

Forschungsbericht BWPLUS

BLADE-KA: Buchungsbasiertes Lademanagement in Karlsruhe

von

Andreas Fischer, Stefan Basaric

FZI Forschungszentrum Informatik (FZI)
Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswirtschaft und Technologiemanagement (IAT)

Förderkennzeichen: BWINP21112, BWINP21113

Laufzeit: 15.11.2020 – 30.06.2022

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

September 2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse	3
2.	Motivation und Hintergründe des Vorhabens.....	3
3.	Aufgabenstellung	4
4.	Stand der Wissenschaft und Technik	5
5.	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
6.	Erzielte Ergebnisse	12
7.	Verwertungsplan	12
8.	Veröffentlichungen	14

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Im Rahmen des vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg über den Förderaufruf „Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen (INPUT)“ geförderten Projekts „BLADE-KA: Buchungsbasiertes Lademanagement in Karlsruhe zur Einhaltung der maximalen Netzanschlussleistung“ wurden in der Karlsruher Oststadt acht Ladepunkte für Elektrofahrzeuge an zwei benachbarten Standorten installiert. An beiden Standorten reicht die zur Verfügung stehende Netzanschlussleistung nicht für eine gleichzeitig maximale Ladung an allen Ladepunkten. Daher wird durch die im Rahmen des Projekts entwickelte Steuerung die zur Verfügung stehende Anschlussleistungen auf Basis von Buchungsinformationen dynamisch so verteilt, dass die Fahrzeuge abhängig von ihrem tatsächlichen Mobilitätsbedarf priorisiert geladen werden. Damit wird garantiert, dass die vorhandene Anschlussleistung nicht überschritten wird und trotzdem maximaler Komfort bzgl. der erreichten Lademenge erzielt wird. Teure Netzausbaukosten und damit für den Betreiber direkt verbundene Netzanschlusskosten werden somit effektiv vermieden.

Vier Ladepunkte wurden am Mehrgenerationenhaus auf dem Hoepfner-Areal installiert. Diese dienen dem Carsharing-Anbieter Stadtmobil, der dort öffentlichkeitswirksam neue Elektrofahrzeuge zur Verfügung stellt und vor Ort lädt. Vier Ladepunkte stehen am FZI House of Living Labs (HoLL), dem Demonstrations-, Kollaborations- und Veranstaltungsgebäude des FZI Forschungszentrum Informatik, mit Besuchern, Kunden und Mitarbeitern einem breiten Nutzerkreis zur Verfügung. Im Rahmen des Projekts wurde somit die intelligente Verwendung von Reservierungsinformationen für ein Lademanagement mit Fokus auf zwei Aspekte demonstriert:

1. Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines Flottenmanagementsystems mit bekannten Carsharing-Fahrzeugen von Stadtmobil
2. Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines vorhandenen Energiemanagementsystems mit anonymen Besucher- und Mitarbeiter-Fahrzeugen am FZI HoLL

2. Motivation und Hintergründe des Vorhabens

Das Projekt hatte den Ausbau von acht Ladepunkten an zwei benachbarten Standorten in der Karlsruher Oststadt im Fokus. An beiden Standorten reicht die zur Verfügung stehende Netzanschlussleistung nicht für eine gleichzeitig maximale Ladung an allen Ladepunkten. Daher soll im Rahmen des Projekts die zur Verfügung stehenden Anschlussleistungen auf Basis von Buchungsinformationen über eine umzusetzende Steuerung dynamisch so verteilt werden, dass die Fahrzeuge abhängig von ihrem tatsächlichen Mobilitätsbedarf priorisiert geladen werden. Damit soll garantiert werden, dass die vorhandene Anschlussleistung nicht überschritten wird und trotzdem maximaler Komfort bzgl. der erreichten Lademenge erzielt wird. Teure Netzausbaukosten und damit für den Betreiber direkt verbundene Netzanschlusskosten werden somit effektiv vermieden.

Vier Ladepunkte entstanden am Mehrgenerationenhaus bei der Hoepfner-Burg. Diese dienen dem Carsharing-Anbieter Stadtmobil, der dort öffentlichkeitswirksam neue Elektrofahrzeuge zur Verfügung stellt und vor Ort lädt. Vier weitere Ladepunkte entstanden am FZI House of Living Labs (HoLL), dem Demonstrations-, Kollaborations- und Veranstaltungsgebäude des FZI

Forschungszentrum Informatik. Diese werden mit Besuchern, Kunden und Mitarbeitern einem breiten Nutzerkreis zur Verfügung gestellt.

Auf dem Hoepfner-Areal stehen den vier Ladepunkten in Summe je Phase 80 A zur Verfügung, was einer Leistung von 55 kW ($80 \text{ A} \cdot 3 \text{ Phasen} \cdot 230 \text{ V}$) entspricht. Unter Annahme einer maximalen Ladeleistung von 22 kW pro Ladepunkt ergibt sich im Extremfall einer gleichzeitigen Ladung mit maximaler Leistung ein Bedarf von 88 kW am Netzanschlusspunkt, was einer Überschreitung des technischen Maximums um mehr als 30 kW bzw. mehr als 50 % entspricht. Ziel des Betreibers ist es, die technisch benötigte Netzanschlussleistung und damit die leistungsbezogenen Bestandteile des Netzentgelts so gering wie möglich zu halten. Dazu soll auf Basis des Buchungssystems von Stadtmobil eine Schnittstelle zum vorhandenen Lademanagementsystem „Ubstack“ der Universität Stuttgart umgesetzt und produktiv eingesetzt werden. Genutzt werden die Ladepunkte ausschließlich von Stadtmobil. Da die Fahrzeuge immer an derselben Station zurückgegeben werden müssen, sind für die Optimierung statische Fahrzeug- und Batteriedaten vorhanden, sowie die Informationen, wann ein Fahrzeug wieder gebucht ist und einen bestimmten minimalen Batterieladestand erreicht haben soll. Fahrzeugabhängig kann darüber hinaus teilweise über eine Telematik-Anbindung auf dynamische Daten wie den aktuellen Ladestand (State of Charge) der Batterie zugegriffen werden. Je nach Verfügbarkeit dieser zusätzlichen Information kann sie für eine Priorisierung der Ladevorgänge genutzt werden.

