



Intelligente Ladeinfrastruktur für die E-Mobilität von morgen

Gefördert durch

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



EUROPÄISCHE UNION
Investition in Ihre Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

E-MOBILITY
LAB HESSEN





„Die schwankende Leistung des Netzes wurde bestmöglich ausgenutzt und größtmöglicher Komfort für die Nutzer sichergestellt.“

Das Verbundprojekt **E-Mobility-LAB Hessen**, gefördert mit Mitteln des europäischen EFRE-Programms, ist ein hervorragendes Beispiel für eine gelungene Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung in Hessen.

Es ist eine Ladeinfrastruktur entstanden, die täglich produktiv genutzt wird, um mit der nächsten Generation elektrischer Fahrzeuge einen Beitrag zum Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland zu leisten. Das E-Mobility-LAB Hessen zeigt, wie ressourcen-

schonend und kostensparend so ein Vorhaben realisiert werden kann, wenn Smartness sowohl im Aufbau als auch in Betrieb der Ladeinfrastruktur durch entsprechende Betriebsstrategien eingesetzt wird.

Die aufgebaute Ladeinfrastruktur und die täglich anfallenden Daten bieten den Forschungspartnern eine einmalige Gelegenheit, den Ladeinfrastrukturbedarf der nächsten Jahre hinsichtlich bedarfsgerechten und netzentlastenden Ladeverhalten abzuschätzen. Darüber hinaus ermöglichen die Daten an Systemdienstleistungsmärkten, wie dem

Regelleistungsmarkt aber auch zukünftig denkbaren Märkten für verteilnetzdienliche Flexibilität teilzunehmen. Die direkte Anwendung auf ein Praxisobjekt und die realitätsnahe Validierung der Ergebnisse sind einzigartig in diesem Projekt.

So ist den Industriepartnern Opel, Flavia-IT und PlugnCharge gelungen, auf dem Opel-Gelände eine intelligente Ladeinfrastruktur mit mehr als **120 Ladepunkten** aufzubauen. Die intelligente Steuerung der Ladevorgänge über ein Backend sorgt dafür, dass priorisiert und flexibel täglich hunderte intensiv genutzte Fahrzeuge geladen werden können. „Die schwankende Leistung des Netzes wurde bestmöglich ausgenutzt und größtmöglicher Komfort für die Nutzer sichergestellt.“ Die Anbindung der Ladestationen unterschiedlicher Hersteller, die jeweils über Mobilfunk angebunden sind, hat sich im Laufe des Projektes bewährt. Schwankungen des Mobilfunknetzes konnten, sofern vorhanden, über Offlinefähigkeit ausgeglichen werden und gefährdeten zu keiner Zeit die Nutzerzufriedenheit oder die Einhaltung der Maximalwertvorgaben.

Die drei beteiligten Fachgebiete der Universität Kassel konnten erfolgreich eine validierte, agentenbasierte Simulationsumgebung zur Abschätzung des Ladeinfrastrukturbedarfs aufbauen, wobei das Fahr-

verhalten anhand von Datenerhebungen mit statistischen Modellen abgebildet wurde. Darüber hinaus konnten Algorithmen zur Voraussage künftiger Ereignisse im Zusammenhang mit dem Ladebedarf, Ladebeginn und Ladezeit, der Nutzer entwickelt werden.

Schließlich wurden die technischen Ergebnisse des E-Mobility-LAB Hessen in den energiewirtschaftlichen Kontext gesetzt. Dabei kam heraus, wie wichtig Anreizmechanismen zur Nutzung netzdienlicher Flexibilität sind. Sie sind ein Schlüssel für die erfolgreiche Integration von E-Mobilität in die Verteilnetze.



Prof. Dr. Ludwig Brabetz

Universität Kassel – Fachgebiet Fahrzeugsysteme
und Grundlagen der Elektrotechnik (FSG)

Intelligente Ladeinfrastruktur für die E-Mobilität von morgen

Das **Opel Entwicklungszentrum** wird zum Reallabor für Elektromobilität: Dort wird gemeinsam mit der **Universität Kassel** sowie den beiden auf Ladeinfrastruktur spezialisierten Unternehmen **FLAVIA IT** und **PLUG'n CHARGE** im Projekt E-Mobility-LAB Hessen am optimalen Aufbau des Stromnetzes der Zukunft geforscht. Dafür errichtet Opel eine intelligente Lade- und -Infrastruktur für Elektrofahrzeuge.

Reallabor bildet Mobilitätssituation des Jahres 2035 in Hessen ab

Insgesamt werden über **120 Ladesäulen** in Rüsselsheim sowie dem Testzentrum in Rodgau-Dudenhofen installiert. Die gesamte E-Automobilflotte des Entwicklungszentrums soll hier geladen werden. Basierend auf realen Daten werden umfangreiche und fundierte Simulationen ermöglicht, deren Resultate zukünftig in die Realität übertragen werden sollen.

Ziel ist es wertvolle **Erkenntnisse über das Ladeverhalten** und die Anforderungen an den Netzausbau zu erhalten. Mit einem intelligenten Steuersystem werden Ladestrom und -zeitpunkt an die jeweilige Nutzung der Entwicklungsfahrzeuge angepasst. Mit dieser **smarten**

Infrastruktur wird realisiert, dass die gesamte Flotte, trotz des hohen Energiebedarfs der Elektrofahrzeuge, jederzeit bedarfsgerecht geladen ist – und das bei minimalem Ausbau des bestehenden Stromnetzes. Zudem wird ein **modularer Batteriespeicher** installiert, in dem **Fahrzeuggatterien wiederverwendet** werden, um Strom vorübergehend zu speichern.

Dieser stationäre Batterieeinsatz soll **Verbrauchsspitzen ausbalancieren** und so das **Stromnetz stabilisieren**.

Ein **klimagerechtes Verkehrssystem** kann mit Hilfe dieses Projekts ermöglicht werden und Hessen in der Verkehrswende einen großen Schritt voran bringen.

Erarbeitet wurde das Konzept des Projektes gemeinsam mit der Denkfabrik der hessischen Energiewende **House of Energy**.

