Schnelllader mit 120 kW aufgebaut. Weiterhin wurde ein Batteriespeicher mit 66 kWh Energieinhalt und eine Photovoltaikanlage mit Ost/West 70 kW Peak angeschafft und in den Demonstrator integriert. Der Demonstrator wurde im Juli 2019 in Betrieb genommen und dient als Reallabor, um die *chargeBIG* Ladelösung kontinuierlich zu verbessern.

5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Im Rahmen des Förderprogramms *Electrify Buildings for Electric Vehicles* (ELBE) der Stadt Hamburg entstehen seit 2019 zahlreiche Ladepunkte im nicht-öffentlichen Raum der Stadt. Gefördert wird neben dem Aufbau der Ladeinfrastruktur auch der Betrieb bis August 2022 (vgl. *hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021a: S.1). „Das Programm unterstützt ausschließlich netzdienlich Ladepunkte, die über eine intelligente Schnittstelle die Steuerung der Entnahmeleistung durch den Verteilnetzbetreiber ermöglichen.“ (*hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021b: S.4). Durch eine standardisierte Schnittstelle, die auf dem *Open-ADR-2.0b-Protokoll* beruht, sollen Lastspitzen im Stromnetz verhindert werden. Dazu kann der Stromnetzbetreiber den Charge Point Operator (CPO) ein Signal senden, dass dieser temporär die Ladeleistung des Ladepunkts um bis zu 50 Prozent drosselt. So soll die Elektromobilität zu einem stabilen Stromverteilungsnetz der Stadt beitragen (vgl. *hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021c: o. S.).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Veröffentlichungen zu den Ergebnissen des Förderprogramms bekannt. Diese sind nach Projektende (August 2022) zu erwarten.

6 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Rahmen des INPUT Projekts sollte an vier weiteren MAHLE Standorten in Baden-Württemberg (Stuttgart Feuerbach, Stuttgart Münster, Lorch und Kornwestheim) chargeBIG Ladeinfrastruktur aufgebaut werden. Insgesamt sollten so 108 neue Ladepunkte entstehen. Zusammen mit dem durch das BMWi finanzierten Standort in Stuttgart Bad Cannstatt soll so eine Regelleistung von bis zu 1,7 MW entstehen.

Die Vorbereitungen zur Projektumsetzung in Stuttgart Feuerbach, Stuttgart Münster, Lorch und Kornwestheim wurden abrupt durch die im Frühjahr 2020 weltweit auftretende Coronapandemie gestoppt. Die Pandemie traf die Automobilindustrie sowie deren Zulieferindustrie zunächst hart. Viele OEMs (Original Equipment Manufacturer) mussten aufgrund gesunkener Nachfrage, Lieferengpässen sowie regionalen Lockdowns ihre Produktion reduzieren bzw. diese zeitweise einstellen. Davon war auch der Automobilzulieferer MAHLE massiv betroffen. Nur durch eine zweiwöchige Betriebsruhe, anschließende Kurzarbeit der Mitarbeiter und Investitionsstopps konnte die Liquidität des Unternehmens sichergestellt werden. Der MAHLE Konzern findet sich Stand Oktober 2021 immer noch in Kurzarbeit (vgl. *Buchenau, M.-W.* 2021: o. S).

Auch das MAHLE chargeBIG Team war von der zweiwöchigen Betriebsruhe im April 2020 sowie anschließender Kurzarbeit im Jahr 2020 betroffen. Des Weiteren konnten die geplanten Investitionen 2020 aufgrund massiver wirtschaftlicher Probleme nicht durchgeführt werden. Im August 2020 wurde deswegen beim Projektträger eine kostenneutrale Verlängerung des Förderprojekts beantragt. Das Projektende wurde vom Projektträger daraufhin vom 31.12.2020 auf den 31.07.2021 verlegt.

Aufgrund der weiterhin angespannten wirtschaftlichen Lage des MAHLE Konzerns konnten innerhalb des Förderzeitraums nur zwei weitere MAHLE Standorte mit chargeBIG Ladeinfrastruktur ausgerüstet werden: Lorch und Stuttgart Feuerbach (vgl. *Buchenau, M.-W.* 2021: o. S).

Lorch

Im MAHLE Werk in Lorch (Maierhofstraße 1-3, 73547 Lorch) wurde im zweiten Quartal 2021 ein chargeBIG Ladeschrank (s. Abbildung 2) mit 21 einphasigen Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW Ladeleistung und ein dreiphasiger Ladepunkt installiert. Da ein Teil der Ladepunkte nicht im abgeschlossenen Bereich des Werks liegt, können diese Ladepunkte auch von Nicht-MAHLE-Mitarbeitern genutzt werden. Die Abnahme des Eichamtes soll Mitte Oktober 2021 erfolgen. Bis dahin kann via Plug & Play kostenfrei geladen werden.