Am FZI HoLL ist bereits ein prototypisches Energiemanagementsystem (EMS) vorhanden, das die Sektoren Strom und Wärme koppelt und beispielsweise die Energiebereitstellung durch die lokale PV-Anlage und das lokale Blockheizkraftwerk (BHKW) mit der Energienachfrage durch z. B. die Raumklimatisierung unter Berücksichtigung zeitlicher Flexibilität aufeinander abstimmt. Die maximal verfügbare Leistung am Netzanschlusspunkt des FZI HoLL beträgt 82 kW (3 Phasen à 120 A). Sie ist damit geringer als die Summe aus der bisherigen typischen Last des Gebäudes von 40-50 kW und der maximalen Leistung der vier Ladestationen von je 22 kW. Selbst wenn die Fahrzeuge jeweils nur mit 11 kW laden, kann die maximale Anschlussleistung schnell erreicht werden, insbesondere im Sommer bei gleichzeitiger Klimatisierung. Abhängig von der lokalen Erzeugung und dem lokalen Verbrauch könnte jedoch auch sehr oft mit maximaler Leistung geladen werden. Um die von den Fahrzeugen geladene Energie zu maximieren ohne die verfügbare Netzanschlussleistung zu überschreiten, galt es die Ladestationen daher mit dem vorhandenen EMS zu koppeln. Durch Berücksichtigung durchzuführender Ladevorgänge im Rahmen der vorhandenen Einsatzplanung, kann somit beispielsweise das lokale BHKW durch bedarfsgerechte Erzeugung dazu beitragen, den Netzbezug zu minimieren. Die rund 250 FZI-Mitarbeiter sollen einzelne Ladepunkte für Gäste, Kunden oder sich selbst reservieren können. Kundenzielgruppe des FZI sind v. a. kleine und mittlere innovationsorientierte Unternehmen aus Baden-Württemberg. Für diese, aber auch für die Öffentlichkeit, dient das FZI HoLL regelmäßig als Veranstaltungsort, im Rahmen dessen es bereits seit Projektbeginn immer wieder Anfragen gab, inwiefern vor Ort die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur garantiert werden kann. Aufgrund der heterogenen Zielgruppe sind in diesem Szenario grundsätzlich keine weiteren Details über die Fahrzeuge vorhanden.

3. Aufgabenstellung

Ziel des Projekts ist die Umsetzung und Demonstration eines Lademanagements, das Ladevorgänge unter Berücksichtigung von Fahrzeugreservierungen priorisiert. Fokus des Projekts liegt zum einen auf dem Anwendungsfall des öffentlichen Carsharings (Stadtmobil bei

Hoepfner) und zum anderen auf dem heterogen von Gästen, Kunden und Mitarbeitern genutzten Firmenparkplatzes (am FZI).

Stadtmobil baut ihr Angebot an Elektrofahrzeugen im Fuhrpark kontinuierlich aus und stellt am gegebenen Standort neu angeschaffte Elektrofahrzeuge zur Verfügung. Mit vier Ladepunkten wird an diesem Standort eine für Stadtmobil-Standorte außergewöhnlich hohe Anzahl an Elektrofahrzeugen zur Verfügung stehen. Damit hat das Projekt Leuchtturm-Charakter für elektromobiles Carsharing. Über die Schnittstelle zwischen dem Buchungssystem von Stadtmobil und der Lademanagementplattform „Ubstack“ soll die benötigte Anschlussleistung so gering wie möglich gehalten werden.

Am FZI soll das Retrofitting eines vorhandenen Energiemanagementsystems umgesetzt und demonstriert werden. Das vorhandene EMS soll um Möglichkeiten zum Reservieren der Ladepunkte erweitert werden, wodurch Informationen zur Verbesserung der Ladeoptimierung zur Verfügung gestellt werden. Unter Berücksichtigung weiterer Energieflüsse im Gebäude kann die Ladeleistung somit bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt bzw. gedrosselt werden.

4. Stand der Wissenschaft und Technik

Die in diesem Projektvorhaben geplante ganzheitliche Betrachtung des optimierten Ladens von (Carsharing-)Elektrofahrzeugen in Kombination mit Flotten- bzw. Energiemanagement ist zwar Gegenstand aktueller Forschung, derzeit allerdings kaum operativ umgesetzt. Insbesondere in Bereichen, in denen Buchungssysteme und Energiemanagementsysteme gekoppelt werden, finden sich zum jetzigen Zeitpunkt kaum Praxisbeispiele.