Projektdauer

10/2018 – 9/2021

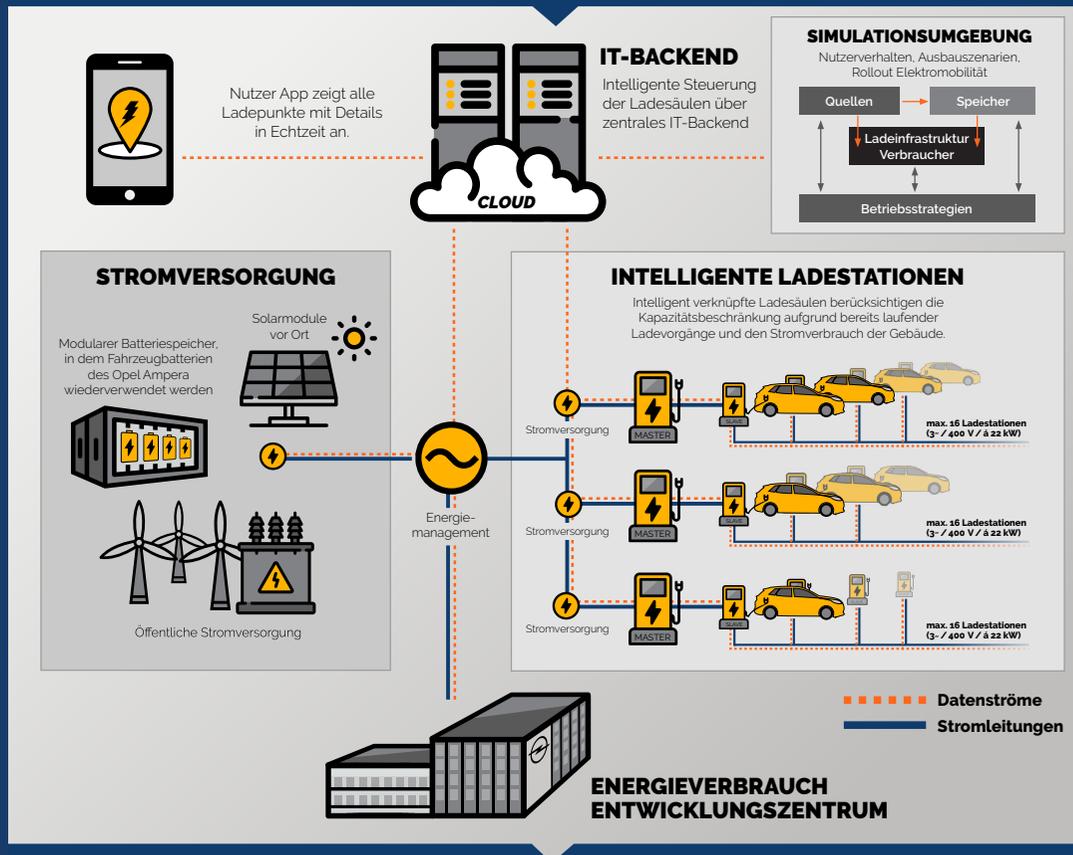
Projektvolumen

rund 4 Millionen Euro



E-MOBILITY-LAB HESSEN

Das Rüsselsheimer Entwicklungszentrum wird zum Reallabor für Elektromobilität



- Die **Stromversorgung**, die durch unser werks-eigenes Kraftwerk und Photovoltaik Anlagen bereitgestellt wird, sowie durch externe Stromversorgung falls erforderlich.
- Die **Energieverbraucher** sind vielfältig und auf viele Gebäude am Standort auf ca. 6 Quadrat Kilometer verteilt. Zum einen gibt es das Entwicklungszentrum mit Büros, Werkstätten und Prüfständen und zum anderen die Produktion mit verschiedenen Werkshallen und sehr unterschiedlichen Energiebedarfen.
- Dazu kommen ca. **500 intelligente e-Ladepunkte** an ca. 20 verschiedenen Standorten, die in Ladefarmen organisiert sind, an die Energieversorgung der existierenden Gebäude und Werkshallen angeschlossen sind und über Mobilfunk mit dem Backend kommunizieren.
- Über allem steht das **IT-Backend**, das die Ladepunkte steuert und mit Informationen über die Energieversorgung gespeist wird, um ein dynamisches Last Management zu ermöglichen
- Ergänzt wird dies durch eine **Nutzer App**, die freie Ladepunkte am Standort ausweist.
- Die **Simulationsumgebung** existiert bei der Uni Kassel, die auf Basis der Ladedaten und definierten Szenarien das Ladeverhalten und die Auslastung der Infrastruktur analysiert.

ZIELE: E-Mobilität wird Teil der Energiewende • Intelligente Ladeszenarien und Energiemanagement für die Zukunft • Lösungen für effizienten Netzausbau



„Die Dichte von Elektrofahrzeugen auf dem Opel-Campus sollte eine Mobilitätssituation abbilden, wie sie im Jahr 2035 erwartet wird. Daraus wurden wertvolle Erkenntnisse über das Ladeverhalten und die Anforderungen an das Stromnetz der Zukunft gewonnen.“

Ziele des Teil-Projekts

Um E-Fahrzeuge im Rüsselsheimer Entwicklungszentrum und im Testcenter Dudenhofen entwickeln und testen zu können, benötigte Opel eine intelligente Ladeinfrastruktur auf dem Betriebsgelände. Bis zum Jahr 2021 werden dort 1000 E-Fahrzeuge erwartet. Aufgrund der hohen Dichte an E-Fahrzeugen

war ein starker Ausbau der Ladeinfrastruktur unabdingbar. Zugleich ist die verfügbare Leistung durch das vorhandene Stromnetz begrenzt. Neben der schwankenden Leistung im Netz, kommen Anforderungen der unterschiedlichen Nutzertypen hinzu. Prototypen haben z. B. Priorität. Sie werden 24 h getestet, was eine schnelle Ladung erfordert. Dienstwagen hingegen sind mit einer langsamen

Ladung aufgrund längerer, nächtlicher Standzeit ausreichend versorgt. Am Standort Dudenhofen erhöhte die Beschränkung durch eine 24 kV-Leitung mit geringer Leistung die Komplexität. Ziel des Projekts war es mit Hilfe einer intelligenten Ladesteuerung den Netzausbau und damit Investitionskosten zu vermeiden.



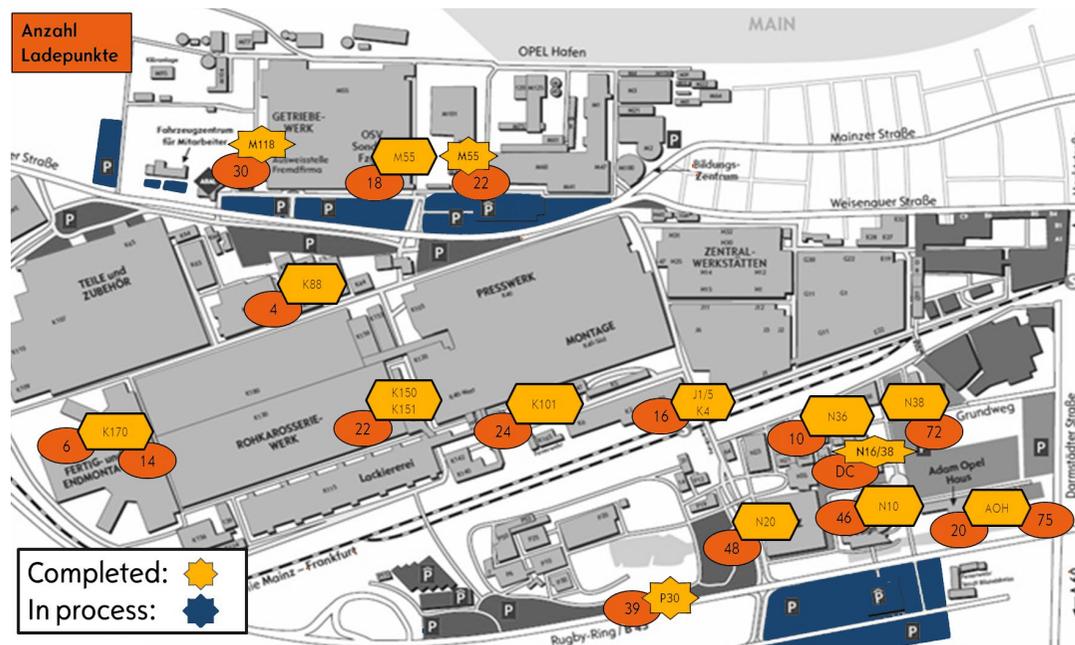
Bild: © Adam Opel AG, www.media.opel.de

Herangehensweise

Beim **Aufbau der Ladeinfrastruktur** wurden, soweit möglich, **vorhandene Strukturen** wie z. B. Blechwände oder Leitplanken genutzt, um Kosten zu sparen.