Abbildung 2: chargeBIG Ladeschrank im MAHLE Werk Lorch

Stuttgart Feuerbach

Im zweiten Quartal 2021 wurde auch am MAHLE Standort in Stuttgart Feuerbach (Mausersstraße 3, 70469 Stuttgart) die chargeBIG Ladeinfrastruktur installiert. Dort wurden ein chargeBIG Ladeschrank mit 27 einphasigen Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW Ladeleistung und zwei dreiphasige Ladepunkte installiert. Die Ladepunkte können von den Mitarbeitern des MAHLE Standortes genutzt werden. Abbildung 3 zeigt den Ladeschrank vor der Installation. Die Abnahme durchs Eichamt ist für Ende Oktober 2021 geplant. Solange kann die Ladeinfrastruktur via Plug & Play genutzt werden.



Abbildung 3: chargeBIG Ladeschrank am MAHLE Standort in Stuttgart Feuerbach

Die Entwicklung des standortübergreifenden Lastmanagements wurde, anders als im Rahmenplan beschrieben, vom MAHLE chargeBIG Team übernommen. Dieses wurde auf Basis des offenen Standard Open Automated Demand Response (openADR) im Rahmen des Input-Förderprogramms entwickelt und schon bei einem ersten Kundenprojekt in Hamburg umgesetzt. „OpenADR (Open Automated Demand Response) ist ein offenes und kompatibles Kommunikationsmodell. OpenADR ermöglicht dem Energieversorger und Netzbetreiber die Übertragung von Demand Response (DR)-Signalen untereinander sowie mit ihren Kunden über IP-basierte Kommunikationsnetzwerke wie beispielsweise das Internet. Heutzutage ist Demand Response unerlässlich für die Stabilisierung des Versorgungsnetzes und die Abwendung von drohenden Energiekrisen.“ (TÜV Rheinland (Hrsg.) 2021, o. S.)

7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

An der Projektumsetzung war neben der MAHLE Gruppe auch die eliso GmbH beteiligt. Anders als im Rahmenplan dargestellt, konnte das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM die Entwicklung des standortübergreifenden Lastmanagement nicht übernehmen.

MAHLE Gruppe

Die MAHLE Gruppe trat folgendermaßen im Projekt auf:

- MAHLE International GmbH – Parkflächenbetreiber, Betreiber der Ladeinfrastruktur und Antragsteller
- MAHLE GmbH – Unterauftragnehmer Hardware Ladeschränke
- MAHLE Filtersysteme GmbH – Unterauftragnehmer Hardware Ladepunkte

eliso GmbH

Die eliso GmbH übernahm wie geplant den Unterauftrag für die Installation. Die Kommunikation mit der eliso GmbH erfolgte in regelmäßigen (hauptsächlich virtuellen) Abstimmungsrunden. Die Projektstandorte wurden zusammen besichtigt und abgenommen.

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Das Fraunhofer ITWM hat die Entwicklung des lokalen Lastmanagements im Rahmen des vom BMWi geförderten Demonstrators in Stuttgart Bad Cannstatt übernommen. Die Entwicklung des standortübergreifenden Lastmanagement durch das ITWM war nicht möglich.

8 Erzielte Ergebnisse

Im Förderprogramm wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Nachweis, dass an fünf Standorten netzdienliche Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung verschiedenster lokaler Randbedingungen mit einer Vielzahl von Ladepunkten installiert werden kann.

Es wurde der Nachweis erbracht, dass an drei Standorten netzdienliche Ladeinfrastruktur unter Berücksichtigung verschiedener lokaler Randbedingungen mit einer Vielzahl von Ladepunkten installiert werden kann:

- Lorch: Ein chargeBIG Ladeschrank, 21 einphasige Ladepunkte mit einer Ladeleistung von bis zu 7,2 kW und ein dreiphasiger Ladepunkt (s. Abbildung 4)
- Stuttgart Feuerbach: Ein chargeBIG Ladeschrank, 27 einphasige Ladepunkte mit einer Ladeleistung von bis zu 7,2 kW und zwei dreiphasige Ladepunkte (s. Abbildung 5)
- Stuttgart Bad Cannstatt (bereits bestehender Standort): Drei chargeBIG Ladeschränke, 96 einphasige Ladepunkte mit einer Ladeleistung von bis zu 7,2 kW, vier dreiphasige Ladepunkte und ein DC Schnelllader (s. Abbildung 6)