Viele Forschungsarbeiten in Richtung Elektrofahrzeuge im Carsharing konzentrieren sich auf die Planung der Infrastruktur, insbesondere der Wahl der Standorte.¹ Für Ladeoptimierungen im Carsharing-Kontext finden sich in der Literatur beispielsweise Ansätze, in denen Algorithmen zum optimierten Laden von Carsharing-Flotten mit variablen Strompreisen beschrieben werden.² Solche Ansätze spiegeln jedoch nicht die Bedürfnisse heutiger energiewirtschaftlicher Gegebenheiten in Deutschland wider. In der heutigen Praxis überwiegt das Problem der begrenzten Anschlussleistung. Ansätze zur Reduktion der aggregierten Leistung durch eine intelligente Priorisierung von Ladevorgängen und damit verbundene Potentiale wurden von den Projektpartnern im Rahmen vorangegangener Auftragsforschung bereits praxisnah untersucht und quantifiziert.³ Im Rahmen einer existierenden Fahrzeugflotte mit 10 Ladestationen wurde beispielhaft aufgezeigt, dass die benötigte Anschlussleistung ohne Reduktion der Mobilität um 44% reduziert werden konnte.

Thematisch nahe an das Ziel des Projektvorhabens kommen Produkte der Firma The Mobility House GmbH. Deren Produkte adressieren ebenfalls das optimierte Laden von Elektrofahrzeugflotten oder einzelner Fahrzeuge an öffentlichen Einrichtungen, jedoch in aller Regel nicht in Kombination mit Reservierungsinformationen. Insbesondere im Zusammenspiel mit einer Carsharing-Buchungsplattform oder im Zusammenspiel mit einem vorhandenen Energiemanagementsystem sind keine fertigen Produkte bekannt. Weitere Unternehmen, wie

¹ vgl. Brandstätter, Leitner, Ljubic: [Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand](#), 2017.

² vgl. Bond, Baldrini, Bruno: [Optimal Charging of Electric Vehicle Fleets for a CarSharing System with Power Sharing](#), 2016.

³ vgl. Rominger, Lösch, Schmeck: [Utilization of electric vehicle charging flexibility to lower peak load by controlled charging \(G2V and V2G\)](#), 2019.

Alfen und KEBA, bieten Ladestationen mit integrierter Leistungsbegrenzung an. Diese Art der Drosselung ist jedoch statisch und limitiert zugleich alle Fahrzeuge – entweder alle zugleich oder unter Vergabe fixer Prioritäten pro Ladepunkt. Im Gegensatz hierzu kann die im Rahmen dieses Projekts angestrebte Berücksichtigung von Reservierungsinformationen zu einer signifikanten Komfortsteigerung bzgl. der erreichten Lademenge genutzt werden, da die Berücksichtigung bekannter mobilitätsseitigen wie auch energiesystemseitigen Randbedingungen erlaubt, dass nicht mehr alle Fahrzeuge zugleich statisch gedrosselt werden müssen.

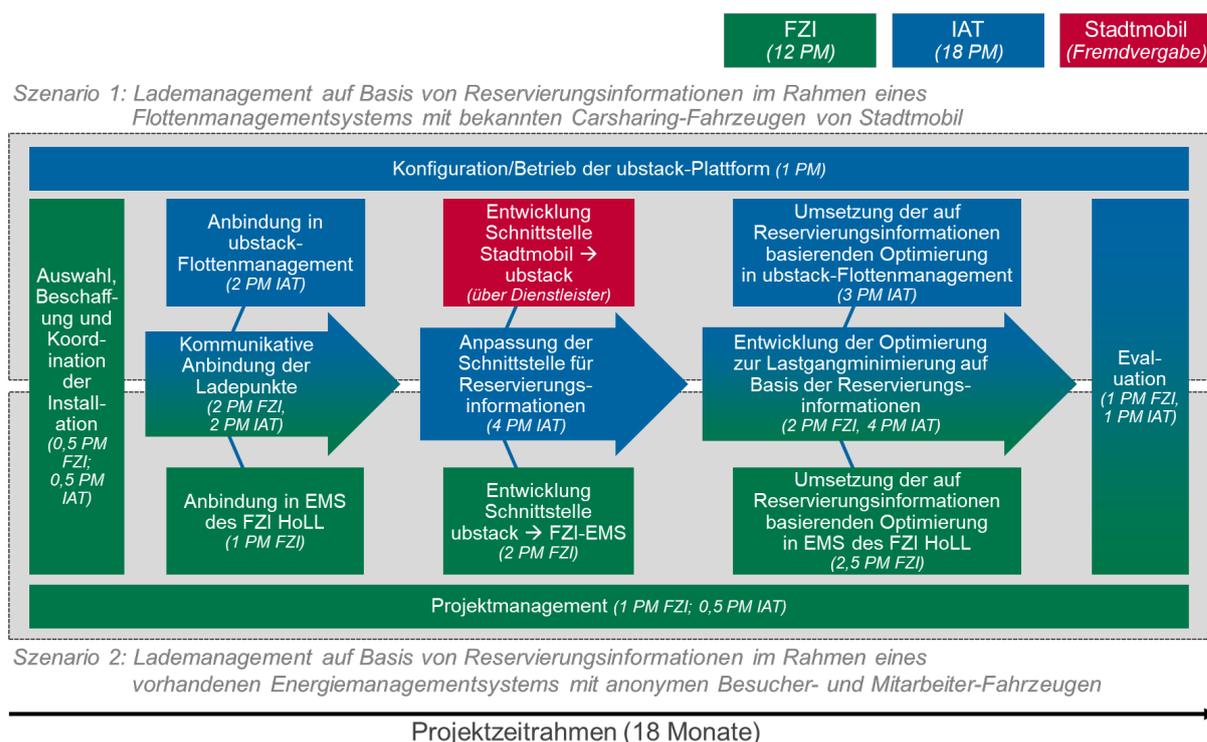
Darüber hinaus bieten Unternehmen wie „beegy“ und „Sonnen“ Lademanagementsysteme für den optimierten Eigenverbrauch von Solarstrom an. Durch diese Optimierung kann, wie im Projektvorhaben, der Netzbezug reduziert werden. Jedoch liegt bei „beegy“ und „Sonnen“ der Fokus auf dem Heimbereich mit nur einem Fahrzeug.

