

Abschlussbericht

E-Mobility LAB Hessen

Förderung aus den Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

Bewilligungszeitraum / Berichtszeitraum
01.10.2018 bis 30.09.2021

Gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

vorgelegt von

Universität Kassel (Konsortialführer)

mit Beiträgen der Projektpartner:

- Universität Kassel
 - o Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik (UniK-FSG)
 - o Fachgebiet Kommunikationstechnik (UniK-ComTec)
 - o Fachgebiet Mikroökonomik und empirische Energieökonomik (UniK-MEE) (ehem. Fachgebiet Volkswirtschaftslehre mit Schwerpunkt dezentrale Energiewirtschaft (UniK-DEW))
- Opel Automobile GmbH (Opel)
- FLAVIA IT-Management GmbH (Flavia)
- PLUG'n CHARGE GmbH (PnC)

1. Ausgangslage und geplante Zielsetzung des Vorhabens

(gemäß des gestellten und bewilligten Antrags)

Elektromobilität spielt eine zentrale Rolle für die Energiewende. Zugleich hat sie enormen Einfluss auf die elektrischen Netze. Bisher fehlten jedoch realitätsnahe Daten. Diese Lücke schließt das Projekt E-Mobility-LAB der Unternehmen Opel, Flavia, Plug'n Charge und der Universität Kassel. Die große Entwicklungsflotte von Opel erlaubte die Vorwegnahme einer Ladesituation, wie sie erst 2035 zu erwarten ist. In dieser einmaligen Situation wurden intelligentes Laden, intelligente Netze und intelligente Märkte praxisnah erprobt. Die gesammelten Daten ermöglichten die Simulation von Ladedaten für künftige Alltagssituationen in einer neuen Qualität. In diesem flexiblen und kostengünstigen „Hybridlabor“ konnten wichtige Erkenntnisse für einen optimierten Ausbau der Ladeinfrastruktur in Hessen abgeleitet und nicht zuletzt die Anforderungen an das elektrische System definiert werden.

Im Vorhaben stand die Betrachtung der „smarten“ Systemkomponenten Erzeugung, Markt, Netz, (Zwischen-) Speicherung und Laden von Elektrofahrzeugen im Gesamtkontext im Vordergrund. Hierbei wurde untersucht, welche Art und Ausprägung der „Smartness“ bei gegebenem, nutzerdefinierten Anforderungsprofil an die Fahrzeuge zu einem minimalen Ausbau der vorhandenen elektrischen Netze führt. Daraus lassen sich die erforderlichen künftigen Eigenschaften der einzelnen Komponenten ableiten.

Für das Vorhaben wurden keine Meilensteine definiert. Die Arbeiten im Vorhaben gliedern sich in 14 Arbeitspaketen (s.a. Vorhabenbeschreibung).

Indikatoren wurden für das Vorhaben nicht definiert.

2. Berichte der Teilprojekte

In dem vorliegenden Bericht werden alle Arbeiten und Ergebnisse aus dem Projekt, jeweils zu den Punkten:

- Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum
- Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?
- Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

nach Arbeitspaketen gegliedert, vorgestellt.

Darüber hinaus ist ein ausführlicher wissenschaftlicher Bericht von den universitären Partnern, die das Projekt wissenschaftlich begleitet haben, erstellt worden. Eine Ergebnisbroschüre, für die breite Öffentlichkeit bestimmt, stellt kurz das Projekt vor und berichtet in kompakter Form über die erzielten Ergebnisse.

2.1. Teilprojekt „Energetische und ökonomische Untersuchung und Bewertung künftiger Ladeinfrastrukturen“ (UniK)

2.1.1. UniK-FSG:

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

- **AP0.3: Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung:** In Zusammenarbeit mit den einzelnen Projektpartnern wurden Systemgrößen definiert, die einerseits durch den realen Betrieb der Ladeinfrastruktur bereitgestellt und andererseits in das Simulationsmodell implementiert werden können. Die Bereitstellung der Daten erfolgt über einen Datenexport aus dem IT-Backend. Der Energieaustausch in der Ladeinfrastruktur wird durch eine Ladestrategie umgesetzt. In der Simulationsumgebung wird diese Ladestrategie dem realen Vorbild nachempfunden und der entsprechende Energieaustausch geregelt.
- **AP3.1: Entwicklung von Ladeszenarien mit hinterlegtem Nutzerverhalten:** Anhand von öffentlich verfügbaren Fahrdaten eines Projekts der Universität von Winnipeg (Auto21), welches Fahrprofile von Fahrzeugen gesammelt hat, konnten statistische Modelle zum Nutzerverhalten abgeleitet und implementiert werden. Freiwillige Fahrer aus Winnipeg/Kanada und Umgebung haben GPS-Loggeräte erhalten. Sie sollen die Daten Ihrer Fahrten aufzeichnen lassen (Datum, Zeit, Geschwindigkeit, Koordinaten der Start- und Endpunkte der Fahrten). Die Erhebung hat in den Jahren 2008 bis 2011 stattgefunden. 123 Fahrer haben sich beteiligt. Die Fahrer sind über eine Nummer CAR_ID gekennzeichnet. Bei Auto21 hatte die Untersuchung des Fahr- und Parkverhaltens der Fahrer das Ziel, zum einen die benötigte Kapazität der Batterie (der Fokus lag eher auf Hybrid-Fahrzeugen), um möglichst viele Fahrten elektrisch zurückzulegen, zu bestimmen und zum anderen die benötigte Infrastruktur (wo und wie viele Ladepunkte vor allem in Parkhäusern) abzuschätzen. Die Datendichte (wie lange und wie oft wurde geloggt) und die Datenqualität (plausible Fahrgeschwindigkeiten, Ortung etc.) ist sehr heterogen. Bei einigen Fahrern wurden nur ein paar Tage, bei anderen wiederum mehrere hundert Tage aufgenommen. Zum Teil sind die Fahrten nicht vom Beginn an aufgenommen worden. Umfangreiches Filtern war nötig, um daraus möglichst viele plausible einzelne Fahrten (Trips) zu gewinnen. Um die Ladeanforderung für einzelne Nutzergruppen festzulegen bedarf es der Kombination aus Fahrdaten (Projekt Uni Winnipeg) und der Ladedaten (Projekt E-Lab). Neben den verschiedenen Attributen der Elektrofahrzeuge wie Batteriekapazität, Lademöglichkeiten, etc. werden ebenfalls die Nutzergruppen mit eigenständigen Fahrprofilen sowie der Zeitpunkt der Nutzung und Ladung von Elektrofahrzeugen berücksichtigt. Mit den Fahrprofilen aus dem Reallabor des Projektpartners Opel konnten die Fahrkilometerdaten um eine weitere Nutzergruppe erweitert werden. Hierbei wurden neben der Dauer der Parkplatzbelegung, Startzeitpunkt der Ladung, ID und einige Fahrzeugdaten sowie die Gesamtladeleistung für diesen Ladevorgang gespeichert. Diese Daten dienen der Validierung der Simulationsumgebung. Durch die Veränderung von verschiedenen Parametern der Fahrzeuge, wie z.B. der Batteriekapazität oder der

Ladeleistung der OnBoard-Chargern ist es möglich, hieraus weitere Benutzergruppen abzuleiten.

- **AP 3.2.1 Architektur und Schnittstellen der Simulationsumgebung:** Aus einer Auswahl an Modellierungsmöglichkeiten wurde die agentenbasierte Modellierung zum Abbilden der Ladeinfrastruktur ausgewählt. Die einzelnen Simulationskomponenten (Elektroautos, Ladepunkte, etc.) werden durch Objekte dargestellt und interagieren anhand von vordefinierten Methoden miteinander. Für die Implementierung der Simulationsumgebung wurde ein Klassendiagramm aller Klassen und den jeweiligen Parametern und Funktionen erstellt. Das Simulationsmodell besteht aus verschiedenen Klassen, wie z.B. Fahrzeuge, Ladesäulen, Chargingfarmen, etc., welche über definierte Schnittstellen und Funktionen ihre Werte austauschen. Einige Klassen entsprechen hierbei Agenten, welche als Rechenmodelle angesehen werden können. Das Simulationsmodell ermöglicht es, verschiedene Betriebsstrategien anzuwenden, unter anderem das real aktive Lastmanagement von Opel/Flavia. Sämtliche Werte wie beispielsweise Ladeleistungen der Fahrzeuge, Ladepunkte, Fahrkilometer u.v.m. werden während der Simulation gespeichert und nachträglich ausgewertet. Zur Auswertung können verschiedenen Bewertungskriterien verwendet werden, wie beispielsweise die maximale Anzahl gleichzeitig ladender Fahrzeuge. Hieraus kann ein Faktor Fahrzeuge pro Ladepunkt berechnet werden. Mit diesem Kriterium können Simulationen mit unterschiedlichsten Parametern verglichen werden.
- **AP 3.2.2 Implementierung der Simulationsumgebung:** Die Simulationsumgebung wurde mittels objektorientierter Programmierung in Matlab implementiert. Hierbei wurde ein agentenbasierter Ansatz gewählt, bei dem die verschiedenen Klassen innerhalb des Modells eigenständig agieren und sämtliche Parameter und Variablen sehr einfach geändert werden können um unterschiedliche Szenarien zu simulieren. In den Klassen der jeweiligen Agenten sind Rechenmodelle hinterlegt. Für den Verbrauch der Fahrzeuge wurde ein Modell erstellt, welches aus realen Fahrdaten, den Kilometerfahrleistungen der Fahrzeuge, berechnet und mittels des Durchschnittsverbrauchs ein Verbrauchsprofil der verschiedenen Fahrzeuge pro Tag erstellt wurde. Für die Ladeprofile wurden verschiedene Lastmanagement-Algorithmen implementiert und vergleichend bewertet, welche abhängig von den Strombegrenzungen der einzelnen Ladestationen und Unterverteilungen den Strom an den Ladepunkten limitieren. Innerhalb des Simulationsmodells werden Daten über die definierten Datenschnittstellen und Funktionen zwischen den verschiedenen Klassen ausgetauscht. Die Simulation kann über eine ebenfalls in Matlab erstellte grafische Benutzeroberfläche gesteuert werden. Hierbei können verschiedene Szenarien gewählt und die Anzahl an Fahrzeugen, simulierten Tagen und weitere Parameter eingestellt werden. Ebenso werden während der Simulation wichtige Daten grafisch dargestellt, wie zum Beispiel die Ladeenergie verschiedener Ladestationen.
- **AP 3.2.3 Modellierung und Validierung:** Für die Erstellung der Modelle wurden Simulation-Files verwendet in denen sämtliche Parameter der jeweiligen Simulation eingestellt werden können. Neben der Anzahl der Fahrzeuge und sämtlichen Parametern wie der Kilometerfahrleistungen, OnBoard-Chargern, Batteriekapazität, werden hier ebenso die Anzahl der Ladesäulen, Ladepunkte und deren Verteilung auf Parkplätzen festgelegt. Über ein Lastmanagement wird die