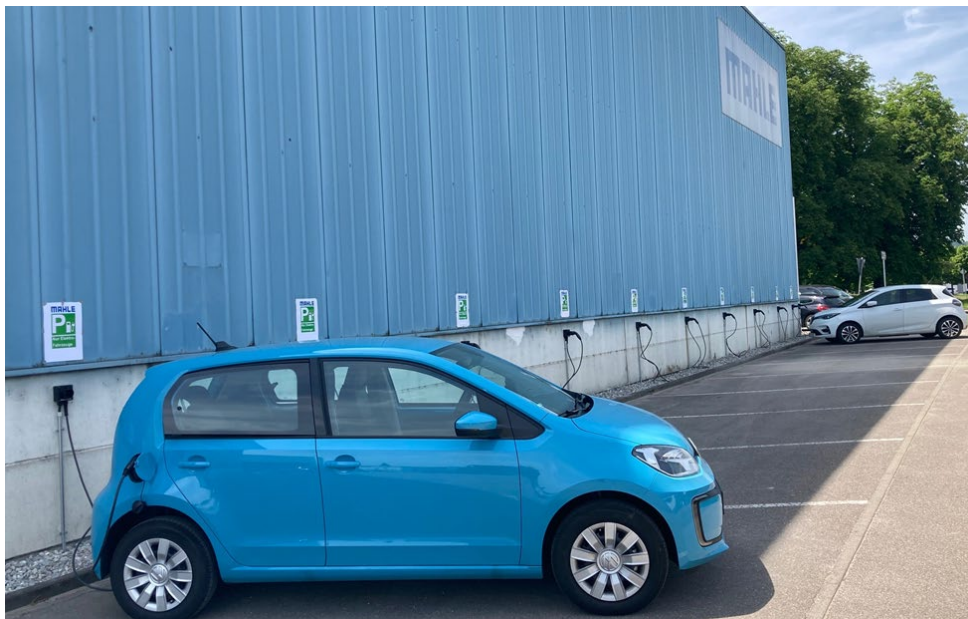


Abbildung 4: chargeBIG Ladepunkte im MAHLE Werk Lorch



Abbildung 5: chargeBIG Ladepunkte am MAHLE Standort in Stuttgart Feuerbach



Abbildung 6: chargeBIG Ladepunkte am MAHLE Standort Stuttgart Bad Cannstatt

Nachweis, dass durch intelligentes phasenindividuelles Lastmanagement eine Vielzahl an Elektrofahrzeugen ohne Erweiterung des Netzanschlusses geladen werden kann.

Um eine Netzanschlusserweiterung zu vermeiden, setzt chargeBIG auf eine „netzdienliche und intelligente Verteilung der Gesamtleistung durch ein dynamisches und phasenindividuelles Lastmanagement.“ (MAHLE GmbH (Hrsg.) 2021, o. S.) Idealerweise wird dann geladen, wenn Strom aus regenerativen Quellen zur Verfügung steht. Sollten Lastspitzen durch andere Verbraucher entstehen,

werden die E-Autos als regelbare Last genutzt und weniger Ladeleistung steht diesen zur Verfügung (vgl. MAHLE GmbH (Hrsg.) 2021, o. S.). Abbildung 7 zeigt das intelligente und phasenindividuell Lastmanagement beispielhaft.

Anwendungsbeispiel des Last- und Lademanagements mit anderen Verbrauchern im Verbund