Während der Durchführung des Vorhabens wurde den Zuwendungsempfängern keine das Projekt betreffenden Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen bekannt.

5. Planung und Ablauf des Vorhabens

Arbeitsplan

Abbildung 1 visualisiert die von den Projektpartnern durchzuführenden Arbeitspakete im zeitlichen Verlauf über 18 Monate. Dabei wird grundsätzlich zwischen den zwei zusammenhängenden Szenarien „Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines Flottenmanagementsystems mit bekannten Carsharing-Fahrzeugen von Stadtmobil“ (obere Hälfte der Grafik) und „Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines vorhandenen Energiemanagementsystems mit anonymen Besucher- und Mitarbeiter-Fahrzeugen“ (untere Hälfte der Grafik) differenziert.



Ablauf

In **Szenario 1** (Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines Flottenmanagementsystems mit bekannten Carsharing-Fahrzeugen von Stadtmobil) ergab sich folgender Ablauf:

Entgegen der ursprünglichen Planung wurde als Standort der Ladestationen nicht die Hoepfner-Burg, sondern der Bereich vor dem Mehrgenerationenhaus auf dem Hoepfner-Areal gewählt. Für den elektrischen Anschluss der Ladestationen musste ein neuer Netzanschlusspunkt an das Verteilnetz errichtet werden. Dieser Netzanschlusspunkt bietet eine maximale Leistung von 34,5 kW (3 Phasen je 230 V und maximal 50 A). Für die Ladepunkte wurde ursprünglich eine Master-Slave-Konfiguration zweier Ladestationen des Herstellers ABL vorgesehen. Dies war im Wesentlichen durch die ästhetischen Anforderungen des Liegenschaftsbetreibers begründet. Für die planmäßige Umsetzung im Projekt war es jedoch zwingend notwendig, dass die eingesetzten Ladestationen das Protokoll OCPP mit mindestens Version 1.6, inklusive der optionalen Smart Charging Profile unterstützen. Leider machen nicht alle Ladestationshersteller präzise Angaben zu den technischen Fähigkeiten ihrer Produkte – so auch ABL. Durch direkten Telefonkontakt mit einem ABL-Techniker konnte geklärt werden, dass die ABL-Produkte allesamt kein gesteuertes Laden mit OCPP unterstützen. Eine Steuerung wäre nur per Modbus möglich gewesen, mit jedoch Freiheitsgrade lassender Protokollspezifikation. Durch weitere Recherchen ergaben sich folgende Anforderung im Rahmen von „BLADE-KA“:

- Verbindung mit dem Internet per LTE oder Ethernet (LAN) und zusätzlichem LTE-Modem.
- Unterstützung von mind. OCPP 1.6 inklusive des optionalen „Smart Charging Profile“.
- Alternativ auch eine Steuerung über Modbus/TCP bei Offenlegung der Modbus-Spezifikation. Dies wäre nur eine Notlösung, da eine Steuerung per Modbus (im Gegensatz zu OCPP) herstellerspezifisch umgesetzt werden muss.
- Idealerweise unterstützt die Ladesäule alle OCPP 1.6 Profile (Core, Firmware Management, Local Auth List Management, Reservation, Smart Charging und Remote Trigger), sowie das aktuelle OCPP 2.x. Dies wäre die zukunftssichere Variante.

Entsprechend dieser Anforderungen wurden, nach schriftlicher Bestätigung durch den Hersteller, zwei 22 kW Ladestationen mit je zwei Ladepunkten des Herstellers „Alfen“ gewählt. Beide Ladestationen sind mit 22 kW an das Stromnetz angeschlossen und können intern die Leistung auf beide Ladepunkte verteilen. Bei einer maximal gleichzeitigen Ladung ergibt sich also eine Ladeleistung von 44 kW, was die Netzanschlussleistung von 34,5 kW um ca. 25% überschreitet. Die Notwendigkeit für eine intelligente, buchungsbasierte Leistungssteuerung für die Ladevorgänge blieb damit uneingeschränkt bestehen. Durch den exklusiv von den Ladepunkten genutzten Netzanschluss konnte allerdings auf die Installation von zusätzlicher Messinfrastruktur zur Erfassung der Gesamtleistung aller Ladestationen am Netzanschluss verzichtet werden. Die aktuelle Gesamtleistung ergibt sich hier direkt aus der Summe der Einzelleistungen der Ladepunkte.

Die beiden Ladestationen sind netzwerktechnisch per kabelgebundenem Ethernet mit einem LTE-Router verbunden und erhalten darüber Zugang zum öffentlichen Internet. Die Anbindung an das Flottenmanagementsystem „Ubstack“ erfolgt über das Protokoll OCPP 1.6J. Die

Übertragung von optimierten Leistungsfahrplänen an die Ladestation wird über das „Smart Charging Profile“ von OCPP 1.6 realisiert, das von den beiden Ladestationen unterstützt wird.