Strombegrenzung der einzelnen Ladestationen sowie der Unterverteilungen festgelegt, sowie eine Methode definiert, nach welcher der Strom an die Fahrzeuge verteilt wird. Zur Validierung wurde ein Modell erstellt, was anhand der Daten aus dem Opel Reallabor erstellt wurde. Hierbei wurde die komplette Struktur der Opel-Parkplätze in einem Modell nachgestellt. Neben den Absicherungen der Ladepunkte, Stationen sowie der Unterverteilungen wurde auch das bei Opel verwendete Lastmanagement nachgestellt, welches eine Reservierung von 6A pro Ladepunkt vorsieht und nach dem First Come, First Served-Prinzip arbeitet. Die hieraus resultierenden Simulationsergebnisse wurden mit den Ladeleistungen der jeweiligen Opel-Aufzeichnungen abgeglichen, wobei eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse erreicht werden konnte.

- **AP 3.3 Einsatz der Simulationsumgebung und Bewertung künftiger Szenarien:** In diesem Arbeitspaket wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet MEE der Universität Kassel eine Simulation erstellt, welche verschiedene Benutzerklassen mit unterschiedlichen Fahrprofilen und Fahrkilometerleistungen gegenüberstellt. Hierbei wurden ebenso unterschiedliche Strombegrenzungen von Lastmanagements zu bestimmten Uhrzeiten festgelegt (zeitliche Ladesteuerung). Aus den Ergebnissen wurden seitens MEE verschiedene Auswertungen bzw. Netzdienlichkeit, Wirtschaftlichkeit sowie weiteren ökonomischen Aspekten vorgenommen.
- **AP 3.6.1 Durchführung von Simulationsstudien:** Für eine Simulationsstudie zum Abgleich der aktuellen Ladeinfrastruktur in Hessen wurde zunächst anhand von statistisch erhobenen Daten die Kennzahl der Elektrofahrzeuge pro Ladepunkt in Hessen ermittelt. Die Anzahl an Elektrofahrzeugen betrug im Januar 2021 in Hessen 24.300. Die Anzahl an öffentlichen Ladepunkten belief sich im Februar 2021 in auf 2.775. Für Hessen ergibt sich eine Kennzahl von 8,8 Elektrofahrzeugen pro Ladepunkt. Um eine Vergleichbarkeit der Regionen innerhalb von Hessen zu erreichen wurden die drei Regierungsbezirke als einzelne Standorte zur Bewertung festgelegt. Anhand der Analyse der Einwohnerzahlen in den Städten und Landkreisen der einzelnen Regierungsbezirke wurden urbanisierungsgrade festgelegt. Diese helfen bei der Zuordnung von Elektrofahrzeugen in die Gruppen ländlich, vorstädtisch und städtisch. Bei der Generierung der Fahrkilometer bekommt die Städtische Gruppe eher kleine durchschnittliche Fahrleistungen, die Ländliche Gruppe eher die größeren durchschnittlichen Fahrleistungen und die Vorstädtische Gruppe erhält sowohl kleine als auch große durchschnittliche Fahrleistungen. Für alle drei Gruppen werden zwei Fahrrouten pro Tag festgelegt. Die Fahrgeschwindigkeit wurde für die Gruppen Städtisch/Vorstädtisch auf 40 km/h und für die Gruppe Ländlich auf 70 km/h festgelegt. Die Elektrofahrzeuge Laden mit einem Onboard-Charger mit einer Leistung von 7,36 kW. Für die Batteriekapazitäten wurden 4 verschiedene Größen zur Auswahl gestellt (50, 60, 80 und 100 kWh). Die Größe der Batteriekapazität richtet sich nach der maximalen Fahrstrecke der einzelnen Fahrzeuge, dabei wird darauf geachtet, dass die längste Fahrstrecke mit der zur Verfügung stehenden Batteriekapazität geschafft wird. Um ein möglichst natürliches Ladeverhalten zu implementieren wurden drei Kategorien von Ladeverhalten erstellt und zufällig auf die Fahrzeuge verteilt. Bei der ersten Kategorie von Ladeverhalten wird das Fahrzeug geladen, sobald der Batteriestand unter 100 % fällt. In der zweiten Kategorie wird nur geladen, wenn

der Batteriestand unter 60 % fällt oder das nächste Fahrziel nicht erreicht werden kann. In der dritten Kategorie wird nur geladen, wenn der Batteriestand unter 30 % fällt oder das nächste Fahrziel nicht erreicht werden kann. Mit diesen Parametern wurde die Simulation für die einzelnen Regierungsbezirke über eine Dauer von 30 Tagen und mit jeweils 1000 Elektrofahrzeugen durchgeführt. Im Verlauf der Simulation ergab sich eine maximale Anzahl an Fahrzeugen die gleichzeitig geladen haben. Im Regierungsbezirk Kassel haben 148 Fahrzeuge gleichzeitig geladen und dementsprechend erhält man eine Kennzahl der Fahrzeuge pro Ladepunkt von 6,75. Im Regierungsbezirk Gießen haben 157 Fahrzeuge gleichzeitig geladen und daraus erhält man die Kennzahl der Fahrzeuge pro Ladepunkt mit dem Wert 6,36. Im Regierungsbezirk Darmstadt haben 138 Fahrzeuge gleichzeitig geladen, dementsprechend erhält man die Kennzahl der Fahrzeuge pro Ladepunkt von 7,24. Die simulierten Werte zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem, in anderen Studien und Schätzungen, ermittelten Infrastrukturbedarf.

- **AP 3.6.2 Ausarbeitung von Empfehlungen:** Die erzielten Ergebnisse unter 3.6.1. zeigen, dass gemäß dem zu erwartenden Entwicklungsstand von Elektrofahrzeugen der nächsten Jahre mit einem Ladeinfrastrukturbedarf von 6 bis 7 Fahrzeugen pro Ladepunkt zu rechnen ist. Darüber hinaus konnte der durch die Elektromobilität entstehende mehr Energiebedarf ermittelt werden. Damit wird es möglich, der Strom, der durch die elektrischen Versorgungsnetze und die Energiequellen in der Zukunft bereitzustellen bzw. durch die Marktakteure zu berücksichtigen sein wird, zu beziffern. Mithilfe des Simulationsmodells konnte darüber hinaus der aktuelle Stand der vorhandenen Ladeinfrastruktur für Hessen dargestellt werden. Die Simulation bietet jedoch noch eine Vielzahl an Parametern zum Abgleich der Ladeinfrastruktur. Die Möglichkeit zur Erweiterung der Simulation bietet sich auch an, um Simulationsstudien für zukünftige Entwicklungen von Ladeinfrastrukturen durchzuführen. Neben der Anpassung von technischen Neuerungen wie größeren Batteriekapazitäten, leistungsfähigere Onboard-Chargern oder effizienteren Motoren können auch Verhaltensmuster wie das Fahr- und ladeverhalten in die Simulation implementiert werden.
- **AP 3.6.3 Lessons learned:** Mit dem Simulationsmodell, das während des Projekts entwickelt wurde und auf einem agenten-basierten Ansatz aufbaut, können sehr unterschiedliche künftige Ausbauszenarien der Elektromobilität flexibel abgebildet und durchgespielt werden. Je nach Anzahl der Fahrzeuge und der Ladesäulen, sowie deren Verteilungen, und Ausprägungen, wie Ladeleistungen oder Batteriekapazitäten können sich die Simulationsergebnisse deutlich unterscheiden. Mittels der Lastmanagements der Unterverteilungen können ebenso verschiedene Szenarien verglichen, sowie auch durch zeitlich begrenzte Limitierungen Energieerzeugerprofile in das Modell eingebracht werden und deren Effekte bewertet werden.

Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?

- Die Arbeiten wurden gemäß dem Zeitplan durchgeführt

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

- Keine

2.1.2. UniK-ComTec:

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

- **AP 0.3. Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung:** Die Festlegung und Definition der bereitzustellenden Daten, insbesondere hinsichtlich Inhaltes und Granularität, ist in Abstimmung mit den Projektpartnern erfolgt.
- **AP 3.5 Netzdienliche Ladesteuerung und Vorhersage des Nutzerverhaltens:** Die Untersuchung des Nutzerverhaltens und Erforschung von Vorhersageverfahren des individuellen Mobilitätsverhaltens ist abgeschlossen. Dafür wurden folgende Unterpunkte bearbeitet:
 - Erforschung von Vorhersageansätzen für das individuelle Mobilitätsverhalten auf Basis von Kontexten: Unterstützende Algorithmen wurden untersucht, um den Zeitaspekt genau voraussagen zu können. Wir haben die Warenkorbanalyse auf das Problem angewandt, um deren Vorteile zu nutzen.
 - Erforschung und Weiterentwicklung von Alignment Algorithmen zur Vorherzusage über die Nutzung von Elektrofahrzeugen: Der Alignment Algorithmus wurde um den Zeitpunkt und Zeitlängen einer Voraussage erweitert. Der Algorithmus ist gut für die Aufgabe der zukünftigen Kontexte von menschlichem Handeln geeignet. Allerdings mussten wir ihn um den Zeitaspekt erweitern, da dieser in der Aufgabenstellung (Wie lange muss/kann geladen werden? Wann kann wieder geladen werden? Wie weit ist die Fahrt bis zur nächsten Ladung?) eine bedeutende Rolle spielt. Außerdem wurden die Metriken im Voraussagealgorithmus angepasst. Die Metriken helfen verschiedene Ereignisse richtig beurteilen zu können. So sind manche Ausreißer aus gewohnten Mustern nicht so folgenreich für die Prädiktion wie andere Ausreißer. Des Weiteren wurden Kombinationen verschiedener Eingabegrößen implementiert, um die Genauigkeit der Vorhersage zu erhöhen. Eine Kombination von verschiedenen Sensoren hilft, mehr Wissen aus den Sensordaten für die Voraussage nutzbar zu machen.
 - Erarbeitung von Konzepten zur Nutzung der Vorhersageinformation für die Steuerlogiken, Service, Nutzerunterstützung und Demand Site Management: Ein Konzept die Voraussage Nutzerunterstützend zu gestalten wurde ausgearbeitet.
- Die Beachtung datenschutzrechtlicher Vorgaben bei Verfahren der Kontexterkenennung im Forschungsvorhaben wurde sichergestellt. Es wurde transparent dargestellt, inwieweit die Daten verwendet werden. Darüber hinaus wurden die Daten anonymisiert und pseudonymisiert. Weiter besteht ein enger Kontakt mit führenden Juristen (Prof. Roßnagel und Prof. Hornung)

im gemeinsamen wissenschaftlichen Zentrum für Informationstechnik-Gestaltung. Dort wurde in vielen Projekten zusammengearbeitet. Prof. Roßnagel und Prof. Hornung sind Experten für das deutsche und Europäische Datenschutzrecht und haben dieses mitgestaltet. Erfahrungen aus dieser Zusammenarbeit sind in die Gestaltung der Algorithmen eingeflossen.

Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?

- UniK-ComTec hat die anfängliche Verzögerung aufgrund der späten Genehmigung aufholen können. Allerdings ist auf Grund der Corona-Pandemielage das Arbeiten von zuhause nötig geworden, sowie Anpassungen an den geplanten Messungen (der Kontakt musste beschränkt / minimiert werden, das war im ursprünglichen Messablauf nicht vorgesehen, der Zugang zu den Entwicklungsrechnern wurde eingeschränkt).

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

- Die notwendig gewordenen Änderungen an den Messungen konnten kompensiert werden mit einem Mehreinsatz von Hiwi-Kräften. Die neue Homeoffice Situation, die den Zugang zu den leistungsstarken Rechnern für die Algorithmenentwicklung eingeschränkt hat, konnte durch den Einsatz mobiler Entwicklungsumgebungen ausgeglichen werden. Ein Umwidmungsantrag hierzu wurde genehmigt und die darin vorgeschlagenen Änderungen wurden umgesetzt.
- AP 0.3 Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung: Keine Probleme aufgetreten, planmäßig abgeschlossen.
- AP 3.5 Netzdienliche Ladesteuerung und Vorhersage des Nutzerverhaltens: Die aufgetretenen Probleme (späte Genehmigung/ veränderte Messungen durch die Corona-Pandemie) konnten erfolgreich gelöst werden, die Arbeiten wurden planmäßig abgeschlossen.

2.1.3. UniK-MEE (ehemals DEW):

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

- **AP 0.2. Konzeption E-Mobility-Lab Hessen:** Mitwirkung bei der Konzepterstellung zur Einbindung ökonomischer und energetischer Aspekte für die weitere Projektbearbeitung abgeschlossen.
- **AP 0.3. Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung:** Festlegung und Definition der bereitzustellenden Daten insbesondere hinsichtlich Inhaltes und Granularität für die weitere Bearbeitung abgeschlossen.

- **AP 2.2 Smarte Steuerung:** Literaturrecherche im Bereich monetärer und nicht-monetärer Nutzerpräferenzen einer smarten Steuerung/Ladeinfrastruktur abgeschlossen.
- **AP 3.3.3 Bilanzierung von Bedarf und Angebot:** Ergänzend zur Grundstruktur der Daten wurden Fachgespräche geführt, um die Bilanzierung von Bedarf und Angebot qualitativ zu bewerten. Für die Simulationsstudie wurden Nutzerszenarien in Abhängigkeit von Durchdringungsgrad und Flexibilitätsanforderungen formuliert und in das Modell der Kollegen des Fachgebiets FSG integriert. Die Simulationsergebnisse wurden hinsichtlich des Lastverschiebepotentials im zeitlichen Kontext ausgewertet.
- **AP 3.4 Bewertung im Kontext des künftigen energiewirtschaftlichen Systems (Smart Market):** Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Forschungsentwicklung des Smart Market unter dem Aspekt Ladeinfrastruktur, Flexibilität, Märkte für verteilnetzdienliche Flexibilität, Bepreisungs- und Tariflogiken abgeschlossen. Fortführung der Untersuchung der Netz- und systemdienlichen Nutzbarkeit des Flexibilitätspotentials von Elektrofahrzeugen abgeschlossen. Recherche und Auswertung über die Gesetzgebungsdebatte zur Integration von Ladepunkten als steuerbare Verbrauchseinrichtung (§ 14a EnWG) abgeschlossen. Die im AP 3.3.3 erhaltenen Simulationsergebnisse wurden in die Bewertung aufgenommen und unter dem Aspekt der Auswirkungen von Flexibilitätserbringung auf den Nutzungskomfort abschließend analysiert.

Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?

- AP 0.2. Konzeption E-Mobility-Lab Hessen: Keine Probleme aufgetreten, im Zeitplan.
- AP 0.3. Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung: Keine Probleme aufgetreten, im Zeitplan abgeschlossen.
- AP 2.2 Smarte Steuerung: Keine Probleme aufgetreten, im Zeitplan abgeschlossen.
- AP 3.3.3 Bilanzierung von Bedarf und Angebot sowie AP 3.4 Bewertung im Kontext des künftigen energiewirtschaftlichen Systems (Smart Market): Aufgrund von Verzögerungen im Bewilligungsprozess konnte der Personaleinsatz nicht in vollem Umfang zu den im Projektantrag angegebenen Zeiträumen erfolgen. Der resultierende Zeitverzug konnte durch einen intensiveren Personaleinsatz aufgeholt werden. Aufgrund einer nicht vollumfänglich belastbaren Datenbasis unterliegen einige Arbeiten in AP 3.3 und 3.4 einer inhaltlichen Verlagerung.

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

- AP 0.2. Konzeption E-Mobility-Lab Hessen: Keine Probleme aufgetreten, planmäßig abgeschlossen.
- AP 0.3. Definition der Datenbasis für die wissenschaftliche Bearbeitung: Keine Probleme aufgetreten, planmäßig abgeschlossen.

- AP 2.2 Smarte Steuerung: Planmäßig abgeschlossen.
- AP 3.3.3 Bilanzierung von Bedarf und Angebot: Ergänzende Fachgespräche wurden geführt, um die Bilanzierung qualitativ zu betrachten. Ergänzung abgeschlossen.
- AP 3.3.3 Bilanzierung von Bedarf und Angebot sowie AP 3.4 Bewertung im Kontext des künftigen energiewirtschaftlichen Systems (Smart Market): Einige Arbeiten in AP 3.3 und 3.4 wiesen einen Zeitverzug auf. Diese Arbeiten wurden im weiteren Projektverlauf durch einen entsprechend intensiveren Personaleinsatz sowie inhaltliche Anpassung nachgeholt. Da die Datenbasis verzögert im Projekt zur Verfügung stand, wurde der inhaltliche Fokus anstelle der Datenauswertung auf die konzeptionelle Untersuchung im Kontext der aktuellen energiewirtschaftlichen Debatte gelegt und in Verbindung mit den Simulationsergebnissen eingeordnet. Die Projektziele wurden erreicht.