Durch **Ladefarmen mit Unterverteilungen** konnten Erdarbeiten für die Leitungsverlegung reduziert werden. Die **intelligente Steuerung der Ladevorgänge** über das Backend des **Projektpartners FLAVIA** sorgte dafür, dass priorisiert und flexibel geladen werden konnte. Somit wurde die **schwankende Leistung des Netzes** bestmöglich ausgenutzt und **größtmöglicher Komfort für die Nutzer** sichergestellt.

AUSZUG CAMPUS RÜSSELSHEIM



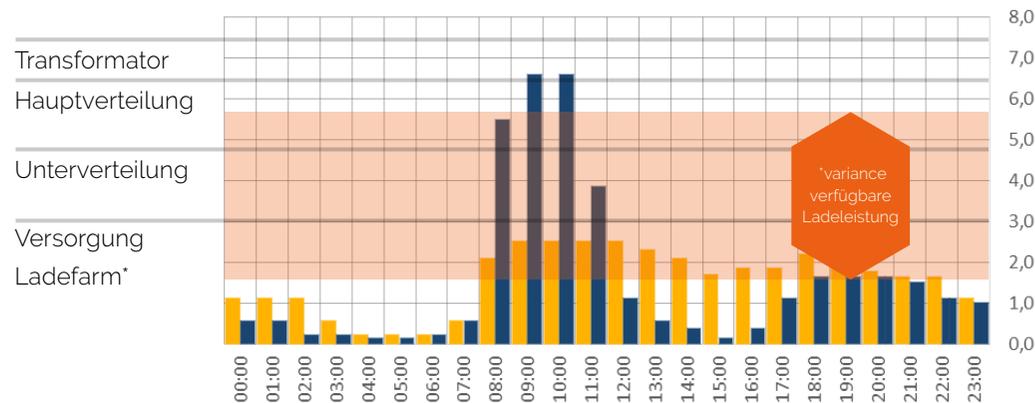
Ergebnisse

Es wurde eine **intelligente, optimierte Stromverteilung** an den Ladepunkten etabliert. Diese funktioniert innerhalb der Ladefarmen auch in Hinblick auf die Herausforderung von

1-phasig ladenden Fahrzeugen, oft in Kombination mit 3-phasig ladenden Fahrzeugen. Der Mix in der Netzbelastung kann vom Lastmanagement erkannt und in der Auslastungskalkulation einer Ladefarm berücksichtigt werden.

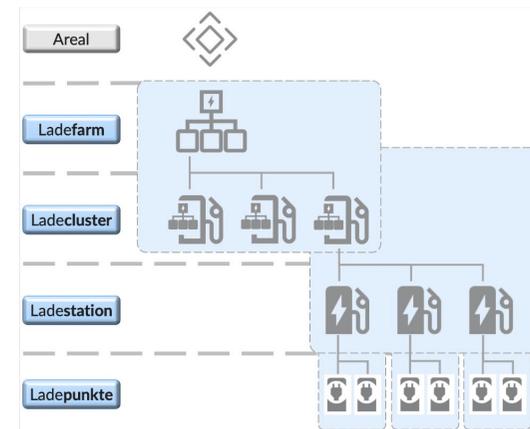
Insgesamt sind mehr als **120 Ladepunkte** im Rahmen des Projekts E-Mobility-LAB Hessen entstanden, an denen die Elektrofahrzeugflotte des Entwicklungszentrums künftig geladen wird. In einem weiteren Projekt baut Opel **weitere ca. 380 Ladepunkte** für die

LASTMANAGEMENT



* Verfügbare Ladeleistung variiert über den Tag, durch Gleichzeitigkeit anderer Verbraucher in einem Gebäude und Versorgungsnetz

TOPOLOGIE ENERGIEVERSORGUNG



interne Flotte, d.h. Werksverkehr, Dienst- und Abteilungswagen auf. Daraus ergeben sich **ca. 500 „interne“ Ladepunkte**, die an knapp 20 verschiedenen Standorten auf dem Campus in Form von Ladefarmen mit

4-75 Ladepunkten errichtet wurden. Darüber hinaus wurde ein **Energiespeicher in Form eines Batteriecontainers** für **Second-life-Batterien** entwickelt und in Betrieb genommen. Dort wo nur ein Ladepunkt versorgt

werden konnte, können jetzt acht Ladepunkte versorgt werden. Mehr über die große „Power-Bank für Elektrofahrzeuge“ auf Seite 14.

VIDEO ZUM BATTERIECONTAINER



Beim Auf- und Ausbau der Lade-Infrastruktur wurde ein Low Cost Ansatz verfolgt

- Keine neuen Trafos und Haupt-Versorgungsleitungen
- Ausnutzung der verfügbaren Energie an den verschiedenen Standorten und bewusste Akzeptanz von energetischer Unterversorgung
- Leitplankenkonzept und Wandmontage anstatt aufwendigen Tiefbaus

Lessons learnt

„Bring das Auto zum Strom, anstatt den Strom zum Auto“, um kosteneffizient zu sein. Dieses „learning“ wurde aus den Kostenanalysen gezogen.

In dem Reallabor E-Mobility-LAB wurden mit Hilfe des intelligenten Steuersystems „Gridware“ Ladestrom, Priorität und Zeitpunkt an die jeweilige Nutzung der Fahrzeuge angepasst. Dabei wurde die Energieverfügbarkeit an den verschiedenen Standorten bzw. die Belastbarkeit der Versorgungsleitungen berücksichtigt (dynamisches Lastmanagement).

Mit dieser smarten Infrastruktur wurde erforscht, wie die gesamte Flotte, trotz des hohen Energiebedarfs der Elektrofahrzeuge, jederzeit bedarfsgerecht geladen werden, aber gleichzeitig die Leistungs-

grenzen der vorhandenen Infrastruktur und die bereitgestellte Energie des werkeigenen Kraftwerks nicht überschritten werden. Und das bei minimalen Ausbaukosten.

Die Infrastrukturauslegung am Standort Rüsselsheim basiert auf dem Prinzip, dass nicht alle Ladepunkte gleichzeitig belegt sind, aber auch das nicht immer mit maximal möglichem Ladestrom geladen wird.

Das Lastmanagementsystem regelt den Energiefluss der Ladepunkte so, dass maximaler verfügbarer Ladestrom bereitgestellt wird, ohne dass eine Überlastung im Versorgungsnetz auftritt. Dies kann zum Beispiel durch Reduzierung der absoluten Ladeleistung oder eine zeitliche Verschiebung der Ladevorgänge erfolgen.



Der Batteriecontainer im Testzentrum Dudenhofen

In dem modulareren Batteriespeicher, in dem gebrauchte Fahrzeugbatterien aus dem Opel Ampera der ersten Generation wiederverwendet werden, wird Strom vorübergehend gespeichert.

Der stationäre Batterieeinsatz im sogenannten Second Life dient dazu, das Stromnetz zu puffern oder Verbrauchsspitzen auszubalancieren.