Für den Abruf von Buchungsinformationen der Carsharing-Fahrzeuge wurde von Stadtmobil das IXSI-Protokoll vorgesehen (Interface for X-Sharing Information). IXSI soll dabei eine einheitliche Auskunftsschnittstelle für Reiseinformationssysteme zum Abruf von Verfügbarkeitsinformationen aus den Systemen der Mietwagenanbieter zur Verfügung stellen. Der Anwender nutzt dann das anbieterunabhängige und -übergreifende Reiseinformationssystem zur intermodalen und multimodalen Reiseplanung. Auch wenn IXSI nicht primär zum Austausch von Ladebedarfen gedacht ist, so lassen sich trotzdem zumindest die für die Ladeoptimierung benötigten Buchungsinformationen per IXSI abrufen. Theoretisch unterstützt IXSI auch die Übermittlung des aktuellen Akkuladestands (SoC). Dieser Parameter wurde jedoch von Stadtmobil nicht zur Verfügung gestellt. Daher wurde bei der Schätzung des Energiebedarfs der Fahrzeuge immer von der gesamten Nettoakkukapazität des jeweiligen Fahrzeugs ausgegangen:

- Hyundai Kona Elektro mit 39,2 kWh
- VW ID.4 mit 52 kWh
- Ford Mustang Mach-E mit 68 kWh
- Audi Q4 e-tron mit 51,5 kWh

Für den Abruf der Buchungsinformationen wurde ein Python-Service entwickelt. Dieser ruft die Informationen zuerst für alle relevanten Fahrzeuge direkt ab. Um die Schnittstelle nicht unnötig zu belasten, werden spätere Änderungen per Subscription bezogen. Dabei meldet der Service die für ihn interessanten Fahrzeuge und bekommt bei neuen Buchungen eine Änderungsnachricht.

Aus den Buchungsbearbeitungen werden dann potentielle Ladefenster berechnet. Da die von Stadtmobil verwendeten Fahrzeuge bis heute nicht über den zur Verfügung gestellten Zugang abrufbar sind, wurden zur Demonstration der Funktionsweise hilfsweise zufällig ausgewählte andere Fahrzeuge aus dem System abgefragt. Für diese Zeitfenster wurde die Ladeleistung so gewählt, dass die maximale Leistung des Standorts nicht überschritten wird, wobei Fahrzeuge die früher benötigt werden, beim Laden priorisiert werden.

Um alle Bedürfnisse der optimierten Ladesteuerung zu erfüllen, wurde die Lademanagement-Komponente der Ubstack-Plattform um mehrere neue Schnittstellen erweitert. Da die Stadtmobil-Fahrzeuge keine feste Zuordnung zu den einzelnen Ladepunkten haben, muss vor jedem Steuerbefehl (der das Laden eines bestimmten Fahrzeugs betrifft) festgestellt werden, ob und an welchem Ladepunkt das jeweilige Fahrzeug gerade lädt. Identifiziert wird das Fahrzeug dabei durch den bei der Autorisierung an der Ladesäule verwendeten RFID-Chip. Diese und weitere Informationen lassen sich nun über die CHARGE-Operator-API der Ubstack-Plattform abrufen. Des Weiteren ist es nun möglich, Ladepläne in Form von Zeitreihen (Strom oder Leistung) in Ubstack zu hinterlegen. Diese werden anschließend in entsprechende Steuerbefehle umgewandelt und per OCPP an den Ladepunkt übertragen.

Bevor ein Ladeplan (über Ubstack) an den jeweiligen Ladepunkt kommuniziert wird, wird in regelmäßigen Abständen nach den aktiven Ladevorgängen des verwendeten RFID-Chips gefragt. Sobald ein Ladevorgang vorliegt und damit auch der verwendete Ladepunkt bekannt ist, wird der (neue/geänderte) Ladeplan an den Ladepunkt übermittelt.

Abbildung 2 visualisiert die Verwaltung der Ladestationen in ubstack CHARGE:

The screenshot displays the 'Charging Station - Blade-KA-02' management page. The status is 'Available'. The address is 'Blade-KA-02, Mehrgenerationenhaus, Hald-und-Neu-Str. 7, 76131 Karlsruhe, Baden Württemberg, Deutschland'. The status information shows a donut chart with 'Available' at 2. The 'Charging Station Information' table includes details such as 'ChargingStation-ID: Blade-KA-02', 'Manufacturer: Alfen BV', and 'OCPP Version: Open Charge Point Protocol v1.6 via JSON'.

Abbildung 2: Verwaltung der Ladestationen in ubstack CHARGE

Zusammengefasst gestaltet sich der Steuerungsalgorithmus wie folgt, wobei sich eine Skizze der Datenflüsse und Steuerbefehle in Abbildung 3 findet:

1. Prüfen der aktuellen Buchungsinformationen per IXSI-Request bzw. Warten auf Veränderungen im Buchungssystem per IXSI-Subscription.
2. Ermittlung der verfügbaren Ladezeitfenster.
3. Optimierung der Ladeleistung für die Zeitfenster.
4. Ermittlung der aktuell laufenden Ladetransaktionen bzw. Warten auf den Start eines neuen Ladevorgangs des jeweiligen Fahrzeugs.
5. Übermittlung der Ladepläne an ubstack und von dort Übertragung der Steuerungsparameter für den Ladevorgang per OCPP an den Ladepunkt.