2.2. Unterauftrag Projektkoordination des Verbundprojekts E-Mobility Lab Hessen

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum – aufgrund der Auftragsvergabe wird hier für den Zeitraum 01.04.2020 – 31.08.2021 berichtet

Während des Berichtszeitraums fanden zahlreiche Marketingaktivitäten statt:

- Der Projektflyer wurde aktualisiert.
- Das Projekt wurde im Rahmen verschiedener Online-Veranstaltungen vorgestellt. Darunter waren z.B. die Zukunftsforen Energie und Klima.
- Aufgrund der aktuellen Lage bedingt durch die Corona-Pandemie fanden im Berichtszeitraum keine Präsenztermine statt. Anfang 2020 erfolgte die Planung für die Einweihung des Batteriecontainers zusammen mit dem hessischen Staatssekretär Deutschendorf. Nach der Verschiebung und letztendlich der Absage wurde am 14. Juli 2021 das Online-Event „E-Mobility-LAB Hessen: Netzausbau durch Intelligenz optimieren“, das über 50 Teilnehmer besuchten, durchgeführt. Bei der Veranstaltung wurde ein Film von Opel über den selbst entwickelten Batteriecontainer gezeigt, der auf den Kommunikationskanälen des House of Energy veröffentlicht wurde. Zudem startete die Planung für ein weiteres Online-Event „Lessons learned“ mit dem Thema der Übertragbarkeit der Ergebnisse nach Hessen und darüber hinaus im November 2021. Dort haben die wissenschaftlichen Partner der Universität Kassel ihre Ergebnisse präsentieren und eine Podiumsdiskussion dazu durchgeführt.
- Im Rahmen der Projektkoordination wurden die 14-tägigen Besprechungen des Lenkungskreises koordiniert, durchgeführt und protokolliert. Zudem fanden die 2x jährlich geplanten Statustreffen statt. Diese wurden ebenfalls organisiert, durchgeführt und protokolliert.

- Es wurde ein Bericht über den Besuch des Europa-Staatssekretärs Weinmeister verfasst, dem das Projekt im Rahmen seiner Sommertour an der Universität Kassel von den Partnern vorgestellt wurde. Der Bericht mit Foto wurde online veröffentlicht.

2.3. Teilprojekt „Aufbau einer intelligenten, zukunftsfähigen Ladeinfrastruktur für eine E-Fahrzeugflotte bei gegebenen Netzbeschränkungen“ (Opel)

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

Im Stammwerk der Opel Automobile GmbH in Rüsselsheim sowie auf dem Testgelände für Elektrofahrzeuge in Dudenhofen wurde die bestehende Infrastruktur mit Ladesäulen modernisiert und ertüchtigt sowie zusätzliche Ladeinfrastruktur aufgebaut. Insgesamt wurden 118 Ladepunkte installiert, davon 19 der Firma PLUG' n CHARGE (Projektpartner) sowie 91 Ladepunkte von dem Hersteller Alfen. Dazu kommen je 2 Schnelllader der Firmen DELTA und EBG (diese mit je 2x3 Ladepunkten). Damit konnten die Projektergebnisse herstellerunabhängig umgesetzt und bewertet werden.

Die Ladesäulen werden über ein zentrales Backend der Firma Flavia intelligent gesteuert (Stichwort: Dynamisches Lastmanagement), welches im Rahmen des Projektes entwickelt wurde. Kapazitätsbeschränkungen aufgrund bereits laufender Ladevorgänge sowie durch die bereits vorhandene Netzinfrastruktur und die prioritäre Gebäudelast (hauptsächlich Verbrauch der Werksbereiche wie z.B. Fertigungsanlagen; Prüfstände, Schweißroboter, etc.) wurden so berücksichtigt. Auf dem Testgelände, sowie im Entwicklungszentrum wurden Prototypen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, Sonderentwicklungen aber auch reguläre Dienstfahrzeuge geladen und die Ladedaten den Projektpartnern u.a. zur Modellvalidierung zur Verfügung gestellt. Die derzeitige elektrifizierte Fahrzeugflotte und im Backend ist >1000 Fahrzeuge. Die damit erzeugten Daten konnten Ergebnisse in der Simulation erzeugen, welche in die Realwelt übertragen werden können.

Zusätzlich zum Aufbau der Ladeinfrastruktur wurde ein mobiler Batteriespeichers konzipiert, aufgebaut und in Betrieb genommen. Dieser bestand aus einem Standard-Seecontainer, Stromrichtern, Transformatoren sowie gebrauchten Fahrzeug-Hochvoltbatterien der 1. Generation Opel Ampera im sog. Second Life. Dieser Batteriespeicher, der nach wie vor in Betrieb ist, enthält die komplette Netzanbindungsanlage und erfüllt alle brandschutztechnischen Anforderungen. Am Batteriespeicher befinden sich 8 11kW Ladepunkte, so dass das Laden von Testfahrzeugen in einem Gebiet mit schwacher Netzanbindung, in diesem Fall dem Opel Testgelände in Dudenhofen, möglich ist.

Im Einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Kostenoptimierter Auf- und Ausbau der Ladeinfrastruktur auf dem Opel Werksgelände:
 - Keine neuen Trafos und Haupt-Versorgungsleitungen

- Ausnutzung der verfügbaren Energie an den verschiedenen Standorten und bewusste Akzeptanz von zeitweiser energetischer Unterversorgung
- Neue Installationskonzepte - Leitplankenkonzept und Wandmontage anstatt aufwendigem Tiefbau
- Entwicklung eines intelligenten Steuersystems ‚Grindwalen‘ mit Projektpartner Flavia
 - Dynamische Steuerung und Anpassung von Ladestrom, Priorität und Zeitpunkt an die jeweilige Nutzung der Fahrzeuge, angepasst an die Energieverfügbarkeit an den verschiedenen Standorten bzw. der Belastbarkeit der Versorgungsleitungen (Dynamisches Lastmanagement).
- Entwicklung des Backends:

Gemeinsam mit der Firma Flavia IT wurde das Backend im Projektverlauf konzipiert, implementiert und bis zur wettbewerbsfähigen Marktreife kontinuierlich weiterentwickelt. Beispielhaft wurden folgende Features im Rahmen des Projektes entwickelt:

 - Legitimierung der Nutzer durch RFID
 - Steuerung der vorhandenen Kapazität innerhalb der Ladefarmen bis zum einzelnen Ladepunkt
 - Visualisierung zur Fehlererkennung und Analyse
 - Visualisierung der Verfügbarkeit auf der Landkarte
 - Auswertung von Verbräuchen in allen Ebenen der Hierarchien (Standort/Ladefarm/Ladebox/Ladepunkt)
 - Ausgabe Ladeverhalten mittels Graphik und Kurvenverläufe
 - Dynamisches Lademanagement
- Aufbau und Inbetriebnahme eines Batteriespeichers mit 8 Ladepunkten zur Netzertüchtigung in netzschwachen Gebieten:
 - Im Februar 2020 wurde der Aufbau und die funktionalen Tests abgeschlossen und der Transport wurde vorbereitet (zur Veranschaulichung des Batteriecontaineraufbaus im Opel Entwicklungszentrum in Rüsselsheim gibt es im Netz einen sehr sehenswerten Zeitrafferfilm unter <https://www.house-of-energy.org/emobilitylab.>)
 - Der Transport des Batteriecontainers an den Aufstellungsort Opel Testgelände Dudenhofen erfolgte am 05. März 2020
 - Der Batteriecontainer wurde auf den erstellten Fundamenten installiert
 - Die elektrischen Anschlussarbeiten an die vorhandene Infrastruktur erfolgten im März 2020
 - Der Testbetrieb des Containers wurde aufgrund der pandemischen Situation zeitweise über die Sommermonate ausgesetzt und konnte im Oktober wieder aufgenommen werden.
 - Die brandschutztechnische Anbindung des Batteriecontainers an die Opel-Leitstelle erfolgte im August 2020
 - Die Klimaanlage zur Temperierung des Batteriecontainers wurde im Herbst 2020 in Betrieb genommen
 - Der Fokus des Testbetriebs in Q4/2020 lag auf der gleichverteilten Ladung/Entladung der Batterien und auf der Kommunikation der Testbetriebsdaten auf einer online-fähige Plattform
- Projektmanagement

- Die bei Projektstart geplanten Aufbauten der Ladeinfrastruktur wurden zeitgerecht fertiggestellt
- Die bei Projektstart geplanten Inhalte (Anzahl der Ladepunkte, Container, Backend, Lastmanagement) wurden vollständig umgesetzt

Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?

- Aufgrund von Covid-19 und der daraus resultierenden Homeoffice Pflicht gab es im Opel Werk ein stark reduziertes Fahrzeugaufkommen mit geringerem Ladebedarf als bei Projektstart geplant. Dadurch waren weniger Daten für die Projektpartner, hauptsächlich der Universität Kassel, verfügbar.