Das Testzentrum, wo der Batteriecontainer aufgestellt wurde, liegt in einem Gebiet mit limitierter Netzversorgung und einem Leitungsweg von 1,5 km bis zur nächsten Einspeisung. Um an diesem abgelegenen Ort ausreichende Ladekapazität für 8 AC Ladepunkte à 22 kW zur Verfügung stellen zu können, würden sehr hohe

Kosten für den Netzausbau entstehen. Bei einer groben Kostenschätzung müssten ca. 500 € / m für die Leitungsverlegung berechnet werden, so dass sich die Kosten für den Netzausbau auf ca. 750.000 € summieren würden.

Die Gesamtkosten eines Batterie Containers hingegen liegen bei etwa 300.000 €, bestückt mit wiederverwendeten Second-Life Batterien. Damit war die Entscheidung für den Batteriespeicher gefallen. Dieser Speicher wurde im Entwicklungszentrum entwickelt und aufgebaut. Durch die Fahrzeug-Rücknahmeverpflichtung der Automobilhersteller, werden zukünftig wertvolle HV Batterien verfügbar sein, die einer solchen Second-life Nutzung zugeführt werden können.

Für den Aufbau des modularen Batteriespeichers hat Opel einen 40 Fuss Container

gewählt. Insgesamt wurden 18 Fahrzeugbatterien in dem Batteriespeicher wiederverwendet.

Je nach Gesundheitszustand der Batterien können bis zu 300kWh an Energie gespeichert werden. Damit könnte ein Vier-Personen-Haushalt einen Monat lang mit Strom versorgt werden. Die acht Ladepunkte mit max. 22 kW sind außen am Batterie Container installiert und kommunizieren mit dem Backend, sowie mit dem Batteriespeicher selbst.

Es wird eine Lastmanagement-Steuerung der Ladepunkte in Abhängigkeit zur verfügbaren Energie im Speicher ermöglicht. Eine Nutzer-App überwacht den Betriebszustand des Containers, um frühzeitig Service Aktivitäten einzuleiten und kritische Betriebszustände zu vermeiden.





PLUG´n CHARGE rüstet E-Mobility-LAB mit Ladestationen aus

Die Plug'n Charge GmbH aus dem nordhessischen Bad Emstal rüstete das Opel-Betriebsgelände in Rüsselsheim mit über 140 Ladepunkten aus.

Die PLUG´n-CHARGE-Produkte unterschieden sich in zwei wesentlichen Punkten vom restlichen Markt: das einzigartige Design und das Material. Es wurde ein Stadtmöbel geschaffen,

das aus Nanobeton hergestellt ist. Dieses Material weist eine sehr niedrige Energiebilanz auf. Design und Material sind zwei Alleinstellungsmerkmale, die immer bedeutsamer für Entscheider werden, welche ganzheitlich das Thema Ladeinfrastruktur angehen.

Die am Opel-Campus eingesetzte TWIN Box von Plug'n Charge, zeichnet sich durch zwei



gegenüberliegende Ladepunkte aus, an denen gleichzeitig geladen werden kann. Diese Ladepunkte sind kabelgebunden (das Kabel ist mit der Ladestation verbunden) und damit für Nutzer ideal geeignet, bequem, schnell und sicher den Ladevorgang zu handhaben. Im Designgehäuse ist die Technik in einem Isolierstoff/SVi Kasten gekapselt und hat damit eine IP-Schutzklasse von IP65. Das

Bei der Entwicklung der Ladestationen wurde Wert gelegt auf:

- Integrationsfähigkeit standardisierter technischer Bauteile
- einfache Bedienbarkeit
- hohe Produktsicherheit
- einzigartiges und stabiles Material mit geringer Umwelt- und Klimabelastung
- Nachhaltiges Design mit hohem Wiedererkennungswert

Gehäuse kann speziell im Kundenbranding ausgeliefert werden und kann an der Wand installiert oder frei aufgeständert werden.

Das Laden von E-Flotten wird immer wichtiger

Für Unternehmen, die eigene Elektroautos sicher, effizient und mit absoluter Kostentransparenz am Firmengelände laden wollen, liefert die PLUG'n CHARGE **intelligente Betreiberpakete mit monatlichen detaillierten Ladereport-Informationen**. Die Kosten können dabei internen Kostenstellen oder Abteilungen zugeordnet werden, Betrieb und Wartung übernimmt auf Wunsch des Betreibers auch die PLUG'n CHARGE GmbH als Ladelösungsanbieter.

Die maßgeschneiderten Angebote eignen sich insbesondere für kleinere Betriebe oder Hotels mit bis zu 100 Ladepunkten. Durch die **Zuordnung von Ladevorgängen zu Kostenstellen** entsteht **absolute Kostentransparenz** und der Strom muss nicht mehr verschenkt werden.

Nicht nur im E-Mobility-LAB werden die Boxen von PLUG'n-CHARGE eingesetzt. Auch zahlreiche Stadtwerke und Netzbetreiber haben den Nutzen erkannt und verbauen PLUG'n-CHARGE-Produkte. Ein **weiterer Pluspunkt** ist die **identische Form** der Ladesäulen für das **Pedelec (E-Bike)** und das **E-Auto**. Nur die Stecker unterscheiden sich voneinander und entsprechen den jeweiligen Normen.

PLUG'n CHARGE sieht die Elektromobilität als Ganzes und der Einstieg für diese zukunfts-trächtige Technologie ist für viele Menschen das E-Bike.



„Mit Opel hatten wir einen Entwicklungspartner, der unter konsequenter Anwendung des definierten Standards (Smart Charging Profile innerhalb von OCPP) die technischen Möglichkeiten ausgereizt und erstmalig ein cloudbasiertes Lastmanagement zur Produktionsreife entwickelt hat.“

Ziel des Teilprojekts

Flavia IT Management übernahm in dem Projekt E-Mobility-LAB das **zentrale Steuerungssystem für die Ladeinfrastruktur** bereitzustellen.

Die **Energieabgabe** sollte **statisch**, entsprechend konfigurierbaren Begrenzungen

der Infrastruktur oder **dynamisch**, entsprechend den Vorgaben übergeordneter Energiemanagement Systeme (EMS), **gesteuert** werden.

Eine besondere **Herausforderung** bestand in der geforderten **Umsetzungsgeschwindigkeit**, in der **hohen Anzahl der Ladepunkte** und in dem **Einsatz unterschied-**

licher Hardwarehersteller. Hierfür mussten beispielsweise Mechanismen geschaffen werden, um **Konfigurationsaufwendungen** während der Inbetriebnahme zu **reduzieren** und in einen „Plug & Play“ Modus zu kommen.

Die **komplette Ladeinfrastruktur** wurde unter Einsatz einer **Mobilfunk-Security Lösung** der Telekom an das zentrale System angebunden.

Herangehensweise

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde durch einen intensiven Austausch mit dem Opel Projektteam sichergestellt, dass Entwicklungen immer in enger Abstimmung mit den Fachbereichen von Opel durchgeführt wurden. Die eigentliche **Softwareentwicklung** erfolgte unter Umsetzung einer **agiler Projektsteuerung** in **drei- bis vierwöchigen Sprints**.

Aus den ersten Planungsgesprächen kristallisierte sich sehr schnell die Anforderung heraus, die Ladeinfrastruktur inklusive ihrer Einbindung in die Energieversorgung von Opel in Rüsselsheim flexibel abbilden zu können. Da sowohl bezüglich des zukünftigen Nutzungsverhalten Unklarheit bestand und auch keine Erfahrungswerte über die externen Energieverbräuche vorlagen, lag generell immer ein hohes Augenmerk darauf **flexible** und **konfigurierbare Lösungen** zu schaffen.