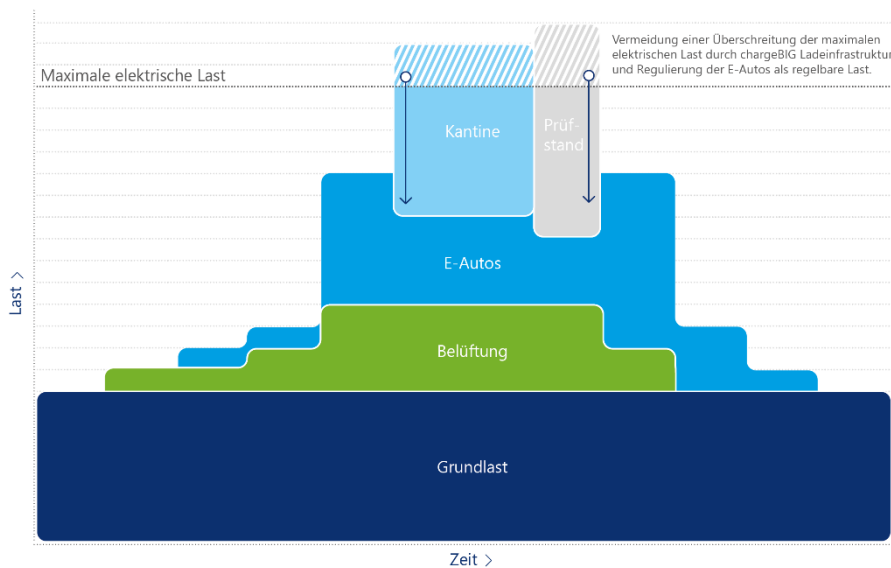


Abbildung 7: Intelligentes und phasenindividuelles chargeBIG Lastmanagement

Das chargeBIG Team macht sich hierbei den Umstand zugute, dass Fahrzeuge im Schnitt 23 Stunden am Tag nicht genutzt werden (vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.) 2020: o. S.). Geladen wird so schnell wie nötig und nicht so schnell wie möglich. Laden wird also in diesem Anwendungsfall nicht mit Tanken, sondern mit Parken gleichgesetzt. Im Rahmen des Förderprogramms INPUT wurde das Lastmanagement an den Standorten Lorch und Stuttgart Feuerbach appliziert, kalibriert und erprobt. Ganz nach dem Motto *Köpfchen statt Kupfer* kann somit der Nachweis erbracht werden, dass in Bestandsgebäuden mit ausgelastetem Trafo eine Vielzahl von Fahrzeugen parallel geladen werden können. Eine Netzanschlusserweiterung ist nicht notwendig ist. Abbildung 8 zeigt schematisch das chargeBIG System mit anderen Verbrauchern.

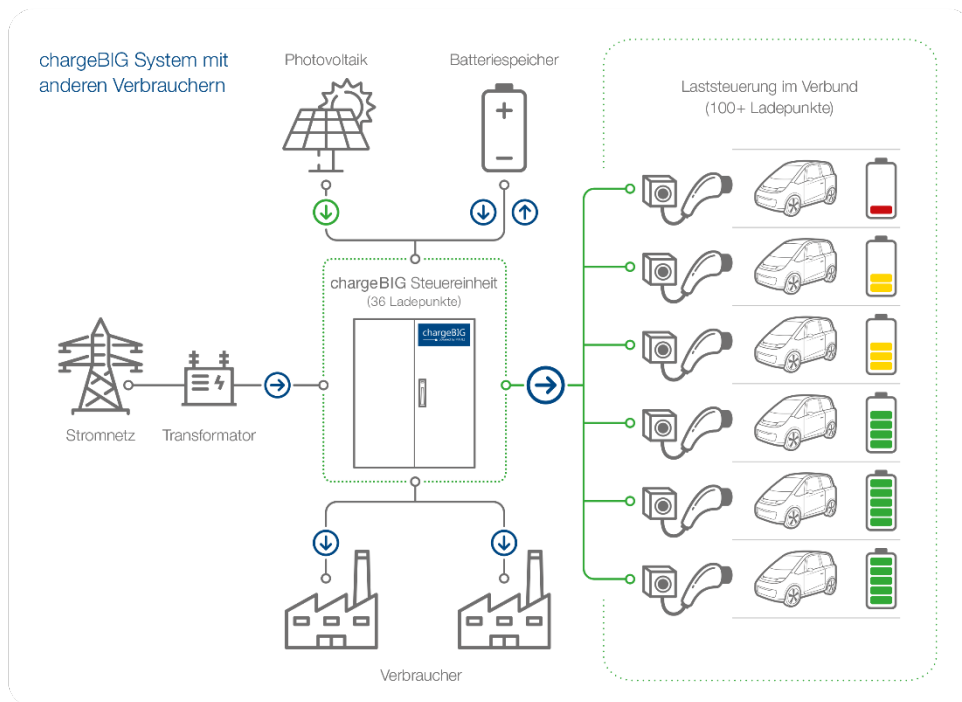


Abbildung 8: chargeBIG System mit anderen Verbrauchern

Nachweis, dass eine Regelung auf Anschlussleistung, Netzspannung und Netzfrequenz lokal der Netzstabilisierung dient.

Es wurde der Nachweis erbracht, dass eine Regelung auf Anschlussleistung lokal der Netzstabilisierung dient. Die Regelung auf Netzspannung und Netzfrequenz wurde implementiert. Allerdings war bisher keine Verifizierung möglich, da bislang keine entsprechende Lastsituation eingetreten ist. Sollte dies zukünftig der Fall sein, wird eine Regelung auf Netzspannung und Netzfrequenz erfolgen und anschließend die Auswirkung auf die lokale Netzstabilisierung untersucht werden.

Nachweis, dass eine Regelung und Vernetzung über fünf Standorte hinweg auf Anschlussleistung, Netzspannung und Netzfrequenz regional der Netzstabilisierung dient.