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

- Verzögerungen in der Datenanalyse durch geringere Datenmengen aufgrund von Covid-19 (s.o.). Lösung: Die Modelle wurden mit einer geringeren Datenmenge als bei Projektstart geplant validiert
- Durch ein schwaches Mobilfunknetz am Standort des Batteriecontainers konnten die gewonnenen Daten nicht over-the-air abgerufen werden. Lösung: Daten wurden regelmäßig vom verantwortlichen Ingenieur per USB-Stick ausgelesen und per E-Mail an die Projektpartner verteilt.
- Die Inbetriebnahme des Batteriecontainers konnte aufgrund von Covid-19 nur verzögert stattfinden. Lösung: Statt Frontloading Fehleranalyse und -behebung während des Betriebs
- Eine administrative Herausforderung ergab sich aus der Erarbeitung der Fördermittelabruformodalitäten gemeinsam mit der WI Bank. Lösung: Gemeinsame Erarbeitung von best practices während des Projektverlaufs auch als Vorlage für Folgeprojekte.

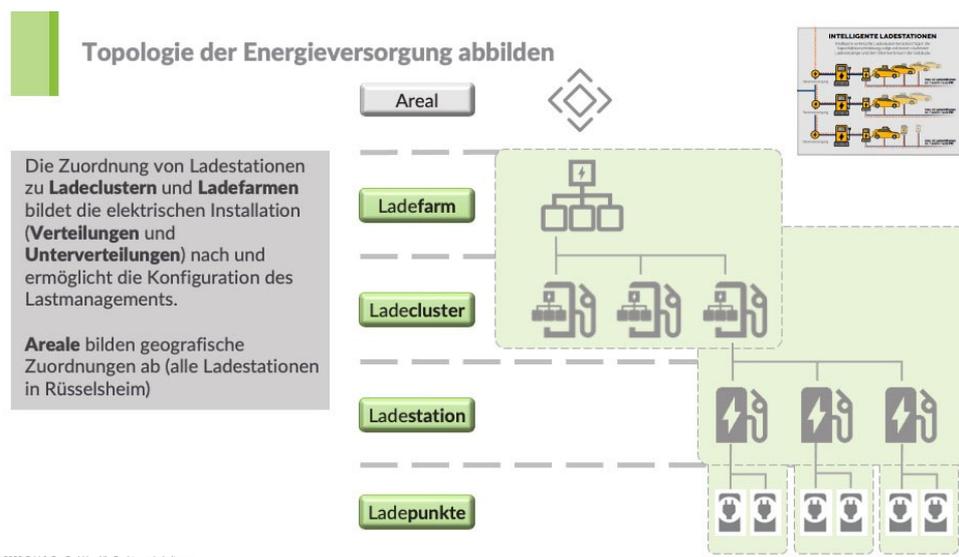
2.4. Teilprojekt „Bereitstellung IT-Backend“ (FLAVIA)

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

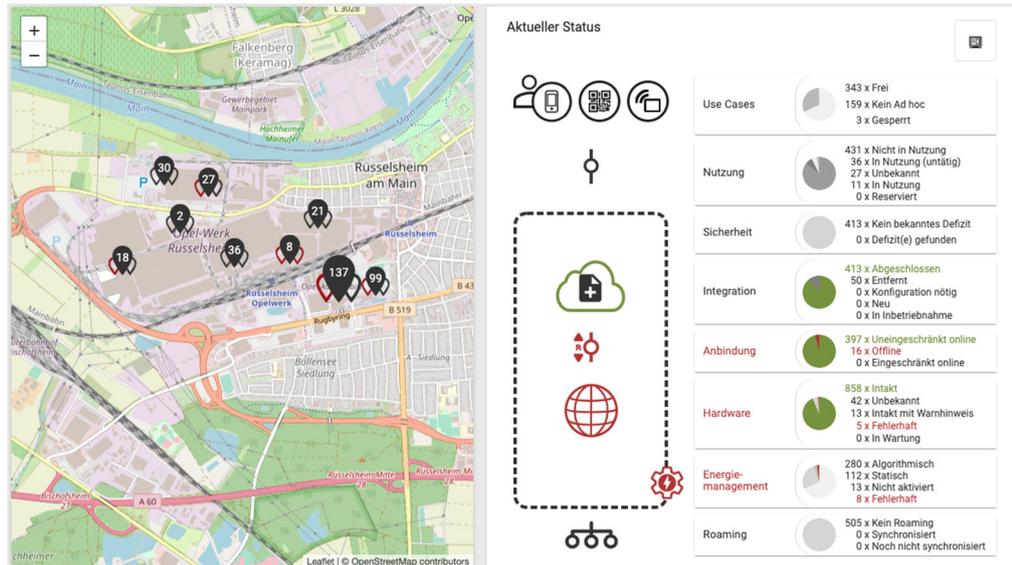
AP 0.2 Konzeption E-Mobility-LAB Hessen

- In enger Zusammenarbeit mit dem Projektteam von Opel wurden die spezifischen Anforderungen des Fertigungsstandortes Opel aufgearbeitet und konzeptionell auf die Betriebsführung der Ladeinfrastruktur übertragen.
- Für die Autorisierung der Ladestationen wird konsequent auf RFID-Tags gesetzt. Entsprechende RFID-Dongles werden in den Bereitstellungsprozess für Geschäftsfahrzeuge von Opel integriert und werden mit dem Fahrzeugschlüssel ausgehändigt.

- Alle Nutzer der Ladeinfrastruktur erhalten über eine, speziell an die Installation in Rüsselsheim angepasste, Smartphone App eine Übersicht über die Standorte der Ladepunkte. Ergänzend wird die Verfügbarkeit der Ladepunkte in der Grafik angezeigt.
- Für die Anbindung der Ladestationen wurde ein VPN Produkt der Telekom als Standard definiert und die Stationen mit einer entsprechenden SIM Karte ausgestattet.
- Über die vorgenannte VPN Anbindung wird auch die sonstige Messsensorik an das zentrale Steuerungssystem angebunden.
- Die Umsetzung der Energieversorgung in entsprechende Gruppierungen von Ladestationen war, aufgrund der komplexen Installation in Rüsselsheim und vor dem Hintergrund von nachträglichen Entscheidungen über die Standorte der Ladeinfrastruktur, eine der zentralen Herausforderungen in der Konzeption. Als Antwort wurde eine
- Topologie geschaffen, in der der Betreiber einzelne Ladestationen den entsprechenden Topologiepunkten (Ladefarm, Ladecluster) flexibel zuordnen kann.



AP 1.1 Infrastrukturaufbau und Installation des Messsystems



- Für die Steuerung der Ladeinfrastruktur in Rüschelsheim wurde ein eigenes Software-System (IT Backend) aufgesetzt und in Betrieb genommen.
- Für die Konfiguration des Systems und zur Unterstützung der technischen Betriebsführung wurde eine Bedienoberfläche (Backoffice) bereitgestellt.
- Die Auswahl der Lieferanten für die Ladestationen wurde durch funktionale Tests unterstützt und für alle Lieferanten/Modelle sogenannte Kompatibilitätstests entwickelt.
- Die Produktauswahl für die Smart-Meter wurde unterstützt und eine entsprechende Anbindung realisiert.
- Für die Anbindung der Ladestationen wurde ein Eingangskanal aufgebaut. Netzseitig ermöglicht eine M2M Kommunikation die Anbindung der einzelnen Ladestationen an das IT Backend.
- Im Zuge der funktionalen Erweiterungen wurde insbesondere auch eine Smartphone-App für die Nutzer bereitgestellt.

AP 1.3 Messungen im Realbetrieb

- Für die installierte Ladeinfrastruktur wurde der Datenaustausch zwischen IT Backend und Ladestation kontinuierlich über die reinen Nutzungs-Signale auf die Messwerte ausgeweitet. Die Messwerte werden im IT Backend abgespeichert und innerhalb der Backoffice Oberflächen in Grafiken für den Benutzer visualisiert. Für die Analyse der Ladevorgänge stehen umfangreiche Exportmöglichkeiten bereit.
- Die Anbindung des Batteriecontainers wurde konzeptionell unterstützt und technisch umgesetzt.

- Datenanforderungen der Partner wurden unter Berücksichtigung der Datenschutzvorgaben von Opel umgesetzt. Nutzungs- und Fahrzeugdaten wurden erst Opel und nach einer entsprechenden Freigabe den Forschungspartnern zur Verfügung gestellt. In Zusammenarbeit mit den beteiligten Fachgebieten der Universität Kassel wurden einzelfallbezogene Fragen datentechnisch nachvollzogen und die Daten bereitgestellt. Für die Herleitung der Simulation wurden mehrfach umfangreiche Datenexporte bereitgestellt.

AP 2.2 Smarte Steuerung

- Die physische Energieversorgung auf dem Opel Campus wird durch eine konfigurierbare Topologie (Ladefarm, Ladecluster, Ladestation, Ladepunkt) abgebildet.
- Für die Begrenzung der Energieabgabe wurde eine Komponente „Energiemanagement“ entwickelt. Hier ist die Steuerung auf Topologie-Level „Ladestation“ mit einer statischen Begrenzung produktiv, auf Topologie-Level „Ladecluster“ greift der Verteilalgorithmus „First come-First serve.“
- Sowohl Steuerungslogik als auch Nutzeroberflächen wurden kontinuierlich entsprechend der Anforderungen von Opel erweitert.
- Legitimierung der Nutzer durch RFID-Dongle: Die Zugehörigkeit der Nutzer zu den von Opel vorgegebenen Unternehmensbereichen ist in der Software abgebildet und erlaubt ein abteilungsbezogenes Reporting der Ladevorgänge.
- Steuerung der vorhandenen Kapazität innerhalb der Ladefarmen bis hin zum einzelnen Ladepunkt: Die Topologie der Energieversorgung im „privaten“ Verteilnetz von Opel in Rüsselsheim wurde vollständig umgesetzt. Dynamische und statische Maximalwertbegrenzungen sind entsprechend den Vorgaben von Opel realisiert worden.
- Visualisierung zur Fehlererkennung und Analyse: Die Fehlererkennung wurde auf das neu entwickelte Lastmanagement erweitert und meldet Abweichungen des tatsächlichen Ladeverlaufes gegenüber den Sollwertvorgaben der internen Verteillogik.
- Visualisierung der Verfügbarkeit auf einer Landkarte: Die Visualisierung der Ladeinfrastruktur auf „Map-Elementen“ wurde konsequent über die verschiedenen Topologiestufen umgesetzt.
- Auswertung von Verbräuchen in allen Ebenen der Hierarchien (Standort/Ladefarm/Ladebox/Ladepunkt).
- Ausgabe des Ladeverhaltens mittels Graphiken und Kurvenverläufen.
- Dynamisches Lademanagement: Die dynamischen Vorgaben des Batteriecontainers werden als Sollwertvorgaben für die interne Verteillogik übernommen und die Lastverläufe der angeschlossenen Fahrzeuge gesteuert.
- Aufgrund der positiven Erfahrung mit der Stabilität des Mobilfunknetzwerkes konnten geplante Funktionalitäten aus den Ladestationen in das zentrale cloudbasierte Lastmanagement

verlagert werden. Hierbei wurde eine maßgebliche Optimierung im Umgang mit einphasigen Ladecontrollern erreicht. So konnten, nach der softwaretechnischen Erweiterung und einer entsprechenden Änderung der elektrischen Verkabelung, drei Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden.

Zuleitung: F10_1_1_N38BlwO_19

Konfiguration

Energiemanagement ist aktiv und beachtet dieses Limit.

Maximalstrom

Maximale Stromstärke
32

Stromstärke pro Phase in Ampere.

AC-Phasenverdreht

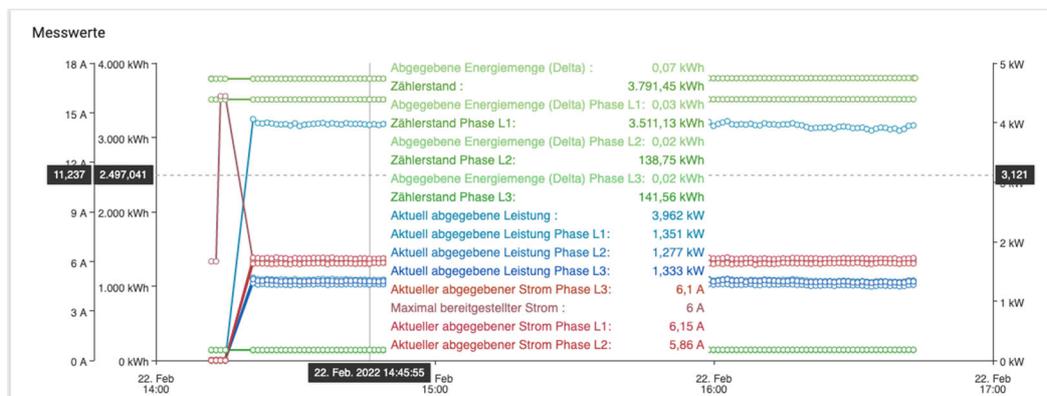
■ JA, die Anschlüsse sind Phasen-verdreht verbaut, derart, dass die Phasen L1, L2, L3 bei jedem Ladepunkt auf einem anderen Außenleiter landen.

Bestätigung dieser Einstellung bewirkt, dass 1-phasige Fahrzeuge parallel laden können ohne dass sie vom Energiemanagement unnötig eingeschränkt werden, wissend, dass die Zuleitung entsprechend ausgelegt ist.

i Wird diese Einstellung nicht aktiviert, muss das Zentralsystem davon ausgehen, dass mehrere 1-phasige Ladevorgänge potentiell auf dem gleichen Außenleiter landen und daher die Stromstärke limitieren.

ABBRECHEN
SPEICHERN

- Aus den Erfahrungen, die im praktischen Betrieb der Ladeinfrastruktur gesammelt werden konnten, ergab sich die Anforderung an eine verbesserte Visualisierung. Diese wurde umgesetzt und die Anzahl der Messwerte insofern erhöht, dass alle vom Zähler bereitgestellten Werte in der Grafik eingeblendet werden können.



Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es und warum sind diese eingetreten?

- Aufgrund der aktuellen Lage, bedingt durch die Corona-Pandemie und den daraus resultierenden Home-Office Zeiten der Opel Dienstwagenfahrer, wurden die angestrebten Nutzungszahlen nicht erreicht.
- Aus der erkannten Komplexität des Lastmanagements resultierte die gemeinsame Entscheidung, weitere Funktionen innerhalb der Backendsteuerung und nicht, wie ursprünglich geplant, innerhalb der Ladestationen, zu realisieren. Dies hat mehr Ressourcen bei Fa. Flavia (und Opel) erfordert als ursprünglich geplant und außerdem zu Verzögerungen in der Software-Entwicklung geführt. Die erforderlichen Funktionen konnten in 2021 bereitgestellt werden.

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

- Aufgrund der aktuellen Lage bedingt durch die Corona-Pandemie fanden im Berichtszeitraum keine Präsenztermine statt. Die erforderlichen Abstimmungen wurden konsequent unter Einsatz von Videokonferenzen durchgeführt. Negative Auswirkungen auf das Vorhaben konnten dadurch verhindert werden.

2.5. Teilprojekt „Aufbau einer diversifizierten und intelligenten Ladeinfrastruktur für e-Mobile“ (PnC)

Kurze Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

Zu Vorhabenbeginn wurden die Kriterien für die Anforderungen einer intelligenten Ladeinfrastruktur für e-Mobile auf dem Gelände des Projektpartners Opel unter Mitarbeit von PnC erarbeitet und festgelegt. Im Anschluss wurden die von PnC geplanten 39 Wallboxen für das dynamische Lastmanagement ausgelegt und die Kommunikationsanbindung der Ladesäulen mit den Partnern FLAVIA und Opel abgestimmt. Die Wallboxen konnten fristgerecht in Betrieb genommen werden und die Einbindung ins Backend wurde erfolgreich vorgenommen. Die dabei aufgetretenen Herausforderungen konnten in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Opel und Flavia erfolgreich gelöst werden. Dazu gehörten die Erkennung der Nutzerkarten (Dongle, Benutzerschnittstelle) und die Auslegung der Erkennungsnummern. Die von Plug'n Charge gelieferten Authentifizierungskomponenten (RFID Karten, Scanner sowie Scannerschnittstelle) mussten für die opelspezifische Nutzung eigener Benutzerschnittstellen (Dongles) angepasst werden. Damit wurde die Benutzerschnittstelle für alle entsprechenden Nutzungen auch Übergreifende- und sog. Fremderkennung ermöglicht (Einrichtung Scanner und Einrichtung Weiterführung von transaktionsrelevanten Informationen). Die Anpassung der Steuerungssoftware an die projektspezifischen Anforderungen umfasste die Verbesserung der GSM-Verbindung und entsprechende Firmware updates. Die Controllerschnittstelle sowie die Verbindung mit der

GSM Schnittstelle wurden auf die Gegebenheiten der Funkverbindungen optimiert. Dies benötigte auch Anpassungen an die bestehende Kommunikation stationsintern als auch an die vorbereitende Bereitstellung der Kommunikationssoftware (z.B. für Firmware updates). Das bedeutet, dass sowohl die interne Kommunikation (Controller und CPOC) zur Station, z.B. Updates, Releases, als auch die stationseigenen – und externen Daten (z.B. Benutzerdaten) über Controller, Modem und Backend, entsprechend verarbeitet werden. Für diese Arbeiten musste die Herstellerfirma (ESG Elektro) hinzugezogen werden. Die Messungen im Realbetrieb verzögerten sich aufgrund der zu lösenden Herausforderungen und der anspruchsvollen Abstimmungen zwischen der Ladeinfrastruktur, dem Backend und den Anforderungen von Opel, konnten aber im Projektverlauf erfolgreich durchgeführt werden.

Im weiteren Projektverlauf stellte sich heraus, dass die vorgesehene Funktionalität Lastmanagement von der Wallbox ins Backend verschoben werden soll, da dies der zukunftsfähigere Weg darstellt. Daher wurde im November 2020 ein Änderungsantrag eingereicht, in welchem die Verschiebung der dafür vorgesehenen Mittel aus dem Budget von PnC zu dem für das Backend verantwortliche Partner FLAVIA beantragt wurde (s. Punkt 3, „Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben“).

Entsprechend dem Zeit- und Arbeitsplan des Vorhabens wurden die Arbeiten des Projektpartners PnC bis Ende 2019 abgeschlossen. Im Rahmen von Absprachen und Diskussionen partizipiert PnC weiterhin an dem Projekt.

Welche Abweichungen vom ursprünglichen Plan gab es (Bezug zu Projekttiming) und warum sind diese eingetreten?

Die Arbeiten am AP1.3 zu „Messung im Realbetrieb“ konnten nur verzögert begonnen werden, da es größere Verzögerung im Projekt gab, bis die ersten Ladezyklen erfolgreich gestartet und im IT-Backend aufgenommen werden konnten. Die Verzögerungen konnten aber im Projektverlauf aufgeholt werden.

Kam es zu Problemen während des Vorhabens? Wie wurden diese gelöst? Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben

Das Projekt hat zum Ziel eine Mobilitätssituation abzubilden, wie sie etwa im Jahre 2035 existieren wird. Damit sollen Elemente einer Roadmap „Implementierung E-Mobilität in Hessen“ mit Nennung erfolgskritischer Faktoren erarbeitet werden. Dazu gehört der Aufbau und Test realer Szenarien mit besonderem Augenmerk auf die Schnittstellen Nutzer-Fahrzeug-Ladestation-Energieerzeugung. Wie im Antrag beschrieben, sollen dabei einzelne Bereiche innerhalb des Entwicklungszentrums und deren Nutzer „mit Ladesituationen an Supermärkten, Lieferdiensten, Wohnstraßen, etc. vergleichbar sein und dementsprechend in die Modellierungen einfließen“. Damit hat der Aspekt der Leistungserbringung (Abgabe von Energie) und der Leis-

tungsvergütung (Bezahlung) eine zentrale Bedeutung, unabhängig ob dies in einem geschlossenen (Opelgelände) oder offenen (Supermarkt, Wohnstraße) System geschieht. Im bisherigen Projektverlauf hat sich nun gezeigt, dass die Berücksichtigung des Eichrechtes und der damit verbundenen Übertragung eichrechtskonformer Daten, ein essentieller Baustein dazu ist. Die Daten, die an den verschiedenen Schnittstellen erhoben werden, müssen in einer bestimmten Art und Weise (Transparenz, Sicherheit, Signierung) erhoben und übermittelt werden. Somit ist die Erfassung, Verarbeitung und Zurverfügungstellung eichrechtskonformer Daten und deren Abrechnung mit dem Nutzer integraler Bestandteil der Elektromobilität als Teil intelligenter Stromnetze.

Im Projektverlauf zeigte sich, dass es sinnvoll ist, Teile der Steuerungssoftware von der Station ins Backend zu verlagern, unter anderem auch die Anpassung an die Eichrechtskonformität. Ein entsprechender Antrag auf Mittelumwidmung von PnC auf den Projektpartner FLAVIA, um diese Anpassungen durchzuführen, wurde gestellt. Aufgrund von Verzögerungen konnten diese Inhalte vom Projektpartner Flavia mit Verzögerung zu Projektende noch durchgeführt werden.

2.6. Gesamtprojekt

Darstellung der Tätigkeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

- Der Aufbau der Ladeinfrastruktur und des Batteriecontainers wurde im Projektzeitraum erfolgreich abgeschlossen.
- Für die Steuerung der Ladeinfrastruktur auf dem Opel Campus wurde ein zentrales IT-Backend aufgebaut und alle Ladestationen über ein Mobile VPN (Mobilfunk) an das zentrale System angeschlossen. Die von Opel angestrebte Vermeidung von Investitionen in die Energieversorgung konnte durch die Realisierung eines cloud-basierten Lastmanagement erreicht werden. Für die am Projekt beteiligten Partner wurden Daten bereitgestellt.
- Ein Simulationsmodell wurde entwickelt und die entscheidenden Systemgrößen definiert, um in der Simulationsumgebung die Ladestrategie nach dem realen Vorbild nachzuempfinden. Die Simulationsumgebung wurde in Matlab implementiert. Unter anderem konnten statistische Modelle zum Nutzerverhalten abgeleitet und in das Simulationsmodell implementiert werden, welche in einem weiteren Schritt mittels einer Verknüpfung mit den Ladedaten aus dem E-LAB für die Herleitung von Nutzergruppen dienen.
- Das Modell wurde anhand von Daten aus dem Opel-Reallabor validiert. Es wurden verschiedene Szenarien erstellt und simuliert um Aussagen über zukünftige Ladeinfrastruktur-Ausbauszenarien innerhalb von Hessen zu treffen.
- Die Integration der energiewirtschaftlichen Fragestellungen wurde durch umfassende Literaturrecherchen zu Smart Market unter dem Aspekt Ladeinfrastruktur, Flexibilität, Märkte für verteilnetzdienliche Flexibilität, Bepreisungs- und Tariflogiken, Netz- und systemdienlichen

Nutzbarkeit des Flexibilitätspotentials von Elektrofahrzeugen, Reform des §14a EnWG sowie Auswirkungen von Flexibilitätserbringung auf den Nutzungskomfort analysiert und ausgewertet.

- Ergänzend zur Grundstruktur der Daten wurden Fachgespräche geführt, um die Bilanzierung von Bedarf und Angebot qualitativ zu bewerten. Für die Simulationsstudie wurden Nutzerszenarien in Abhängigkeit von Durchdringungsgrad und Flexibilitätsanforderungen formuliert und in das Modell der Kollegen des Fachgebiets FSG integriert. Die Simulationsergebnisse wurden hinsichtlich des Lastverschiebepotentials im zeitlichen Kontext ausgewertet.
- Entwicklung eines Voraussagealgorithmus zur Vorhersage des zukünftigen Ladeverhaltens. Der Algorithmus wurde auf Basis der ‚Alignment für Context Prediction‘ erstellt. Dafür wurde insbesondere Aspekte der Zeit, wie bspw. der zukünftige Zeitpunkt sowie die Zeitlänge eines Ereignisses, integriert.

Beschreiben aufgetretener Herausforderungen bei Aufbau und Betrieb technischer Anlagen, Hard- und Software, bei Auswertungen und Szenariobildung sowie Erörterung möglicher Abhilfemaßnahmen

- Die Umsetzung des cloudbasierten Lastmanagement konnte auf aufgrund der fehlenden Erfahrungen im Zusammenspiel der beteiligten Komponenten nur in kleinteiligen Entwicklungsschritten umgesetzt werden. Nach erfolgtem Release einer neuen Softwareversion mussten immer erst, sowohl die technische Reaktion der angeschlossenen Geräte als auch das Verhalten der Nutzer analysiert und darauf aufbauend die nächsten Entwicklungsschritte definiert werden. Der praktizierte Entwicklungszyklus mit 3-wöchigen Sprintzyklen und die enge Zusammenarbeit mit den „Anwendern“ von Opel hat sich bewährt.
- Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass die vorgesehene Funktionalität Lastmanagement besser über das Backend gesteuert werden soll und nicht wie ursprünglich geplant in der Wallbox verankert ist. Damit ergab sich eine Verschiebung der Zuständigkeiten zwischen den Projektpartnern. Die Funktionalität konnte im Projektverlauf erfolgreich im Backend etabliert werden.
- Für die Validierung des Simulationsmodells mussten neben den Daten aus dem Reallabor weitere Werte bestimmt werden, da beispielsweise für die Routenberechnung innerhalb der Simulation Kilometerfahrleistungen der Fahrzeuge benötigt wurden. Ebenfalls war es herausfordernd das reale Lastmanagement von Opel im Simulationsmodell umzusetzen, da die genaue Parkplatzzuordnung der Fahrzeuge nicht bekannt war, wovon jedoch die Strombegrenzungen des Lastmanagements abhängig ist.

Ausweis der theoretisch ermittelten und der tatsächlich erzielten CO₂- und Energieeinsparungen unter Angabe des Vergleichsmaßstabes, getrennt nach Szenarien für einen festgelegten Betrachtungszeitraum und aufgeschlüsselt nach einzelnen Maßnahmen nach Abschluss des Fördervorhabens

Im Projekt E-LAB wurde das intelligente Laden, intelligente Netze und intelligente Märkte praxisnah erprobt. Die hierbei gesammelten Daten ermöglichten wichtige Erkenntnisse für einen optimierten Ausbau der Ladeinfrastruktur in Hessen. Im Rahmen dieses F&E-Projekts wurde die entsprechende Ladeinfrastruktur auf dem Gelände von Opel zum Laden der Forschungsflotte sowie der Dienstwagen geschaffen. Damit erfolgte im Rahmen dieses Projekts keine nennenswerte Substitution von Verbrennern durch E-Autos. Vielmehr wurde die wissenschaftliche Grundlage für einen Rollout der E-Mobilität geschaffen. Damit sind die direkten CO₂-Einsparungen durch das Projekt nur durch die Einsparung der Entwicklungs- und Dienstfahrzeuge zu beziffern.

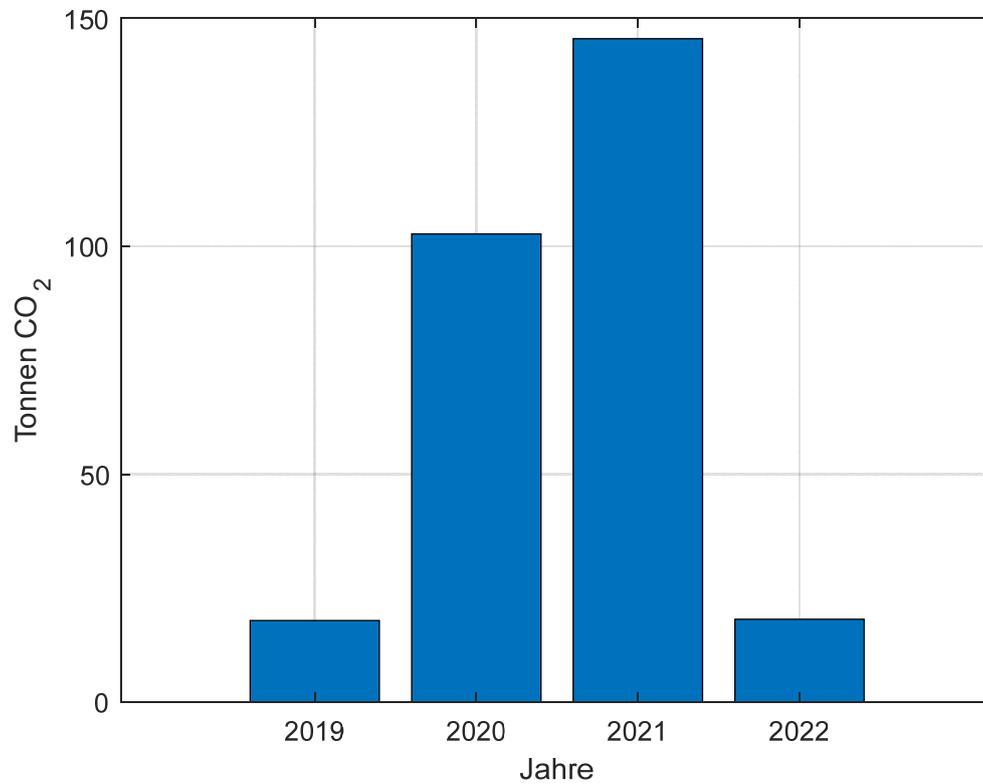
Vor Projektstart wurde die zu erwartende Einsparung durch den CO₂-Ausstoß der Entwicklungs- und Dienstfahrzeuge (unter der Annahme, dass anstelle der Elektroautos Verbrenner mit 95g CO₂/km (EU Flottengrenzwert ab 2020) entwickelt worden wären, folgendermaßen berechnet:

$$265 \text{ Fahrzeuge} * 95\text{g CO}_2/\text{km} * 50.000\text{km} = \mathbf{1.258 \text{ t CO}_2 \text{ Einsparung.}}$$

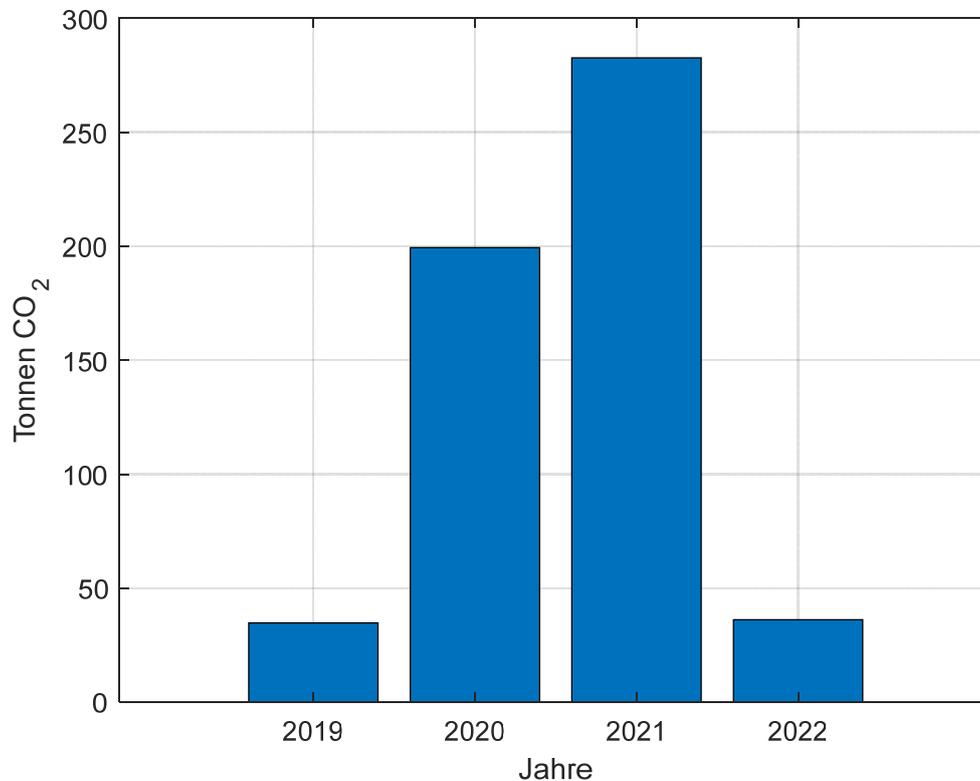
Auf Basis der Ladevorgänge während des Projektzeitraums konnte die tatsächliche Einsparung aufgeteilt auf die Jahre (2019 – 22. Februar 2022) berechnet werden. Im Jahr 2019 erfolgte die Installation der Ladeinfrastruktur, dies erklärt die noch geringe Ladeintensität in diesem Jahr.

Die erzielten CO₂-Einsparungen durch den Aufbau und den Betrieb der Ladeinfrastruktur auf dem Opel-Gelände lassen sich anhand von:

- Einsparungen von lokalen CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Erzeugung einer kWh Strom zurzeit im Mittel die Emission von 401 g CO₂ in Kraftwerken nach sich zieht. Diese Emissionen entstehen dadurch nicht lokal verteilt in der Stadt oder auf der Straße, sondern in Kraftwerken. Sie lassen sich über die aufgeladenen kWh-Strommengen seit der erfolgten graduellen Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur im Jahr 2019 bis zum 22. Februar 2022 wie in der folgenden Graphik dargestellt in Tonnen CO₂ beziffern. Die Gesamteinsparung ergibt in diesem Fall ca. 284 Tonnen CO₂.



- Einsparungen von CO₂-Emissionen verglichen mit einer Situation bei der die aufgeladenen Entwicklungs- und Dienstfahrzeugen mit den dazugehörigen km-Fahrleistungen konventionelle Verbrenner-Fahrzeuge äquivalenter Fahrzeugklassen gewesen wären. Im Zeitraum seit der erfolgten graduellen Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur im Jahr 2019 bis zum 22. Februar 2022 ergibt sich die folgende Graphische Darstellung nach Kalender-Jahren eingeteilt. Die Gesamteinsparung belauft sich in diesem Fall auf ca. 553 Tonnen CO₂.



Aufgrund der pandemischen Corona-Situation und der damit verbundenen Einschränkung der Tätigkeiten an den Opel-Standorten erfolgten weniger Ladevorgänge im Projektzeitraum als erwartet. Auch bedingt durch die dynamische pandemische Lage, gekennzeichnet durch Lockdowns verschiedener Abstufungen und Teil-Öffnungsphasen, war ein gleichmäßiger Betrieb kaum möglich, so dass der Einfluss einzelner Maßnahmen sich nicht beziffern lässt.

Geplante kommerzielle Folgeprojekte der Industriepartner, die auf die gewonnenen Projektergebnisse aufbauen

- Seitens Opel Automobile GmbH und PnC sind keine kommerziellen Folgeprojekte geplant.
- Flavia wird mit den gewonnenen Erkenntnissen aus dem Projekt aktiv die Energiewirtschaft ansprechen und auf Basis der gewonnenen Referenzimplementierung in einem privaten Industrienetz den Brückenschlag in die öffentlichen Verteilnetze suchen.

3. Beitrag zu den Querschnittszielen

Zur Gleichstellung von Männern und Frauen

An der Universität Kassel werden Gleichstellung der Geschlechter sowie die Schaffung eines familienfreundlichen Umfelds als wichtige Grundlagen ihrer erfolgreichen Entwicklung angesehen. Auch die anderen Partner dieses Verbundvorhabens haben sich der Einhaltung der Gleichstellung der Geschlechter verpflichtet.

Zur Chancengleichheit und Nichtdiskriminierung

Die Partner des Projektkonsortiums verpflichteten sich dem Gleichbehandlungsgrundsatz nach Artikel 3 des Grundgesetzes, das Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz und die Behindertenrechtskonvention der Vereinten Nationen.

Zur nachhaltigen Entwicklung

Alle Partner haben sich der nachhaltigen Entwicklung verpflichtet. Ziel der Universität Kassel ist es, den Eigenbetrieb entsprechend der gesetzten Nachhaltigkeitsziele zu entwickeln und die Erkenntnisse aus den Bereichen Forschung und Lehre in den Betrieb der Universität einfließen zu lassen. Opel/Vauxhall bekennt sich zum Schutz der Gesundheit, der natürlichen Ressourcen und der Umwelt. Dieses Bekenntnis reicht über die gesetzlichen Vorschriften hinaus. Vielmehr werden fundierte Umweltschutz- und Energiesparmaßnahmen in alle Geschäftsentscheidungen integriert.