Ergebnisse

Als **Basisinfrastruktur** wurde eine in der **Telekom Cloud** gehostete zentrale Steuerung aufgesetzt, die über ein **isoliertes VPN** (Mobilfunk) die Anbindung der Ladestationen ermöglicht.

Die **Topologie** der Energieversorgung in einer **vierstufigen Struktur** flexibel abzubilden (Ladepunkt -> Ladestation -> Ladecenter -> Ladefarm) ermöglichte konkrete Aussagen über die Energieversorgung. Innerhalb dieser geschaffenen Topologie ermöglicht das **System** an **jedem Knotenpunkt** die Begrenzung der zur Verfügung stehenden Energie durch **Vorgabe** von **statischen** oder **dynamischen** Maximalwerten. Die definierte Energiemenge wird dann durch Algorithmen an die einzelnen Fahrzeuge verteilt. Der **Zugang zu der Ladeinfrastruktur** erfolgt mit **Hilfe von RFID-Dongle**,

Folgende Themenschwerpunkte wurden bearbeitet:

- Abbildung der existierenden Topologie der Energieversorgung im System
- Begrenzung der Energieabgabe entsprechend den Vorgaben Realisierung der Nutzungsprozesse
- Kopplung mit zentralen Flottenmanagementsystem von Opel zur automatisierten Übernahme der Fahrzeugdaten
- Nachweis Eigenverbrauch – Vermeidung EEG-Umlage

die im System verwaltet werden. Auf Basis dieser **RFID-Dongle** werden die **Nutzungen autorisiert** und entsprechend den Vorgaben von Opel in monatlichen Berichten dokumentiert. Ein Dongle kann im System einem Fahrzeug zugeordnet werden, bzw. wird bei Fahrzeugtausch automatisiert auf das neue Fahrzeug übertragen. Die Fahrzeugdaten werden automatisiert aus dem zentralen Flottenmanagementsystem von Opel übernommen.

Zur **Vermeidung der EEG-Umlage** für den von Opel im eigenen Kraftwerk produzierten Strom ist eine Unterscheidung zwischen **Eigenverbrauch** und **Drittverbrauch** (Dienstwagenfahrer und Externe Dritte) erforderlich. Die Dokumentation des Drittverbrauchs erfolgt auf Basis von Verbrauchsnachweisen, die im 15 min-Takt automatisiert an das Energiemanagement System von Opel übertragen werden.

Lessons learnt

Die gewählte Lösungsstruktur, bestehend aus einer konfigurierbaren Topologie, auf der definierbare Verteilgorithmen die Energieverteilung steuern, hat sich im Laufe des Projektes bewährt. Damit wurde sichergestellt, auf Veränderungen im Nutzungsverhalten flexibel reagieren zu können.

Die Anbindung der Ladestationen unterschiedlicher Hersteller, die jeweils über Mobilfunk (Mobile VPN-Anbindung) an das zentrale Steuerungssystem angebunden sind, hat sich im Laufe des Projektes bewährt. Schwankungen des Mobilfunknetzes konnten, sofern vorhanden, durch die getroffene Konzeption (Offlinefähigkeit) ausgeglichen werden und gefährdeten zu keiner Zeit die Nutzerzufriedenheit oder die Einhaltung der Maximalwertvorgaben.

Die Steuerung der Ladestationen (Lastmanagement) über das Standardprotokoll OCPP musste mit jedem Hersteller in einem Kompatibilitätstest abgesichert werden, alle Hersteller konnten schnell erforderliche Anpassungen durch Firmware-updates bereitstellen.

„Die vielfältigen Fahrleistungsbedarfe und die komplexen Wechselwirkungen zwischen Fahrverhalten, Ladebedarf und Ladeinfrastruktur-Verfügbarkeit lassen sich sehr gut mit einem statistischen, agentenbasierten Ansatz beschreiben und simulativ bewerten“

Ziel des Teilprojekts

Eine Simulationsumgebung, die die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge abbildet, zu entwickeln und aufzubauen, war Ziel des Teilprojektes am Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik (FSG) der Universität Kassel. Neben der Interaktion von Ladepunkten und Elektrofahrzeugen

sollten auch die Energieflüsse und leistungsbegrenzende Maßnahmen betrachtet und analysiert werden. Zur Validierung der Simulation dienten reale Daten aus der neu entstandenen Parkplatz-Ladeinfrastruktur der Opel Automobile GmbH. Durch die Skalierbarkeit des Modells lassen sich verschiedene Szenarien für zukünftige Ladeinfrastrukturen durchspielen.

Herangehensweise

Im ersten Schritt wurden die Rahmenbedingungen für die Simulationsumgebung definiert. Die Simulationsumgebung wurde mittels objektorientierter Programmierung in MATLAB implementiert. Aus verschiedenen Modellierungsmöglichkeiten wurde die agentenbasierte Modellierung zum Abbilden der

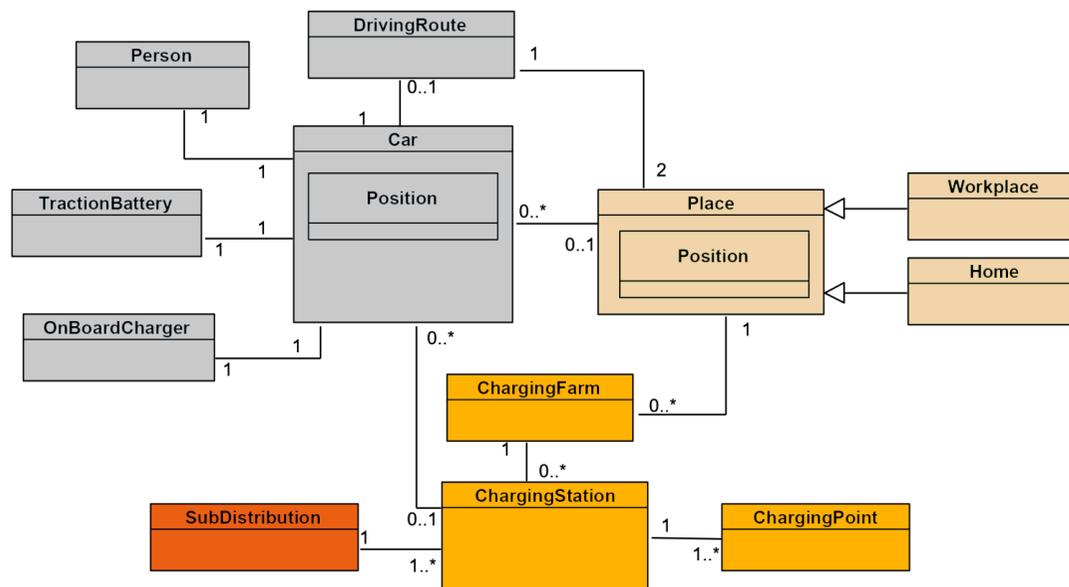
Ladeinfrastruktur ausgewählt. Die einzelnen Simulationskomponenten (Elektroautos, Ladepunkte, etc.) werden durch Objekte dargestellt und agieren anhand von vordefinierten Methoden miteinander.