Es kann auf alle drei Standorte gleichzeitig zugegriffen werden und somit auch die Last an den drei Standorten zeitgleich verringert werden. Im Rahmen der 144 einphasigen Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW Regelleistung kann so eine Gesamtregelleistung von 1,037 MW zustande kommen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beträgt der Gleichzeitigkeitsfaktor bei der Nutzung der Ladepunkte allerdings höchstens 0,25. Die Gesamtregelleistung liegt also gegenwärtig real bei max. 260 kW. Diese Last ist zu gering, um einen Einfluss auf die regionale Netzstabilität zu nehmen.

Im Rahmen des Hochlaufs der Elektromobilität kann aber auch ein Anstieg des Gleichzeitigkeitsfaktors erwartet werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft eine ausreichend große Regelleistung entsteht, um über die Standorte hinweg auf Anschlussleistung, Netzspannung und Netzfrequenz regional

der Netzstabilisierung zu dienen. Die durch das INPUT Förderprogramm aufgebauten Standorte werden folglich auch zukünftig als Reallabor dienen.

Weiterhin wurden folgende Einzelergebnisse der Projektteilnehmer erzielt:

Nachweis der lokal netzdienlichen Regelung auf Basis des Niederspannungsnetzes; hier möchte der Projektpartner MAHLE aufzeigen, dass hochskalierbare Ladeinfrastruktur mit der bestehenden Niederspannungsnetzinfrastruktur möglich ist.

Im Rahmen des Förderprojekts INPUT konnte nachgewiesen werden, dass hochskalierbare Ladeinfrastruktur in der bestehenden Niederspannungsnetzinfrastruktur möglich ist. Die chargeBIG Ladeinfrastruktur ist bisher an drei MAHLE internen Standorten sowie weiteren externen Standorten (Kundenprojekte) in Betrieb genommen worden. Alle Projekte waren mit der bestehenden Niederspannungsnetzinfrastruktur und ohne Netzanschlussveränderung umsetzbar.

Nachweis der regional netzdienlichen Regelung auf Basis der Netzfrequenz; hier möchte der Projektpartner Fraunhofer ITWM aufzeigen, dass schon heutige Elektrofahrzeuge als regelbare Last einen wertvollen Beitrag zur Stabilisierung der Energienetze beitragen können.

Im Rahmen des INPUT Förderprogramms wurde der offene Standard openADR umgesetzt. Elektrofahrzeuge können heutzutage schon als regelbare Last verwendet werden. Abbildung 9 zeigt an einem Beispiel wie die Lasten gezielt über OpenADR gesteuert werden können. Um 09:52:35 Uhr ist ein Fahrzeug am Ladepunkt 4 angeschlossen. Das Fahrzeug ist zu diesem Zeitpunkt das einzige angeschlossene Fahrzeug. Um 09:52:43 Uhr fängt das Fahrzeug an zu laden. Der Ladestrom beträgt zu diesem Zeitpunkt 20 A (Ampere). Die Grenze des Phasenstroms beträgt 32 A. Um 09:53:00 Uhr bekommt das Lastmanagement eine openADR Nachricht vom Backend, welche 11.100 W (Watt) als Vorgabe der gesamten Leistung des Schrankes definiert. Somit ist 16,09 A der externe Override für den Phasenstrom. Infolgedessen reduziert das Lastmanagement den Ladestrom schrittweise auf 16,09 A. Um 09:53:12 Uhr wird an Ladepunkt 4 der Ladestrom von 20 A auf 16,09 A durch das Lastmanagement reduziert. Tabelle 1 fasst die Schritte übersichtlich zusammen.

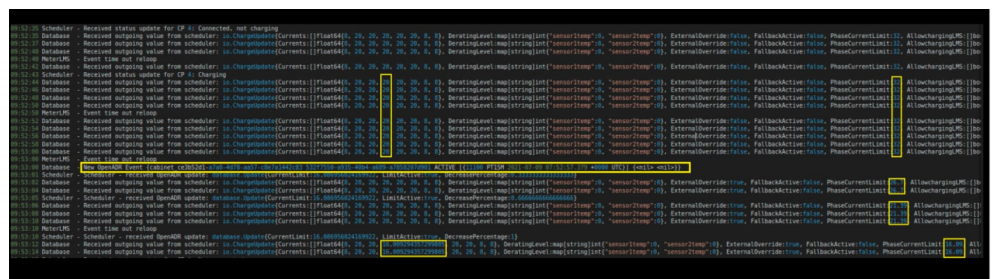


Abbildung 9: Lasten gezielt steuern über OpenADR, chargeBIG

Tabelle 1: Reduktion des Ladestroms, chargeBIG

Zeitpunkt	PhaseCurrentLimit in Ampere	ExternalOverride in Ampere	Ladepunkt und Status	Verfügbare Ladestrom in Ampere
09:52:35	32	False	LP4 eingesteckt	20
09:52:43	32	False	LP4 lädt	20
09:53:00	32	True, 16,09	LP4 lädt	20
09:53:01	26,7	True, 16,09	LP4 lädt	20
09:53:05	21,39	True, 16,09	LP4 lädt	20
09:53:10	16,09	True, 16,09	LP4 lädt	16,09

Der Unterauftragnehmer eliso möchte aufzeigen, dass zentralisierte Ladeinfrastruktur eine deutliche Reduktion der Installations- und Wartungskosten ermöglicht und damit einen wertvollen Beitrag zur Elektrifizierung der individuellen Mobilität in Baden-Württemberg darstellt.

Die chargeBIG Ladeinfrastruktur kann deutliche Kostenvorteile im Bereich der Installation und Wartung verzeichnen. Dies ist auf die zentrale Anordnung der Elektronikkomponenten zurückzuführen. Insbesondere im Bereich der Wartung können so Kostenvorteile von bis zu 50 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen erzielt werden. Anstatt wie bei herkömmlichen Lösungen die Wartung an jedem Ladepunkt durchzuführen, wird die Wartung zentral am Schaltschrank durchgeführt. An den Ladepunkten ist eine reine Sichtkontrolle ausreichend.

9 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers

Das Projekt *Standortübergreifendes netzdienliches Lastmanagement mit kostengünstiger und hochskalierbarer chargeBIG Ladeinfrastruktur - StandNetzLast* trägt einen nennenswerten Beitrag zu den Zielen des Förderprogramms INPUT bei. chargeBIG ist eine neuartige, kosteneffiziente, hochskalierbare und gleichzeitig netzdienliche Ladeinfrastruktur für Parkhäuser und Tiefgaragen. Im Rahmen des Förderprogramms INPUT konnte diese weiterentwickelt und unter unterschiedlichsten Randbedingungen erprobt werden. Insbesondere im Bereich des intelligenten Lastmanagement konnten hier große Fortschritte erzielt werden. chargeBIG ist somit eine alltagstaugliche Ladeinfrastruktur, die durch ein intelligentes und phasenindividuelles Lastmanagement ermöglicht eine Vielzahl an Fahrzeugen parallel zu laden ohne dass eine Netzanschlusserweiterung nötig ist.

Weiterhin unterstützt chargeBIG die Transformation hin zur klimafreundlichen Mobilität. Mitarbeiter an den MAHLE Standorten Lorch und Stuttgart Feuerbach werden motiviert auf ein E-Fahrzeug umzusteigen. Im Rahmen der Industrialisierung wurde chargeBIG Ladeinfrastruktur bisher an weiteren Kundenstandorten außerhalb der MAHLE Gruppe aufgebaut. Auch hier werden die Mitarbeiter sowie die Flottenverantwortlichen angeregt auf Elektromobilität umzusteigen. Allein am Standorte Lorch wurden im August und September diesen Jahres 2.129 kWh geladen. Dies entspricht ein Stickoxid (NO_x) Emissionsminderung von 11,83 Kilogramm.²

² Mittelbar über Ladeinfrastruktur und vermiedene Dieselkilometer (Euro 4 / Euro 5)

10 Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen; Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens fließen im Rahmen der Industrialisierung von chargeBIG in Kundenprojekte ein. Hervorzuheben sind insbesondere folgende Projekte, die im Jahr 2021 umgesetzt wurden:

CRONIMET Holding GmbH in Karlsruhe

Das Mitarbeiterparkhaus wurde mit 36 einphasigen chargeBIG Ladepunkten mit bis zu 7,2kW ausgestattet. Die Ladepunkte können von Mitarbeitern und Dienstwagenberechtigten vorerst kostenfrei genutzt werden. Um zu einem späteren Zeitpunkt eichrechtskonform abrechnen zu können, wurde diese bereits vorgerüstet. Die Zuleitung zum Ladeschrank wurde so gewählt, dass in Zukunft ein zweiter Ladeschrank in Betrieb genommen werden kann, ohne dass erneut Kosten für die Zuleitung auftreten. Weiterhin werden durch einen separaten Messzähler auch andere Lasten erfasst und ins intelligente Lastmanagement integriert. Die Inbetriebnahme bei CRONIMET erfolgt im März 2021. Abbildung 10 zeigt die aufgebauten chargeBIG Ladepunkte bei CRONIMET.

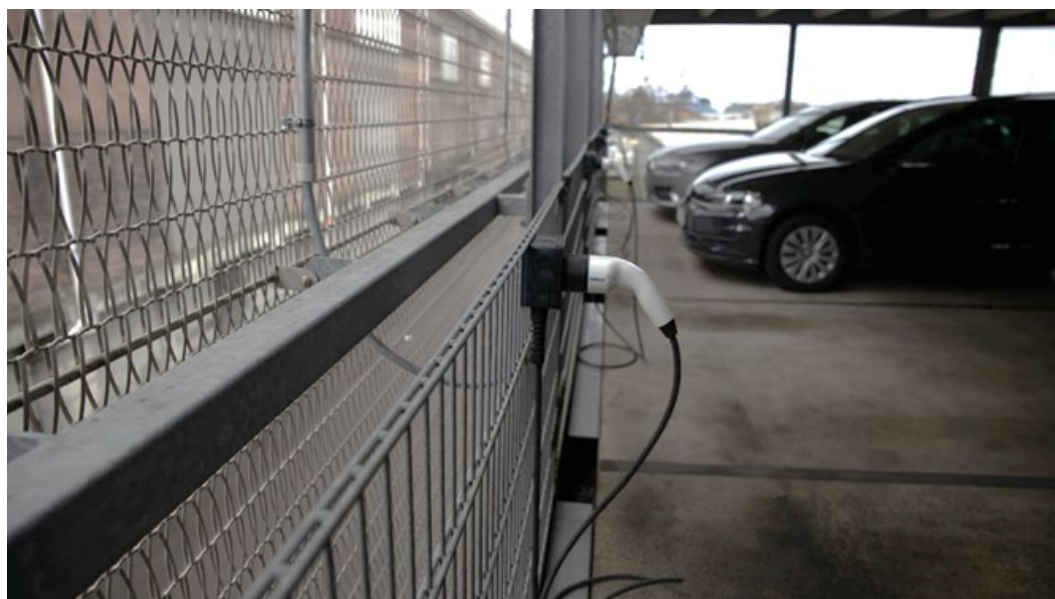


Abbildung 10: chargeBIG Ladepunkte bei der CRONIMET Holding GmbH

Marquard & Bahls AG in Hamburg

Im Parkhaus der Marquard & Bahls AG in Hamburg wurden zwei Parkebenen mit 30 einphasigen Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW und zwei dreiphasige mit 22 kW Ladeleistung ausgerüstet (s. Abbildung 11). Somit wurde knapp ein Viertel der Mitarbeiterparkplätze elektrifiziert. Die Unterverteilung wurde so angelegt, dass zukünftig 32 weitere Ladepunkte installiert werden können, ohne dass erneut Kosten für die Unterverteilung anfallen. Beim Projekt wurde der im Rahmen des Förderprogramm INPUT entwickelte offene Standard openADR implementiert. Somit

kann der Netzbetreiber im Notfall auf die chargeBIG Ladeinfrastruktur zugreifen und die Last auf das Verteilnetz reduzieren. Die chargeBIG Ladeinfrastruktur trägt somit zur Netzstabilität bei. Die Ladeinfrastruktur wurde im zweiten Quartal 2021 in Betrieb genommen.



Abbildung 11: chargeBIG Ladepunkte bei der Marquard & Bahls AG

Trelleborg Sealing Solutions GmbH in Stuttgart

Im Parkhaus der Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH wurden sechs Parkebenen mit 108 einphasigen AC Ladepunkten mit bis zu 7,2 kW ausgestattet. Dazu wurden drei Ladeschränke aufgebaut und miteinander vernetzt. Die Ladepunkte können von den Mitarbeitern durch Zugangscodes und die chargeBIG App freigeschaltet werden. Zukünftig ist die eichrechtskonforme Abrechnung sowie ad-hoc Laden geplant. Die Ladepunkte wurden im August 2021 in Betrieb genommen. Die Ladeinfrastruktur wird mit 100 Prozent Grünstrom betrieben. Abbildung 12 zeigt den installierten chargeBIG Ladeschrank.



Abbildung 12: chargeBIG Ladeschrank bei der Trelleborg Sealing Solutions GmbH

chargeBIG POWER

Bei chargeBIGPOWER handelt es sich um eine Erweiterung des Produktportfolios vom MAHLE chargeBIG Team. Die Schnellladelösung bietet Ladeleistungen bis zu 750 kW, während die Netzanschlusskapazität bei nur 2,4 MW für 20 Ladepunkte liegt. Auch hier kommt das intelligente chargeBIG Lastmanagement zum Einsatz. Das Projekt befindet sich gegenwärtig noch in der Entwicklung. Ein erster Demonstrator soll im Sommer 2022 aufgebaut werden. Abbildung 13 stellt den Aufbau von chargeBIG POWER exemplarisch dar.



Abbildung 13: chargeBIG POWER

11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Erfolgte Veröffentlichungen

- Netzdienliches Lastmanagement mit kostengünstiger und hochskalierbarer chargeBIG-Ladeinfrastruktur, Sebastian Ewert, 2019, Vortrag auf 2. Internationalen ATZ-Kongress, Electrified Mobility 2019 – Kundenorientierung, weniger Kosten, mehr Profitabilität
- chargeBIG – Charge as Fast as Necessary, Not as Fast as Possible, Sebastian Ewert, 2020, Vortrag auf ATZ-Kongress, Der Antrieb von morgen 2020 – Den weltweiten Antriebsmix finden

Geplante Veröffentlichungen

- Vortrag auf 16. Internationalen MTZ-Kongress Zukunftsantriebe, Antriebe und Energiesysteme von morgen 2022 – Zukunft technologieoffen gestalten

12 Literaturverzeichnis

- Buchenau, M.-W.* 2021: Umsatzeinbruch bei Mahle – Corona trifft den Autozulieferer hart, unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/krise-in-der-transformation-umsatzeinbruch-bei-mahle-corona-trifft-den-autozulieferer-hart/26876036.html?ticket=ST-9640597-gzBuCBEa6x5IVmvQlhqk-ap2>, Stand: Februar 2021, Abrufdatum: 07.10.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit* (Hrsg.) 2020a: Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie, unter: <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050>, Stand: Oktober 2020, Abrufdatum: 04.10.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit* (Hrsg.) 2020b: Reicht der Strom aus Erneuerbaren Energien für die E-Mobilität?, unter: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/strombedarf-und-netze>, Stand: Juli 2020, Abrufdatum: 04.10.2021.
- Bundesnetzagentur* (Hrsg.) 2021: Elektromobilität / Öffentliche Ladeinfrastruktur, unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/start.html, Stand: September 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- Delhaes, D.* (Hrsg.) 202: Das Ende des Verbrenners: Regierungskommission plant ab 2030 mit 14 Millionen E-Autos, unter: <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/verkehrswende-das-ende-des-verbrenners-regierungskommission-plant-ab-2030-mit-14-millionen-e-autos/27311232.html?ticket=ST-8708158-Ovi2F5AaoFVDjiOnGwCO-ap3>, Stand: Juni 2021, Abrufdatum: 06.10.2021.
- hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021a: Ladeinfrastrukturförderung für Hamburgs Privatwirtschaft, Hamburg 2021, unter: https://elbe-hh.de/fileadmin/user_upload/Infothek/Downloads/ELBE_Flyer_DINA4.pdf, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021a: Ladeinfrastrukturförderung für Hamburgs Privatwirtschaft, Hamburg 2021, unter: https://elbe-hh.de/fileadmin/user_upload/Infothek/Downloads/ELBE_Flyer_DINA4.pdf, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021b: ELBE, Förderung von Ladeinfrastruktur für Hamburger Unternehmer, Hamburg 2021, unter: https://elbe-hh.de/fileadmin/user_upload/Infothek/Downloads/ELBE_Praesentation_Basis.pdf, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- hySOLUTIONS* (Hrsg.) 2021c: ELBE, Innovation, Hamburg 2021, unter: <https://elbe-hh.de/elbe/innovation>, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- Kraftfahrt-Bundesamt* (Hrsg.) 2021a: Fahrzeugzulassungen (FZ) – Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Marken, unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2020/fz14_2020_pdf?__blob=publicationFile&v=3, Stand: Mai 2021, Abrufdatum: 06.10.2021.

- Kraftfahrt-Bundesamt* (Hrsg.) 2021b: Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Marken, unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2021/fz13_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Stand: Januar 2021, Abrufdatum: 06.10.2021.
- MAHLE GmbH* (Hrsg.) 2021: Die Ladelösung, unter: <https://chargebig.com/die-ladeloesung/>, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung* (Hrsg.) 2021a: Klimaschutzgesetz 2021, unter: <https://www.bundesregierung.de/bregde/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung* (Hrsg.) 2021b: Klimaschonender Verkehr, unter: <https://www.bundesregierung.de/bregde/themen/klimaschutz/klimaschonender-verkehr-1794672>, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 05.10.2021.
- TÜV Rheinland* (Hrsg.) 2021: Open Automated Demand Response-Technologie für den Smart Grid, unter: <https://www.tuv.com/germany/de/openadr.html>, Stand: Oktober 2021, Abrufdatum: 08.10.2021.
- Umweltbundesamt* (Hrsg.) 2020: Car-Sharing, unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltigemobilitaet/car-sharing#angebotsformen-des-car-sharing>, Stand: März 2020, Abrufdatum: 05.10.2021.
- Vahlenkamp, T./* Ritzenhofen, I./ Pflugmann, F./ Stockhausen, F. 2020: Energiewende 2030: Neue Ziele, neue Herausforderungen, unter: <https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/energiewende-2030-neue-ziele-neue-herausforderungen/>, Stand: März 2020, Abrufdatum: 05.10.2021.