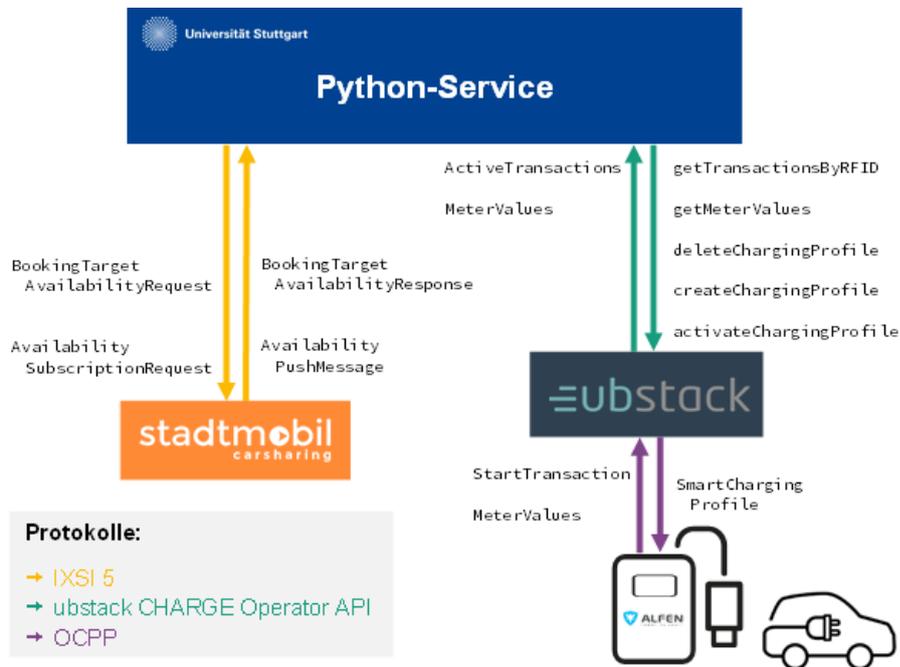


Abbildung 3: Skizze der Datenflüsse und Steuerbefehle für den Steuerungsalgorithmus

In **Szenario 2** (Lademanagement auf Basis von Reservierungsinformationen im Rahmen eines vorhandenen Energiemanagementsystems mit anonymen Besucher- und Mitarbeiter-Fahrzeugen) ergab sich folgender Ablauf:

Bei der initialen Marktanalyse von Ladestationen wurde das OCPP-Protokoll als vorherrschender Quasi-Standard zur Kommunikation mit Ladestationen identifiziert. Für die Anbindung der Ladestationen an das vorhandene Energiemanagementsystem wurde daher das Protokoll OCPP 1.6J mit Smart Charging Profile vorgesehen. Bei der Protokollvariante J verbindet sich die Ladestation mit einem zuvor konfigurierten zentralen Ladestationsverwaltungssystem. Bei der Marktanalyse wurde außerdem identifiziert, dass die Protokolle OCPP 2.0 und EEBUS in Zukunft, insbesondere im deutschen Markt, mit hoher Wahrscheinlichkeit an Bedeutung gewinnen werden. Um eine möglichst gute Grundlage für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu schaffen, wurde daher entschieden Ladestationen zu beschaffen, die sowohl OCPP 1.6, OCPP 2.0 als auch EEBUS unterstützen. Aus diesem Grund wurde auch eine geringfügige Verzögerung bei der Beschaffung der Ladestationen in Kauf genommen. Letztlich konnte ein Hersteller identifiziert werden, der bereit war, noch vor globalem Produktstart, zwei Ladestationen mit den gewünschten Funktionalitäten zu liefern. Nach Bestellung der Ladestationen kam es herstellerseitig zu mehrfachen Verzögerungen, unter anderem aufgrund des globalen Material- und Halbleitermangels, die insgesamt in einer mehrmonatigen Lieferverzögerung zwischen Bestellzeitpunkt und Lieferzeitpunkt resultierte.

Parallel zur Beschaffung der Ladestationen wurde ein zentrales Ladestationsverwaltungssystem (Charging Station Management System, CSMS) zur Anbindung von Ladestationen konzeptioniert und entwickelt, das die Umsetzung optimierter Fahrpläne sowie die Evaluation der Optimierung ermöglicht. Das CSMS wurde in Java implementiert, ist modular aufgebaut und kann über Rechengrenzen hinweg betrieben werden. Es verwendet eine relationale Datenbank zum Verwalten von Stammdaten, wie Ladestationen und Transaktionen, sowie eine Zeitreihendatenbank zum Speichern von Messwerten, wie Leistungs- und Energiewerten.

Ladestationen verbinden sich über das Open Charge Point Protocol (OCPP) 1.6, Variante J (JSON) mit dem CSMS. Während der Entwicklung des CSMS stand eine Ladestation des Herstellers „Alfen“ zur Verfügung gegen die das CSMS regelmäßig getestet und evaluiert werden konnte.

Die Leistungssteuerung von Ladepunkten geschieht standardisiert über das Smart Charging Profile von OCPP 1.6. Für die Anbindung des lokalen Energiemanagementsystems am FZI wurde eine entsprechende Schnittstelle entwickelt über die Ladepläne für einzelne Ladepunkte vorgegeben werden können. Das CSMS spielt die Ladepläne letztendlich unter Verwendung des OCPP 1.6 Smart Charging Profiles in die Ladestationen ein. Die Ladestationen regeln dann die Leistung oder Stromstärke entsprechend nach den lokal eingespielten Fahrplänen.

Auf die Entwicklung einer Schnittstelle zwischen ubstack und dem FZI-EMS wurde aufgrund sich geänderten Anforderungen verzichtet. Am FZI hatte sich als Schnittstelle für Buchungsinformationen zur Freigabe von Ladestationen inzwischen die Kalender-Funktionalität im internen Microsoft Exchange System etabliert. Daher wurde stattdessen eine Anbindung an das FZI-Exchange-System geschaffen. FZI-Mitarbeiter können durch Anlegen eines Termins in der Microsoft Outlook Software einerseits Ladestationen für einen bestimmten Zeitraum zur Ladung freischalten. Andererseits kann der Anfangs- und Endzeitpunkt des Termins als Buchungsinformationen betrachtet werden, die direkt in der Ladeoptimierung verwendet werden können.

Die am FZI konzipierte Ladeoptimierung ist in der Lage, neben den für den Anwendungsfall notwendigen Eingaben, Buchungsinformationen (Ankunft- und Abfahrtszeitpunkt) und physikalischen Netzanschlussleistungsgrenzen (respektive maximale Strombelastbarkeit der Sicherungen) zusätzlich auch dynamische Leistungslimitierungssignale und PV-Überschussprognosen in 15-Minutenauflösung bei der Optimierung zu berücksichtigen. Der Optimierer wurde als Java-Bibliothek implementiert, verfügbar aber auch über eine REST-Schnittstelle, die die Benutzung über Rechengrenzen hinweg ermöglicht.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die großen Verzögerungen bis zur Lieferung der Ladesäulenhardware aufgrund Materialmangels wurden oben bereits erwähnt. Ähnliche Verzögerungen gab es bei den Elektrikern, die notwendiges Material erst über mehrere Wochen hinweg vom Großhandel beziehen konnten. Ebenfalls schwer aufzutreiben war ein Tiefbauer für die Verlegung der Leerrohre für die Elektro- und Datenkabel der Ladestationen. Positiv zu erwähnen ist hier der Netzbetreiber, der die Anmeldung der Ladestationen am FZI in weniger als einem Tag bearbeiten konnte.

Für die Auswahl der passenden Ladestationen stand das IAT der Badischen Energie-Servicegesellschaft (BES), welche die Ladesäulen beschafft und aufgebaut hat, beratend zur Seite. Außerdem wurde Kontakt zu verschiedenen Ladestationsherstellern aufgenommen, um den detaillierten Funktionsumfang (mit Blick auf Fahrplanvorgaben) der jeweiligen Produkte zu klären. Bei den verschiedenen Ladestationsherstellern konnten hierbei erhebliche Unterschiede erkannt werden.

Die seitens Stadtmobil benötigte IXSI-Schnittstelle konnte aufgrund verschiedener externer Verzögerungen erst kurz vor Projektende zur Verfügung gestellt, so dass die Implementierung des IAT kaum getestet werden konnte. Da die API-Dokumentation alleine nicht alle benötigten Informationen zur Nutzung der IXSI-Schnittstelle lieferte, stand das IAT auch mit dem Bundesverband CarSharing als Lizenzgeber der IXSI-Schnittstelle in Kontakt. Durch direkten

Support-Zugang zu Stadtmobils IT-Dienstleister Cantaman konnten die Herausforderungen, die sich durch den innovativen Charakter des Projektes ergeben haben, jedoch zufriedenstellend gelöst werden.

6. Erzielte Ergebnisse

Zusammenfassend konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Zwei Ladestationen mit zukunftssicheren digitalen Schnittstellen (OCPP 1.6, OCP 2.0, EEBus) und insgesamt vier Ladepunkte für Besucher und Kunden des FZI Forschungszentrum Informatik.
- Modular aufgebautes zentrales Ladestationsverwaltungssystem (Charging Station Management System) zur Anbindung von Ladepunkten an das FZI-EMS.
- Ladeoptimierung mit Unterstützung für Buchungsinformationen, statischen Leistungsgrenzen, dynamischen Leistungsgrenzen sowie dynamischen PV-Überschussprognosen zur Integration in FZI-EMS.
- Schnittstelle zum Auslesen von Buchungsinformationen aus Microsoft Exchange Kalender zur Integration in FZI-EMS.
- Anschluss zweier Ladestationen mit insgesamt 4 Ladepunkten an das Lademanagement der ubstack-Plattform.
- Erweiterung der ubstack API in den Bereichen Ladesteuerung und Abruf von Ladetransaktions- und Zählerdaten.
- Implementierung der IXSI-Datenschnittstelle zum Abruf von Reservierungsinformationen bei Stadtmobil.
- Ladeoptimierung unter Berücksichtigung der geplanten Fahrzeugverfügbarkeit und standortspezifischer, fester Lastobergrenzen.

7. Verwertungsplan

Das gemeinsame Hauptergebnis ist der sichere Betrieb von acht Ladepunkten an zwei unmittelbar benachbarten Standorten, deren Leistungen auf Basis von Informationen eines jeweils angepassten Buchungssystems so angepasst werden, dass die maximale Leistung gedeckelt wird. Die gewonnenen Ergebnisse sollen öffentlichkeitswirksam demonstriert und von den Projektpartnern als Multiplikatoren im Rahmen weiterer Umsetzungs- und Transferprojekten in die Praxis geführt werden (Stadtmobil mit einer Flotte von 3.100 Fahrzeugen; FZI als Innovationspartner für kleine und mittlere Unternehmen im Anwendungsfeld Energie; IAT als Forschungseinrichtung mit speziellem Fokus auf Flotten- und Lademanagement; das Hoepfner-Areal als Publikumsmagnet mit zahlreichen Parkplätzen und Ladestationen).

Wirtschaftliche Verwertung

Für Stadtmobil ist es äußerst wahrscheinlich und absehbar, dass sich die beschriebene Problemlage an weiteren geplanten Standorten wiederholen wird und die Erkenntnisse und Lösungsansätze aus dem Projekt auch dort zielführend sein werden. Die Erfahrungen aus dem Projekt werden in die zukünftige Elektromobilitätsstrategie auch in Kooperation mit überregionalen Partnern einfließen. Hoepfner hat als Liegenschaftsbetreiber das Interesse eines möglichst günstigen Netzanschlusses bei einer gleichzeitig hohen Verfügbarkeit von elektrischen Carsharing-Fahrzeugen vor Ort und an einer zukunftsfähigen Lösung für den massenhaften

Einsatz von Ladestationen, wozu die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Technologien beitragen.

Das FZI betreibt angewandte Forschung u. a. in den Schwerpunkten autonomes Fahren sowie IT-basierte Ausgestaltung des Energiesystems der Zukunft. Daher möchte das FZI durch die Ladestationen die Attraktivität des Standortes insbesondere für Besucher aber auch für Mitarbeiter steigern sowie innovative Forschungsergebnisse im Bereich der Elektromobilität nach außen stärker sichtbar und insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen interessanter machen. Das FZI fördert den Transfer von im Rahmen des Projekts gewonnen Erkenntnissen in die Praxis sowohl als Innovationspartner für Unternehmen, die neue Ladelösungen an den Markt bringen wollen als auch als Unterstützer von Forschungs-Spin-offs. Im Umkreis des Projektstandorts ist zukünftig mit einer relativ hohen Dichte an E-Autos zu rechnen. Durch die allgemeine Zunahme von Carsharing in städtischen Ballungsräumen wird zudem der Bedarf öffentlicher Ladeinfrastruktur gesichert, insbesondere auch deren innovative Weiterentwicklung an verschiedene Verrechnungslösungen, aber auch an flexiblen Lastprofilen, die an Firmenflotten wie z.B. auch Autovermietungen angepasst werden können.

Das IAT möchte über das Projekt das Thema Carsharing als wichtigen Baustein in seine Flotten- und Lademanagementaktivitäten, sowie seine Forschungsarbeiten integrieren. Durch die Zusammenarbeit mit dem Anwendungspartner Stadtmobil kann das IAT weitere wichtige Erkenntnisse aus realen Ladevorgängen in konkreten Anwendungsfällen sammeln und daraus bessere Prognosemodule entwickeln. Eine zusätzliche Grundlage für die wirtschaftliche Verwertung durch Aufzeigen neuer Geschäftsmodelle ergibt sich durch die Forschungsarbeiten des IAT im Kontext der ubstack-Plattform, die im Rahmen des Projektes um wesentliche Funktionalität im Kontext des Carsharings erweitert wurde.

Wissenschaftliche Verwertung

Das FZI wird die Erfahrungen aus dem Projekt für die weitere Forschung nutzen. Die Optimierung von Energiesystemen und das Laden von Elektrofahrzeugen spielt in vielen laufenden Forschungsprojekten des FZI eine große Rolle, wodurch die sehr praxisnah gesammelten Erfahrungen aus dem Projekt von großem Wert sind. Insbesondere ist auch die Forschung des FZI an der künftigen Ausgestaltung des §14a Energiewirtschaftsgesetz sowie im Kontext intelligenter Messsysteme zu erwähnen, in der auch das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen explizit einbezogen wird. Ähnliche Schwerpunkte bildet die Verwertungsstrategie des IAT ab. Neben der Integration von stichhaltigen Randbedingungen in Lademanagementalgorithmen ist das IAT bestrebt, die im Rahmen des Projekts erzielten Forschungsergebnisse in weitere Projekte einzubringen. Insbesondere sollen die im Projekt gewonnen Erkenntnisse und entwickelten Algorithmen so erweitert werden, dass neben unternehmensfremden Carsharing-Fahrzeugen gleichzeitig auch die unternehmenseigenen internen Fahrzeuge berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden FZI und IAT im Zuge von Veranstaltungen z. B. mittels Präsentationen und Vorträgen den Transfer der Kernenerfahrungen aus dem Projekt gewährleisten und somit einem breiten Kreis zugänglich und nutzbar machen.

Start-ups

In der dem Hoefpner-Areal sowie dem FZI gegenüberliegenden Technologiefabrik (Haid- und Neu-Str. 7) residiert AXEL – der Energie-Accelerator, der schon heute mehrere Start-ups auf dem Gebiet der Elektromobilität und der Ladetechnik fördert. Zukünftig können Erfahrungen mit diesem Projekt dazu führen, dass weitere Start-ups gegründet oder bestehende Start-ups besser entwickelt werden. Zudem ist das FZI Unterstützer und Partner von AXEL und bietet aufgenommenen Start-ups zur Weiterentwicklung und Evaluation ihrer Lösungen Zugriff auf

energetische Anlagen und Systeme im FZI House of Living Labs. Gemäß dem Gedanken der „Living Labs“ geschieht dies in direkter Zielumgebung im Produktivbetrieb. Darüber hinaus unterstützt das FZI forschungsbasierte Ausgründungen und trägt damit zusätzlich zum Transfer von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung bei. Die im Rahmen des Projekts geschaffene Infrastruktur sowie gewonnene Erkenntnisse können somit zukünftig auch bei der prototypischen Entwicklung und beim Test weiterer Projektideen große Mehrwerte liefern. Damit hat das Projekt einen heute noch nicht quantifizierbaren Nebeneffekt durch Clusterbildung. Des Weiteren ist das IAT bestrebt die im Projekt weiterentwickelte ubstack-Plattform in Form eines eigenständigen Dienstleisters für Flottenmanagement, Elektromobilität und intelligenter Ladesteuerung auszugründen.

8. Veröffentlichungen

Veröffentlichungen im direkten Kontext des INPUT-Projekts „BLADE-KA“ sind im Rahmen der zeitlich beschränkten Projektlaufzeit aufgrund des angewandten Charakters des Projektes nicht erfolgt.