Für die Implementierung der Simulationsumgebung wurde ein Klassendiagramm aller Klassen und deren jeweiligen Parametern und Funktionen erstellt. Das Simulationsmodell besteht aus Klassen, wie z. B. Fahrzeuge, Ladesäulen, Ladepunkte, etc., welche über definierte Schnittstellen und Funktionen ihre Werte austauschen. Einige Klassen entsprechen Agenten, welche als Rechenmodelle angesehen werden können. Zur Ausführung einer Simulation wurde eine Szenario-Datei erstellt, in welcher sämtliche Parameter wie beispielsweise Ladeleistungen, Batteriekapazität, Strombegrenzungen, Fahrzeuggeschwindigkeiten, Ladestrategien von Ladesäulen usw. eingestellt wurden.

Für die Erstellung von Kilometerfahrleistungen der Fahrzeuge wurde ein Modell erstellt, welches anhand von realen Fahr-

daten aus der Auto21-Studie der Universität Winnipeg validiert wurde. Für die Ladeprofile wurde ein einfaches Lastmanagement

VEREINFACHTE DARSTELLUNG DES KLASSENDIAGRAMMS

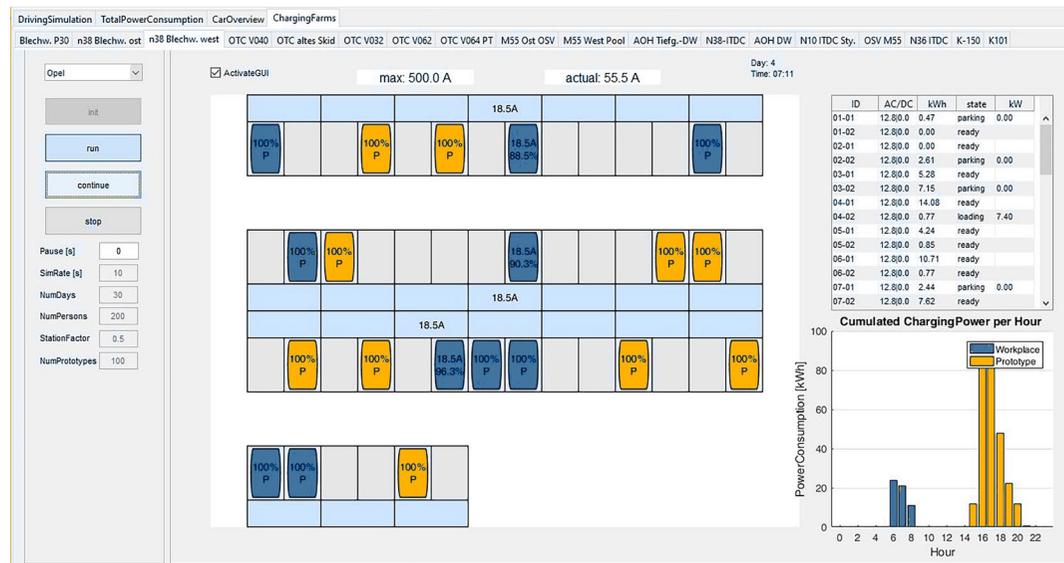


implementiert, welches abhängig von den Strombegrenzungen der einzelnen Ladestationen und Unterverteilungen den Strom

an den Ladepunkten limitiert. Durch die Zuordnung der Kilometerfahrleistungen sowie der vielen weiteren Parameter der

verschiedenen Klassen lassen sich mit dem Modell **sehr komplexe Simulationen** ausführen, wobei sämtliche Daten, wie Fahrstrecken, Ladeenergien, Anzahl an Ladungen usw., zur späteren Auswertung aufgezeichnet werden.

GRAFISCHE OBERFLÄCHE: PARKPLATZANSICHT



Ergebnisse

Anhand des validierten Simulationsmodells wurden **verschiedene Szenarien zum Ausbau der Ladeinfrastruktur simuliert** und analysiert. Um die öffentliche Ladeinfrastruktur in Hessen darzustellen, wurden für die **drei Regierungsbezirke (Kassel, Gießen, Darmstadt)** Kennzahlen zum Bestand von öffentlichen Ladepunkten ermittelt. Urbanisierungsgrade wurden ebenfalls für die drei Bezirke festgelegt, anhand derer Simulationsstudien durchgeführt wurden.

In folgender Grafik sieht man eine **Simulation für 1000 Fahrzeuge und 30 Tage** im

Regierungsbezirk Kassel. Neben bestimmten Fahrprofilen wurden auch die Ladestrategien der Fahrzeuge festgelegt. Interessant ist beispielsweise das **Verhältnis von Elektrofahrzeugen zu Ladepunkten**, welches in dieser Simulation bei maximal 148 gleichzeitigen Ladungen, etwa 6,75 Elektrofahrzeugen entspricht.

Durch eine Skalierung der Fahrzeuganzahl können ebenso Aussagen über zukünftige Szenarien getroffen werden.

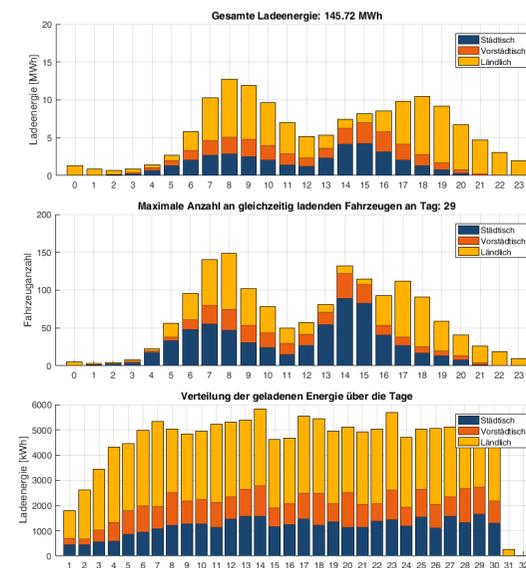
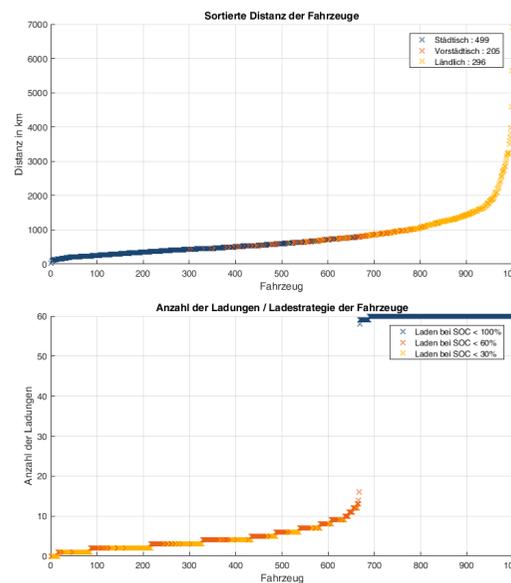
Lessons learnt

Das Simulationsmodell ist in der Lage eine reale Ladeinfrastruktur nachzubilden. Durch die Anpassung von verschiedenen Parametern lassen sich unterschiedlichste Szenarien abbilden und somit sehr komplexe Simulationen ausführen. Durch die einfache Skalierbarkeit der Simulation mit-

hilfe der agentenbasierten Modellierung eignet sich das Modell auch für die

Prognose von künftigen Ladeinfrastruktur-Ausbauszenarien.

ERGEBNISDARSTELLUNG EINER SIMULATION MIT 1000 FAHRZEUGEN FÜR DEN REGIERUNGSBEZIRK KASSEL ÜBER 30 TAGE



„Mit der Bereitstellung von Flexibilität kann die Ladeinfrastruktur im Energiesystem der Zukunft netzdienlich eingesetzt werden.“

Ziel des Teilprojekts

Im Beitrag des Fachgebiets Mikroökonomik und empirische Energieökonomik der Universität Kassel wurden die technischen Ergebnisse des E-Mobility-LAB Hessen in den energiewirtschaftlichen Kontext gesetzt. Dabei wurden insbesondere die Rahmenbedingungen für E-Mobilität zur Erbringung netzdienlicher Flexibilität näher beleuchtet.

Neben der generellen Einordnung in den Stand der Wissenschaft wurden zwei Aspekte detailliert bearbeitet:

- Die Übertragbarkeit des betrachteten Reallabor Use Cases auf ein öffentliches Verteilnetz
- Die Auswirkung von Flexibilitätsanforderungen auf den Nutzungskomfort von Privathaushalten

Obwohl beide Aspekte verschiedene Akteure (Netzbetreiber und Privathaushalte) im Fokus haben, sind sie durch die übergeordnete Fragestellung verbunden, durch welche Flexibilitätsmechanismen E-Mobilität in das Energiesystem der Zukunft integriert werden kann.

Herangehensweise

Die Basis der Untersuchungen bildet eine ausführliche Literaturlauswertung.

Insgesamt wurden **110 Literaturbeiträge** in den Bereichen Elektromobilität und Ladeinfrastruktur, Systemauswirkungen, Flexibilität im Energiesystem, regulatorische sowie wirtschaftliche Aspekte, ausgewertet. Basierend auf dem Stand der Wissenschaft wird insbesondere der theoretische Ausgestaltungsspielraum für die Gestaltung von Anreizmechanismen für netzdienliche Flexibilität analysiert.

Die theoretischen Grundlagen wurden in den praktischen Kontext gesetzt, indem die Übertragbarkeit der im Projekt umgesetzten **Use Cases** auf Verteilnetze im Kontext der regulatorischen Rahmenbedingungen untersucht wurde. Im aktuellen gesetzlichen Rahmen ist dabei insbesondere die Möglichkeit zur netzdienlichen Nutzung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen (nach §14a EnWG) zu nennen. Daher wurde der aktuelle Branchendiskurs zur Weiter-

entwicklung dieser Regelung zunächst theoretisch beleuchtet und abschließend mittels einer **Simulationsstudie** in **Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet FSG der Universität Kassel** untersucht.

Die Simulationsstudie untersuchte den Komfortverlust einzelner E-Fahrzeugnutzer durch zeitliche Verzögerungen des Ladestarts und der geplanten Abfahrt. Dabei wurden verschiedene Durchdringungsszenarien sowie unterschiedlich starke Eingriffe in die Ladezeiten simuliert.

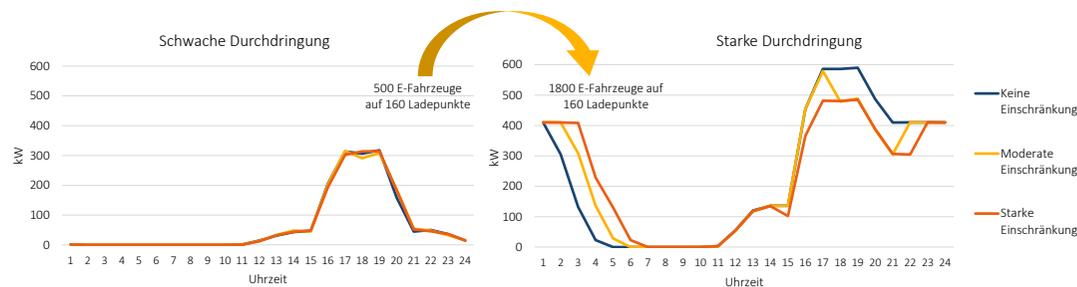
Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulationsstudie zeigen, dass auch bei verhältnismäßig hoher Durchdringung mit E-Fahrzeugen und verhältnismäßig hohen Flexibilitätsanforderungen das Mobilitätsverhalten der Haushalte nicht eingeschränkt werden muss. Die **Aus-**

wertung der Wartezeiten ergab, dass keine der geplanten Fahrten in den Simulationen verschoben werden musste. Teilweise kam es jedoch zu **Wartezeiten zu Beginn des Ladevorgangs**, die mit zunehmender Durchdringung und Flexibilisierung zunehmen.

Die Abbildung zeigt die **zeitliche Veränderung der Ladeleistung** bei schwacher und starker Durchdringung von E-Fahrzeugen bezogen auf alle drei Flexibilitätsanforderungen (keine, moderate und starke Einschränkung). Während bei schwacher Durchdringung kaum Unterschiede zwischen den variierenden Flexibilitätsanforderungen zu erkennen sind, ergibt sich bei starker Durchdringung eine deutlichere Verschiebung der Ladezeiten bis in die Morgenstunden. Dennoch können alle Ladevorgänge abgeschlossen und die **Mobilität gewährleistet** werden.

VERGLEICH ZWISCHEN SCHWACHER UND STARKER E-FAHRZEUGDURCHDRINGUNG BEZÜGLICH DER FLEXIBILITÄTSANFORDERUNGEN. DIE MODERATE EINSCHRÄNKUNG ENTSPRICHT EINER 50 %-IGEN LADELEISTUNG UND ENTHÄLT EIN ZEITFENSTER ZWISCHEN 17–21 UHR. DIE RESTRIKTIVE EINSCHRÄNKUNG ENTSPRICHT EBENSO EINER 50 %-IGEN LADELEISTUNG UND ENTHÄLT EIN ZEITFENSTER ZWISCHEN 14–22 UHR.



Lessons learnt

Die richtige Ausgestaltung der Anreizmechanismen zur Nutzung netzdienlicher Flexibilität sind ein Schlüssel für die erfolgreiche Integration von E-Mobilität in die Verteilnetze. Die im Projekt erprobten Use Cases bedürfen einer Weiterentwicklung der heutigen Mechanismen. Aus technischer Sicht ist dabei grundsätzlich ein hoher Flexibilisierungsgrad erreichbar, ohne die individuelle Mobilität einzuschränken. Weitere Betrachtungen hinsichtlich der Akzeptanz bei der Ausgestaltung von detaillierten Flexibilitätsanreizsystemen sind notwendig.

„Der Einbezug des persönlichen Kontext wie die Aufenthaltsdauer am Ladeort sowie dem zukünftigen Mobilitätsbedarf bis zur nächsten Ladung ermöglichen eine bedarfsgerechte Ladungssteuerung.“

Ziel des Teilprojekts

Ziel von ComTec dem Fachgebiet Kommunikationstechnik der Universität Kassel war die Erforschung von Voraussagen für die Ladedauer und benötigte Lademenge. Ist die verfügbare Zeit zum Laden eines E-Mobils durch eine Voraussage bekannt, kann die Ladeleistung entsprechend angepasst

werden. Ist die Fahrtstrecke bis zum nächsten Ladevorgang durch eine Voraussage bekannt, kann damit die benötigte Energiemenge beim Laden angepasst werden.

Breibt man die Ladung von E-Mobilen wie bisher, mit so viel Leistung wie möglich laden, so voll wie möglich laden, kann es zu Engpässen kommen, zum Beispiel wenn mehrere

Fahrzeuge an einem Netzzugangspunkt laden müssen. Bei einem Engpass wird entweder die Ladung verweigert oder die Leistung der Ladenden angepasst. Das kann für den einen bedeuten er bekommt nicht genügend Ladung, während ein anderer die Ladung, die er bekommt, nicht wirklich gebraucht hätte.

Mit einer Voraussage kann man bedarfsgerecht laden und das Energienetz entlasten.

Herangehensweise

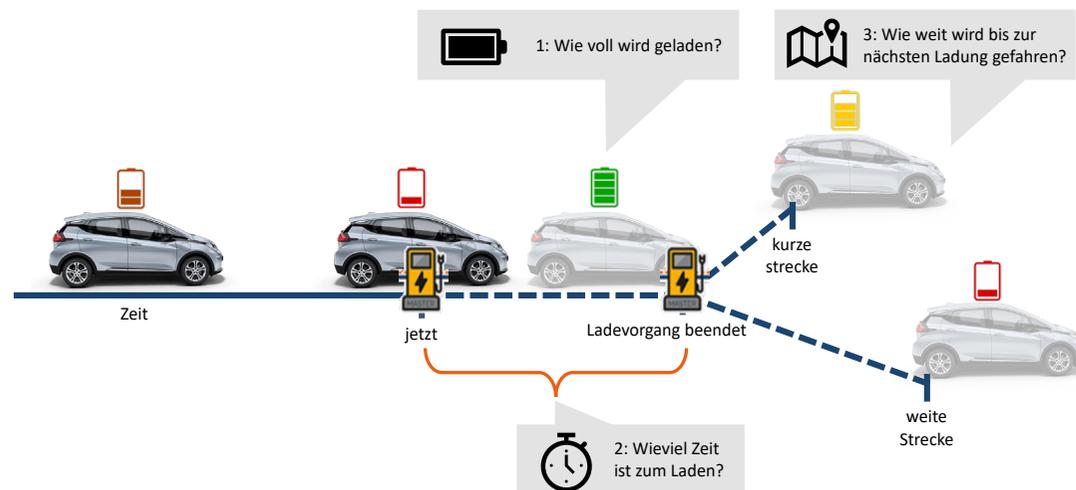
Im Rahmen des Projektes E-Mobility-LAB haben wir eine ganze Reihe von Vorhersagealgorithmen auf ihre Tauglichkeit und ihre speziellen Aspekte hin untersucht. So haben wir zum Beispiel die sogenannte Warenkorbanalyse genutzt, um die zeitlichen Aspekte der Voraussage zu untersuchen. Im letzten Schritt haben wir die verschiedenen Aspekte in einen eigenen Algorithmus integriert.

Der von ComTec entwickelte „Alignment for Context Prediction“ Algorithmus ist in der Lage basierend auf einer Historie eines Nutzers zukünftige Ereignisse mit einer gewissen Genauigkeit vorauszusagen. Besonders an dem Algorithmus ist, dass er mit menschlichen Verhaltensabweichungen wie einmaligen Ausnahmen oder einmalige Auslassungen gut umgehen kann. Das macht ihn besonders geeignet für eine Voraussage im

Bereich Ladeverhalten. Der Algorithmus wurde im Rahmen des Projektes E-Mobility-LAB um zwei Aspekte angepasst: Zeitliche Parameter und variable Metriken. Bisher haben wir uns auf die Voraussage von Ereignissen, nicht jedoch auf die genauen zeitlichen

meter und variable Metriken. Bisher haben wir uns auf die Voraussage von Ereignissen, nicht jedoch auf die genauen zeitlichen

DIE FUNKTION DES ‚ALIGNMENT FOR CONTEXT PREDICTION‘ ALGORITHMUS





Parameter (wann, wie lange) bei der Voraussage konzentriert. Mit der Zeitvoraussage ist es möglich jeder Voraussage einen Wert ‚wie lange‘ zu geben. Die Anpassung der Metriken war nötig, um sich auf die Besonderheiten beim Ladenverhalten einzustellen: Bestimmte Ereignisse sind unwichtig in Bezug auf das Laden, andere sehr wichtig. Mit einer **variablen Metrik** kann man das im Algorithmus widerspiegeln.

Im Projekt wurden **Ladedaten über mehrere Fahrzeuge hinweg erhoben** und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Dabei wurden die **Zeiten der Ladungen** sowie die **Ladungsmengen** erfasst. Diese Daten wurden in die angepassten Algorithmen gegeben.

Ergebnisse

Unsere Untersuchungen haben die prinzipielle Machbarkeit einer Voraussage

der Zeit zum Laden und der anschließenden Zeit bis zum Wiederladen gezeigt. Auch konnten die **Voraussagegenauigkeiten** durch die **Hinzunahme von zusätzlichen Daten**, etwa eine **geclusterte Ladelänge** und die geladene Leistung, **gesteigert** werden. Außerdem konnte die **Voraussagegenauigkeit** mit **angepassten Metriken** auf die Ladepunkte hin **optimiert** werden.

Lessons learnt

Für eine bedarfsgerechte und gleichzeitig netzentlastende Ladung von E-Mobilen ist eine Voraussage der benötigten Ladungsmenge und verfügbaren Ladezeit unbedingt notwendig. Dabei ist die Genauigkeit der Voraussagen für die Akzeptanz solcher entscheidend. Es hat sich gezeigt, dass eine Anpassung der Metrik eine Verbesse-

rung der Voraussagen mit sich bringt. Für den nächsten Schritt an Verbesserungen ist der Einbezug weiterer Sensoren nötig. So ist zum Beispiel der Einbezug der im Smartphone oder der Smartwatch eines Fahrzeugnutzers verbauten Sensoren denkbar. Diese liefern in Kombination mit den Ladedaten des Fahrzeuges ein großes Potential die Voraussage noch deutlich zu verbessern.

KONSORTIALFÜHRER

Universität Kassel

Fachgebiet Fahrzeug-
systeme und Grundlagen
der Elektrotechnik (FSG)
Prof. Dr. Ludwig Brabetz
Tel.: +49 561 804-6232
brabetz@uni-kassel.de

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Fachgebiet Mikroökonomik
und empirische Energie-
ökonomik (MEE)
Prof. Dr. Heike Wetzel
Tel.: +49 561 804-7750
heike.wetzel@uni-kassel.de

Fachgebiet Kommunikations-
technik (ComTec)
Prof. Dr. Klaus David
Tel.: +49 561 804-6314
david@uni-kassel.de

PROJEKTPARTNER

FLAVIA IT-Management GmbH

Georg Schmitt
Tel.: +49 174 468 9395
georg.schmitt@flavia-it.de



Opel Automobile GmbH

Olaf Wallich
Tel.: +49 6142 69 22 841
olaf.wallich
@stellantis.com



PLUG'n CHARGE GmbH

Dr. Christian Kahl
Tel.: +49 5624 922 008 6
c.kahl@plugncharge.de



UNTER BETEILIGUNG VON

House of Energy e.V.

Dr. Dorothee Walther
Tel.: +49 561 953 79 792
d.walther
@house-of-energy.org



Gefördert durch



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



EUROPÄISCHE UNION
Investition in Ihre Zukunft
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung