

MCube

Münchner Cluster für die Zukunft
der Mobilität in Metropolregionen

ComfficientShare

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Zukunftscluster MCube: ComfficientShare

01.11.2021 – 31.10.2024

„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZU1105CA gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.“

Zuwendungsempfängerin:

Technischen Universität München

Arcisstr. 21

80333 München

www.tum.de

Ausführende Stellen:

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

TUM School of Engineering and Design

Prof. Dr. Thomas Hamacher

Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

TUM School of Engineering and Design



Teil I: Kurzbericht - Darstellung des Projektergebnisses

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Studien haben ergeben, dass das private Auto in etwa 95% der Zeit ungenutzt steht. Um einen Beitrag zur Verkehrswende zu schaffen, kann die gemeinsame, geteilte und damit verbundene effizientere Nutzung dieses Verkehrsmittels im Carsharing erfolgen.

Die bereits auf dem Markt anzutreffenden Carsharing-Lösungen lassen sich in stationsbasiertes und freefloating Carsharing einteilen. Jedoch ist stationsbasiertes Carsharing nach wie vor ein Nischenprodukt in der Mobilitätslandschaft, während freefloating Carsharing laut Studien als ergänzendes Mobilitätsangebot zum ÖPNV verstanden wird und somit keinen Einfluss auf die Anzahl der Pkw im Privatbesitz hat.

Das Projekt ComfficientShare setzt an dieser Stelle an und erprobt ein neuartiges Carsharing Konzept, das sich aufgrund der Stationierung der Flotte direkt am Wohnstandort und einer geschlossenen Nutzergruppe durch einen hohen Nutzungskomfort auszeichnet und gleichzeitig den Bestand privater Fahrzeuge reduzieren soll. Dabei soll eine elektrifizierte Flotte zum Einsatz kommen und somit auch Aspekte der Elektrifizierung von Wohnstandorten wie der Anzahl benötigter Ladepunkte und -leistung und der benötigten Netzanschlussleistung untersucht werden. Darüber hinaus soll das Projekt Ergebnisse im Hinblick auf Kostenreduktionspotenziale und eine erhöhte Netzverträglichkeit des Sharing-Standorts durch eine energetische Integration der Sharingflotte in das lokale Netz durch optimierte Ladestrategien und bidirektionales Laden liefern. Diese mit der Elektrifizierung der Carsharingflotte einher gehenden Potenziale sollen im Projekt quantifiziert und entsprechende Antworten für die Errichtung der Ladeinfrastruktur abgeleitet werden.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist rund um eine Reallaborphase von insgesamt 18 Monaten strukturiert. Dabei wurde zuerst basierend auf einem Anforderungskatalog und der Teilnahmebereitschaft möglicher Nutzer, die über einen privaten Pkw verfügen, mögliche Reallaborstandorte in der Metropolregion München identifiziert und ein Standort im Münchner Bezirk Nymphenburg für die Umsetzung des Projekts ausgewählt. Die nun folgende Reallaborphase wurde in drei Phasen unterteilt:

In einem ersten etwa dreimonatigen Abschnitt wurde das Mobilitätsverhalten mit dem privaten Pkw der interessierten Bewohner des Standortes mittels Datenlogger aufgezeichnet sowie Umfragen zu soziodemografischen Eigenschaften der Teilnehmergruppe durchgeführt und ausgewertet.

Basierend auf diesen Ergebnissen und den aufgezeichneten Mobilitätsprofilen wurden fünf Haushalte ausgewählt, die in der zweiten Projektphase für die Dauer von etwa sechs Monaten ihren privaten, konventionell angetriebenen Pkw durch einen durch das Projekt in der zentral gelegenen Tiefgarage des Reallaborstandortes zur Verfügung gestellten, elektrifizierten Pkw ersetzen. Dabei wurde eine etwaige Änderung des Mobilitätsverhaltens durch eine geänderte Antriebsart untersucht. Aufgrund von Verzögerungen der Genehmigung der Ladeinfrastruktur musste die ersten drei Monate dieser Phase an öffentlicher Ladeinfrastruktur geladen werden und die Ladeinfrastruktur in der Tiefgarage konnte erst in den letzten drei Monaten genutzt werden.

Für die finale, neun-monatige Carsharingphase wurden zwei weitere Haushalte zu den bereits in der vorherigen Phase ausgewählten Haushalten in die Nutzergruppe aufgenommen. Anzahl und

Auswahl dieser Haushalte erfolgte basierend auf deren Mobilitätsprofil mit dem Ziel einer hohen Auslastung der Flotte, jedoch unter der Bedingung, alle nachgefragten Fahrten erfüllen und somit einen möglichst hohen Komfort anbieten zu können. Somit wurden die fünf Fahrzeuge von 13 Fahrern aus sieben Haushalten geteilt genutzt. Die dabei geltenden Regeln wurden mit den Teilnehmenden gemeinsam in einem Workshop erarbeitet. Die Kommunikation der Teilnehmenden untereinander erfolgte mit einer gängigen Messenger App.

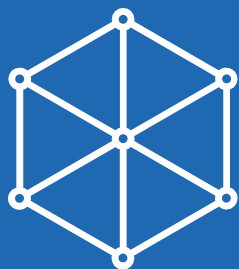
Begleitet wurden alle drei Versuchsabschnitte durch regelmäßige Befragungen der Teilnehmenden sowie der Erhebung von Mobilitäts- und Ladedaten, anhand derer das Reallabor ausgewertet wurde. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Szenarien für die Skalierung entwickelt und deren Auswirkungen auf das Stromnetz und den privaten Pkw Besitz in der Metropolregion München untersucht.

3. Wesentliche Ergebnisse

Aus dem im Projekt gezeigten Aufbau eines quartiersbasierten, elektrifizierten Carsharingmodells lassen sich vielfältige Ergebnisse ableiten. Als Kernergebnis des Projekts lässt sich festhalten, dass das Modell eines Carsharing-Systems mit geschlossener Nutzergruppe, deren Mitglieder zuvor untereinander nicht bekannt waren, sich wie geplant mit vollem Erfolg umsetzen ließ. Der Ansatz wurde von der Mehrheit der Probandinnen und Probanden im Projekt sehr positiv bewertet. Vor allem die soziale Komponente des Carsharing-Ansatzes ist hierbei zu betonen. Durch das niederschwellige Angebot einer Kommunikationsplattform für die Nutzer der Fahrzeugflotte gestaltete sich die Kommunikation untereinander einfach, was die auftretenden Probleme (wie z.B. verspätete Fahrzeugrückgabe) verhindern oder in einem frühen Stadium lösen konnte. Die untereinander bekannte Nutzergruppe führte auch zu einer gefühlten sozialen Kontrolle der Nutzer, sodass im Gegensatz zu Carsharing-Modellen mit einer offenen Nutzergruppe kaum Probleme mit Schäden oder Verschmutzungen an den Fahrzeugen auftraten.

Es wurde festgestellt, dass lange Fahrten sowohl während der Privatnutzungs- als auch Carsharingphase häufig mit dem privaten Fahrzeug durchgeführt wurden. Das lag zum einen an der begrenzten Reichweite der E-Fahrzeuge als auch an der Größe der Fahrzeuge und dem daraus resultierenden geringeren Kofferraumvolumen sowie der fehlenden Möglichkeit Fahrradträger oder Dachboxen an den Fahrzeugen anzubringen. Diese drei Punkte wurden von den Probandinnen und Probanden im Projekt negativ bewertet und sind darüber hinaus bei langen Strecken, die häufig Urlaubsfahrten sind von entscheidender Bedeutung. Für zukünftige Projekte in diesem Bereich - egal ob in wissenschaftlicher oder kommerzieller Ausrichtung - ist somit ein Angebot mit einer diversen Flotte für unterschiedliche Anwendungszwecke essenziell. Trotzdem konnte bei den bereitgestellten Fahrzeugen eine Auslastungsrate von 40% erreicht werden. Trotz Pendlern im Kreis der Teilnehmenden hätten in 99% der Zeit fünf, statt der ursprünglichen neun privaten Fahrzeuge ausgereicht.

Darüber hinaus konnte aus energetischer Sicht gezeigt werden, dass die Integration der Fahrzeuge in das lokale Stromnetz (ohne V2G) in Kombination mit einem dynamischen Stromtarif am gesamten Standort zu einer Reduktion der Kosten für elektrische Energie von bis zu 38% führen kann. Die dabei verstärkt auftretenden Lastspitzen von bis zu 55 kW können durch Anwendung einer Registrierenden Leistungsmessung (RLM) mit in Deutschland üblichen Preisen um bis zu 81% reduziert werden, wobei die Energiekosten um < 8% ansteigen.



MCube

Münchner Cluster für die Zukunft
der Mobilität in Metropolregionen

ComfficientShare

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Zukunftscluster MCube: ComfficientShare

01.11.2021 – 31.10.2024

„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZU1105CA gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.“

Zuwendungsempfängerin:

Technischen Universität München

Arcisstr. 21

80333 München

www.tum.de

Ausführende Stellen:

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

TUM School of Engineering and Design

Prof. Dr. Thomas Hamacher

Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

TUM School of Engineering and Design



Teil II: Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung

Der Großteil der Förderung (89 %) der dreijährigen ersten Umsetzungsphase wurde wie geplant für die Finanzierung von drei Vollzeitstellen für wissenschaftliche Mitarbeiter über die gesamte Projektlaufzeit verwendet. Diese haben sich im Zeitraum von November 2021 bis Ende Oktober 2024 ausschließlich der erfolgreichen Durchführung des Projektes gewidmet. Die Mitarbeiter, die an zwei verschiedenen Lehrstühlen (Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme) der TU München beschäftigt sind, haben ihre Expertisen gebündelt und so ein Reallabor errichten und durchführen können. Bei diesem wurde ein neuartiges Carsharing Konzept und gleichzeitig die bestmögliche Integration der elektrischen Carsharing Fahrzeuge ins Stromnetz erforscht. Die erfassten Ergebnisse wurden ausgewertet und in Hinblick auf eine stadtweite Skalierung analysiert. Die Analyseergebnisse sind in Handlungsleitfäden für verschiedene Stakeholder zusammengefasst.

Der größte Posten der Sachkosten war die Miete der Carsharing Fahrzeuge. Diese wurden für das durchgeführte Reallabor für insgesamt 18 Monate verwendet. Die Fahrzeuge wurden den Versuchsprobanden kostenfrei zur Verfügung gestellt, lediglich der verbrauchte Strom wurde in Rechnung gestellt. Außerdem wurden weitere Mittel für die Errichtung von Ladesäulen am Versuchsstandort verwendet.

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

AP 1 - Standortplanung und Versuchsvorbereitung

Das Hauptziel dieses Arbeitspaketes war die Findung und Planung des Versuchsstandortes sowie der Probandenstudie. Dazu wurde ein "Starterpaket" für die Probanden vorbereitet, Kontakt mit potenziellen Probanden aufgenommen und anschließend geeignete Probanden ausgewählt. Darüber hinaus beinhaltete das Arbeitspaket eine erste energetische Simulation des Standortes.

AP 1.1 - Findung und Festlegung des Versuchsstandortes

Für die Auswahl eines geeigneten Pilot-Standorts wurden im Vorfeld technische Voraussetzungen identifiziert, die für eine Umsetzung des Projektvorhabens als Bedingung definiert wurden.

Aus baulicher Sicht musste der Projektstandort zwingend über eine Tiefgarage oder sonstige private Stellplätze auf dem Grundstück verfügen, um die im Projekt angedachten Elektrofahrzeuge dort stationieren zu können. Um dem Ansatz eines möglichst komfortablen Carsharing Angebots Rechnung zu tragen, wurde eine Stationierung auf öffentlichem Grund wurde konsequent ausgeschlossen, da dies lange Wege zu immer wechselnden Stellplätzen mit sich gebracht hätte. An einem Standort ohne private Stellplätze wäre das angedachte Carsharing Konzept, dessen Vorteil unter anderem in hohem Komfort durch kurze Wege zu den Fahrzeugen bestehen sollte, somit nicht wie geplant umsetzbar gewesen.

Um potenzielle Wechselwirkungen zwischen der zu installierenden Ladeinfrastruktur und alternativer Formen der Energieerzeugung im lokalen Stromnetz des betrachteten Quartiers am Projektstandorts untersuchen zu können, sollte vor Ort bereits eine PV-Anlage oder eine alternative Form von lokaler (regenerativer) Energieerzeugung, wie beispielsweise ein BHKW, installiert sein.

Außerdem sollte die am ausgewählten Projektstandort lebende Anwohnerschaft einen möglichst repräsentativen Querschnitt durch die Münchner Bevölkerung darstellen und somit unterschiedliche Einkommensklassen und unterschiedliche Haushaltsgrößen sowie ein diverses und für München repräsentatives Mobilitätsverhalten (Pendler, Wochenendausflüge, ...) aufweisen.

Aus organisatorischer Sicht war es zusätzlich unabdingbar, dass sich der Standort lediglich im Besitz oder unter der Verwaltung einer einzigen Organisation befindet, da so die Verzögerung durch Genehmigungsprozesse wie beispielsweise für bauliche Veränderungen aufgrund der Installation von Ladeinfrastruktur, die die Einbindung aller Eigentümer erfordern würden, minimiert werden konnten. Aufgrund der beschränkten Projektlaufzeit von 36 Monaten hätte eine andere Eigentümerstruktur vermutlich zu Zeitverzögerungen geführt, die das Erreichen der Projektziele gefährdet hätten.

Basierend auf diesen Voraussetzungen wurden sämtliche Wohnungsbaugenossenschaften in München und Umland angeschrieben und zu Immobilienstandorten, die die oben genannten Kriterien erfüllen, befragt. Basierend auf der technischen Ausstattung der Standorte und der Teilnahmebereitschaft der Wohnungsbaugenossenschaften haben sich insgesamt drei mögliche Standorte von zwei unterschiedlichen Wohnungsgenossenschaften herauskristallisiert, auf die die oben genannten Voraussetzungen zutrafen. An jedem dieser drei Standorte hätte man das Projekt aus der technisch-wissenschaftlichen Perspektive betrachtet durchführen können.

Um die Bereitschaft zur Teilnahme an dem Projekt unter der Bewohnerschaft zu untersuchen und basierend darauf einen Standort auszuwählen, wurden an jedem der drei Standorte alle Haushalte angeschrieben, die einen Stellplatz gemietet hatten. Zum damaligen Zeitpunkt musste davon ausgegangen werden, dass ein eigener Stellplatz für die Durchführung des Projektes zwingend notwendig sein würde, da dieser dann als Stellplatz für die Carsharing-Fahrzeuge dienen sollte. So wurde auch sichergestellt, dass das Projekt nicht den Umstieg von anderen Verkehrsformen auf das Auto unterstützt, sondern ein wirklicher Ersatz des Privatfahrzeugs durch die Versuchsfahrzeuge erzielt werden kann.

Da sich lediglich an einem Standort des "Gemeinnütziger Wohnungsverein München 1899 e.V." (GWV) so viele interessierte Haushalte meldeten, dass die Durchführung des Projekts realistisch erschien, wurde eine Auswahl dieses Standorts zur Durchführung des Projekts unter Vorbehalt der tatsächlichen Teilnahmebereitschaft angestrebt.

AP 1.2 - Konzeptionierung und Vorbereitung der Probandenstudie

In diesem Arbeitspaket wurden die Zeiträume der Versuchsphasen unter Berücksichtigung der erwarteten, äußeren Randbedingungen festgelegt. Zu den Rahmenbedingungen zählten die Beschaffungsfristen der benötigten Fahrzeuge sowie die Installations- und Genehmigungsdauer der Ladeinfrastruktur. Darüber hinaus wurden auch Schulferien, die zum einen Einfluss auf das

Mobilitätsverhalten, zum anderen aber auf die Verfügbarkeit der Projektteilnehmer haben, in der Planung berücksichtigt. Dabei wurden für die drei Phasen des Projekts mit folgenden Zeiträumen geplant:

Phase ID	Bezeichnung	Start	Ende
1	Aufzeichnung initiales Mobilitätsverhalten	Mitte 09/2022	Mitte 12/2022
2	Individualnutzungsphase	Mitte 12/2022	06/2023
3	Sharingphase	07/2023	03/2024

Um eine regelmäßige Befragung der Projektteilnehmer durchführen zu können, wurden Befragungen der Versuchsgruppe während des Projektzeitraums geplant, wofür die Umfragesoftware LimeSurvey verwendet werden sollte. Außerdem wurde ein Zeitplan für die Befragungen erarbeitet, der eine Befragung noch vor dem Start der ersten Phase, eine weitere während Phase 1, zwei während Phase 2, sowie eine weitere während Phase 3 und eine abschließende Umfrage nach Ablauf des Reallabors vorsah.

Für die Aufzeichnung der Mobilitätsdaten wurden am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik entwickelte Datenlogger verwendet, die in den Fahrzeugen verbaut wurden. Alle verbauten Logger verblieben bis zum Ende des Reallabors in den Privat- und Carsharing-Fahrzeugen.

AP 1.3 - Probandenakquise und -auswahl

Um eine den geltenden rechtlichen Vorschriften entsprechende Speicherung und Auswertung der während der Projektlaufzeit erhobenen personenbezogenen Daten der Studienteilnehmer zu gewährleisten, wurde eine Datenschutz- und Überlassungserklärung für die Teilnehmer erstellt. Zudem wurden in Zusammenarbeit mit dem Legal Office der TUM Verträge für die Nutzung der Fahrzeuge durch die Studienteilnehmer*innen in den letzten beiden Versuchsphasen des Projekts entworfen.

An dem in AP 1.1 ausgewählten Standort (Fasoltstraße, 80639 München), wurde am 20.07.2022 ein Informationsabend für alle interessierten Anwohner*innen veranstaltet. Dabei wurden alle am Projekt beteiligten Personen und Projektpartner vorgestellt sowie näher auf die Idee des Projekts und die geplante Durchführung der im Projekt beinhalteten Probandenstudie eingegangen. Im Anschluss konnten bereits einige Fragen zur dritten Umsetzungsphase (Carsharing-Betrieb) des Projekts geklärt werden. Außerdem war zum Zeitpunkt des Informationsabends bereits absehbar, dass die im Projekt verwendete Fahrzeugflotte mit hoher

Wahrscheinlichkeit aus Fahrzeugen des Typs CUPRA Born bestehen würde. Da der Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der TUM bereits über einen VW ID.3 verfügt, der nahezu baugleich zum angestrebten CUPRA Born ist, konnten die Interessenten das Fahrzeug besichtigen, um so bereits ein Gefühl für die Größe des Fahrzeugs und die daraus resultierenden möglichen Einschränkungen während des Projekts beispielsweise für den Skiurlaub oder den Transport von Kinderwägen bekommen.

Bis auf zwei am Infoabend anwesende Haushalte sagten alle interessierten Haushalte ihre Beteiligung an dem Projekt schriftlich zu, sodass eine endgültige Entscheidung für den Projektstandort getroffen wurde und die Probandenstudie mit neun beteiligten Haushalten bestehend aus insgesamt 15 Fahrern mit 13 Fahrzeugen, am ausgewählten Standort durchgeführt werden konnte.

AP 1.4 - Energetische Simulation des Versuchsstandorts

Zur energetischen Simulation des Versuchsstandorts wurde ein Grundmodell des Energiesystems einer Wohnanlage unter Berücksichtigung von PV und Ladeinfrastruktur für Elektro-Fahrzeuge sowie einem Standardlastprofil (SLP) des BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) mit einer Option für Sektorkopplung durch Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen erstellt. Dafür wurde das lineare Optimierungstool „urbs“ des Lehrstuhls für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme (ENS) der TUM verwendet. Eine Option zur Einbeziehung der individuellen und geteilten Mobilität ist ebenfalls Teil des Modells. Nach Erstellung des Modells besteht die Möglichkeit, dieses mit Zeitreihendaten zu Bedarf und Erzeugung zu befüllen, um auf diese Weise optimierte Lastgänge sowie Energiekosten für den Gebäudestandort zu ermitteln. Ein solches Modell kann vor und nach Implementierung von Änderungen am Gebäude, wie beispielsweise der Installation von ComfficientShare-Ladegeräten und neuen (geteilten) Elektrofahrzeugen als Last, evaluiert werden. Dies kann beispielsweise durch die Analyse der Änderungen des PV-Eigenverbrauchs im Gebäude erfolgen. Da die Anzahl der Teilnehmer jedoch lediglich einen geringen Anteil der Gesamtbewohnerzahl ausmacht, ist eine Ermittlung desselben nicht ohne Weiteres möglich, da die Änderungen am gesamten Gebäudeenergiesystem nach wie vor als minimal zu bezeichnen sind. Dennoch kann das Modell als nützlich erachtet werden, sofern der Gebäudeeigentümer zu einem späteren Zeitpunkt, inspiriert durch den Erfolg des Projekts, weitere Ladeinfrastruktur und PV-Anlagen auf dem Dach installieren möchte.

Dafür wurde der ausgewählte Projektstandort besichtigt, um die installierten PV-Ressourcen und den Standort der Zähler zu erfassen. Der Gebäudeverwaltung liegen keine historischen Daten über den Haushaltsverbrauch der Bewohner*innen vor. Außerdem war die Installation eines Messgeräts an den intelligenten Zählern aufgrund des Platzmangels in den Schaltkästen nicht möglich. Die Daten zum Mobilitätsverhalten im Basisenergiesystem wurden aus dem von der Professur für Verkehrsverhalten an der TUM entwickelten Modell MITO (Microscopic Transportation Orchestrator) abgeleitet

Dieses Modell generiert basierend auf einer synthetischen Bevölkerung einen Mobilitätsbedarf und wurde dem Projekt in Kooperation mit dem MCube Projekt DATSIM zur Verfügung gestellt. Die so generierten Fahrten für einen bestimmten Ort in München wurden in einen elektrischen Ladebedarf umgerechnet. Mit den Fahrdaten aus den sowohl in den Privatfahrzeugen als auch in den Fahrzeugen der Versuchsflotte verbauten Datenloggern und dem aufgezeichneten Lastprofil der am Projektstandort aufgebauten Ladeinfrastruktur, kann das Basismodell möglichst genaue Ergebnisse für das Basisszenario liefern. Das Basismodell wird in einer späteren Phase für eine stadtweite Simulation erweitert, die verschiedene Gebäude mit dem im Projekt untersuchten Carsharing Konzept berücksichtigt.

AP 2 - Aufbau notwendiger Infrastruktur

In diesem Arbeitspaket wird sowohl der Aufbau einer geeigneten IT-Infrastruktur inklusive Datenbank für die später anfallenden Versuchsdaten als auch der Aufbau der für die Durchführung der Probandenstudie im Reallabor benötigten Infrastruktur erfolgen. Darüber hinaus werden Vorbereitungen für den Einbau von Fahrzeug-Datenlogger für Versuche mit Verbrennern und Elektrofahrzeugen getroffen und die Ladehardware am Versuchsstandort installiert sowie in ein Backend integriert. Zusätzlich werden die Leasingfahrzeuge für die Probandenstudie beschafft.

AP 2.1 - Beschaffung und Integration von Ladehardware und Backend, Offenlegung von Backendschnittstellen

Verantwortlicher Projektpartner für AP 2.1: in-tech GmbH

AP 2.2 - Erarbeitung eines Betriebskonzepts, Beschaffung von Versuchsfahrzeugen und Aufbau von Ladepunkten am Versuchsstandort

Verantwortlicher Projektpartner für AP 2.2: in-tech GmbH

AP 2.3 - Bereitstellung einer Versuchsdatenbank und Vorbereitung von Fahrzeugdatenloggern

Um die am Lehrstuhl vorhandenen Datenlogger bei Verwendung in den elektrischen Versuchsfahrzeugen nicht nur zum GPS-Tracking einzusetzen, sondern auch zur Messung fahrzeuginterner Daten verwenden zu können, mussten die Konfigurationen der verwendeten Logger an die Versuchsfahrzeuge angepasst werden. Zur Speicherung der erhobenen Daten wurde eine PostGIS Datenbank aufgesetzt und in die Auswerte-Pipeline der Datenlogger integriert. Zusätzlich erfolgte eine Anbindung des Backends zur Speicherung der erhobenen Daten der Ladeinfrastruktur.

AP 3 - Aufzeichnung Mobilitätsverhalten der Probanden

In diesem Arbeitspaket wird das ursprüngliche Mobilitätsverhaltens der Probanden als Referenzfall bestimmt und eine erste Ableitung möglicher Gruppen in der Sharingphase getroffen. Darüber hinaus wird eine Wirtschaftlichkeitsbewertung für relevante gewerbliche Stakeholder und eine Ableitung von ersten Erkenntnissen zur Möglichkeit einer selbstregulierenden Vermarktung von Wohnquartier-Elektrifizierung durchgeführt.

AP 3.1 - Erhebung, Analyse und Aufbereitung der aktuellen Mobilität mit Bestandsfahrzeugen innerhalb der Versuchsgruppe

Zur Aufzeichnung des initialen Mobilitätsverhaltens der 15 Projektteilnehmenden wurden in deren 13 Fahrzeugen GPS-Datenlogger installiert. Durch die aufgezeichneten Daten konnte das Mobilitätsverhalten der Probanden im Hinblick auf die Nutzung ihrer Fahrzeuge analysiert werden. In Kombination mit einer sozio-demografischen Analyse wurden so fünf Haushalte mit insgesamt 10 Führerscheinsbesitzern ausgewählt, die sowohl vom Mobilitätsverhalten als auch von ihren sozio-demografischen Eigenschaften einen bestmöglichen Querschnitt abbilden. Diesen Haushalten wurden dann in der zweiten Phase jeweils ein E-Fahrzeug zur alleinigen Nutzung zur Verfügung gestellt. Kein Fahrzeug, das im weiteren Verlauf des Projektes durch ein Elektrofahrzeug ersetzt werden hätte können, wies ein Fahrprofil auf, das bei einer Elektrifizierung zu größeren Komforteinbußen oder Problemen geführt hätte, da die meisten Fahrten im Münchner Umland stattfanden und somit äußerst selten auf das Laden an einer externen Lademöglichkeit hätte zurückgegriffen werden müssen. Lediglich ein Teilnehmer fuhr im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit mehrmals pro Woche mehrere 100 km pro Tag, sodass hierbei bei den im Projekt verwendeten Fahrzeugen vom Typ Cupra Born mit der kleineren der beiden verfügbaren Batteriegrößen (58 kWh) regelmäßig Ladestopps an externen Lademöglichkeiten notwendig gewesen wären, die zu relevanten Zeiteinbußen geführt hätten. Eine größere - und mit der Variante des Cupra Born mit 77 kWh auch auf dem Markt verfügbare - Batterie hätte dieses Problem jedoch vermutlich größtenteils beheben können. Da der Proband diese Fahrten mit einem Dienstwagen durchgeführt hat, war ein Ersatz dieses Fahrzeugs im Rahmen des Projekts nicht möglich. Entsprechend der schriftlichen Absprachen mit dem Projektträger verblieben die installierten GPS-Datenlogger, anders als in der Vorhabenbeschreibung vorgesehen, bis zum Versuchsende in sämtlichen privaten Fahrzeugen. So konnte ein ganzheitliches Bild über das Mobilitätsverhalten im MIV (Motorisierter Individual-Verkehr) der Teilnehmenden beobachtet werden.

In einer ersten Probandenumfrage wurden im September 2022 soziodemografische Merkmale der Probanden abgefragt. Zusätzlich wurden neben Fragen zu Haushaltsgröße, Geschlecht und Einkommen, auch Angaben zum gegenwärtigen Fahrzeugbesitz, der geschätzten jährlichen Fahrleistung und dem Grund für den Autobesitz erhoben. Darüber hinaus wurde ein Fragenblock zur Zahlungsbereitschaft in die Befragung aufgenommen, der unverändert im Laufe des Projektes mehrfach abgefragt wurde, um einer Änderung in der Zahlungsbereitschaft im Verlauf des Projekts festzustellen.

AP 3.2 - A priori Wirtschaftlichkeitsbewertung aus gewerblicher Sicht

Verantwortlicher Projektpartner für AP 3.2: in-tech GmbH

AP 4 - Versuchsumsetzung: Individualphase

In diesem Arbeitspaket wird die Aufzeichnung und Analyse des Lade- und Mobilitätsverhaltens nach dem Umstieg auf ein privat genutztes Elektrofahrzeug umgesetzt. Dabei werden der Ladesplit (im Wohnquartier/außerhalb) sowie die Kompatibilität der Probanden in der Sharing-Phase bestimmt. Begleitend zu dieser Projektphase wurden Befragungen nach Komfort und Zufriedenheit der Probanden durchgeführt sowie Aussagen zu Zahlungsbereitschaft, Lade- und Mobilitätsverhalten im BEV getroffen.

AP 4.1 - Analyse des Lade- und Mobilitätsverhaltens der Probanden nach Umstieg auf BEV

Die fünf Versuchsfahrzeuge wurden am 12.12. sowie 19.12.2022 an die fünf ausgewählten Haushalte übergeben und damit die zweite Versuchsphase begonnen. Aufgrund der verzögerten Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur in der Tiefgarage des Projektstandorts mussten die Versuchsfahrzeuge bis zum 07.03.2023 an öffentlichen Ladesäulen geladen werden. Grund dafür war ein langwieriger Genehmigungsprozess der Ladeinfrastruktur und eine verspätete Installation des benötigten Stromzählers seitens der Stadtwerke München aufgrund von Personalmangel.

In der Vorhabensbeschreibung des Projektes war die Ausstattung der Versuchsfahrzeuge mit Datenloggern vorgesehen, um damit neben der Position der Fahrzeuge auch die fahrzeuginterne Kommunikation aufzuzeichnen. Die in diesem Zug aufgezeichneten Werte zur aktuellen Ladeleistung und dem SOC der Traktionsbatterie sollten in diesem Arbeitspaket zur Ermittlung des Ladesplits der Fahrzeugflotte verwendet werden. Die Daten-Logger kommunizieren über das UDS-Protokoll mit dem Fahrzeug. Dieses Protokoll basiert auf einem Frage-Antwort-Verfahren. Da es aufgrund dieses Verfahrens im Zusammenspiel der Datenlogger mit den Fahrzeugen zu fahrzeugseitigen Fehlern kam, die das Projekt gefährdeten, wurden die Datenlogger auf einen reinen GPS-Betrieb ohne die Aufzeichnung von fahrzeuginternen Daten umgestellt, da ein anderweitiges Abstellen der Fehler nicht möglich war.

Dies erschwert jedoch die Auswertung des Ladesplits. Um trotz fehlender Logger-Daten den Ladesplit annähern zu können, wurde ein Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge verwendet und mit der geladenen Energie der Fahrzeuge an der projekteigenen Ladeinfrastruktur abgeglichen. Da es bei der Ladeinfrastruktur aufgrund eines herstellerseitigen Defekts am Speicherchip in einem der beiden Ladesysteme zu Ausfällen in der Datenaufzeichnung kam, werden für die Auswertung nur die drei Fahrzeuge betrachtet, an deren Parkplätze Ladepunkte der funktionierenden Ladeeinrichtung installiert waren. Auch wird nur der Zeitraum mit verfügbarer

Ladeinfrastruktur in der Tiefgarage betrachtet. Eine Auswertung der geladenen Energie ergibt einen durchschnittlichen Ladesplit für Heim- bzw. Auswärtsladen von 72 % zu 28 %. Betrachtet man die einzelnen Fahrzeuge, so lässt sich ein stark schwankender Ladesplit feststellen. So wurden die betrachteten Fahrzeuge zu 36 %, 90 % und 100 % durch die Ladeinfrastruktur in der heimatlichen Tiefgarage mit Energie versorgt. Die beiden letzteren Fahrzeuge wurden von Haushalten gefahren, die weiterhin über ihre privaten Fahrzeuge verfügten und die EVs hauptsächlich für den Alltagsgebrauch verwendeten. Längere Strecken, die zumeist mit allen Personen des Haushalts durchgeführt wurden und darüber hinaus mit einem höheren Platzbedarf für Gepäck verbunden waren, wurden aufgrund der zu geringen Größe der verwendeten EVs mit den privaten Verbrennern durchgeführt. Der Grund für die Verwendung des privaten Fahrzeugs lag somit weniger in der Antriebsart begründet, sondern vielmehr in der unterschiedlichen Größe und Ausstattung der Fahrzeuge. Auf diesen Fahrten wäre ein Laden an externer Ladeinfrastruktur erforderlich gewesen. Umgekehrt wurde das andere Fahrzeug (36 % externes Laden) im Alltag nur selten verwendet. Der Haushalt verfügte für die Versuchsdauer über kein privates Fahrzeug und hatte aufgrund der Haushaltszusammensetzung nur einen geringeren Platzbedarf bei längeren Fahrten, der auch von dem zur Verfügung gestellten E-Fahrzeug abgedeckt wurde. Somit weist dieses Fahrzeug verglichen mit den anderen Fahrzeugen überdurchschnittlich viele Langstrecken auf, bei denen auch an externer Ladeinfrastruktur geladen werden musste. Insgesamt betrug die pro Ladevorgang geladene Energie im Schnitt 17,55 kWh.

AP 4.2 - Befragung der Probanden hinsichtlich Komfort, Zufriedenheit und Zahlungsbereitschaft

In einer zweiten Teilnehmerbefragung im November 2022 wurden die Erwartungen und Befürchtungen der teilnehmenden Probanden an Elektromobilität und bisherige Erfahrung mit dieser abgefragt. Dieser Zeitpunkt lag vor der Vergabe der Elektrofahrzeuge. Im November 2023, nach gut einem Jahr der Nutzung, wurden die tatsächlichen Erfahrungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmern ermittelt.

Zum Befragungszeitpunkt im November 2022 hatte keiner der Projektteilnehmenden bereits ein Elektroauto besessen. Bei allen haben die erhöhten Anschaffungskosten bzw. die geringe Verfügbarkeit von elektrischen Fahrzeugen zum Zeitpunkt des letzten Autokaufs eine entscheidende Rolle bei der Entscheidung gespielt. Der Ausbaustand der öffentlichen Ladeinfrastruktur war zusätzlich bei sieben Befragten Grund sich für einen Verbrenner zu

entscheiden. Auch die unklare verbliebende Batteriekapazität und deren genereller Zustand bei Gebrauchtwagen spielten für sechs Befragte eine Rolle. Drei Teilnehmer würden sich zum Stand vom November 2022 beim nächsten Autokauf für ein Elektrofahrzeug entscheiden. Für die anderen Teilnehmer war auch zu diesem Zeitpunkt der Mehrpreis im Vergleich zum Verbrenner, neben der mangelnden Verfügbarkeit gewünschter Fahrzeugklassen und dem mangelnden Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur ausschlaggebend. Für das Leasing eines Elektroautos würden die Teilnehmenden im Durchschnitt 263€ pro Monat ausgeben.

Nach einem Jahr der Nutzung von Elektrofahrzeugen geben noch zwei weitere Teilnehmer an bei der nächsten Fahrzeuganschaffung ein Elektrofahrzeug kaufen zu wollen. Der höhere Preis spielt nur noch bei zwei Personen eine größere Rolle bei der Entscheidung. Bei allen ist dafür die zu geringe Reichweite bei Wochenend- und Urlaubsfahrten von entscheidender Bedeutung. Den Ausbaustand der öffentlichen Ladeinfrastruktur sehen noch vier Personen problematisch. Insgesamt sind aber die Vorbehalte gegenüber Elektrofahrzeugen im Laufe des Jahres deutlich gesunken. Aufgrund einer fehlenden Vergleichsgruppe bleiben die Gründe hierfür allerdings schwer einzuordnen. Die Zahlungsbereitschaft für das Leasing eines Elektrofahrzeugs hat sich in dem Jahr kaum verändert und liegt bei durchschnittlich 270€ pro Monat.

Da im Rahmen des Projekts keine Zahlungen für die Benutzung der Fahrzeuge geleistet werden mussten, sind die absoluten Zahlen zur Zahlungsbereitschaft mit entsprechender Vorsicht zu genießen und bilden vermutlich nicht die Wirklichkeit ab.

AP 4.3 - Vorbereitung der Versuchsdaten zur Bestimmung des Potentials der Lastspitzenglättung an Ladestandorten

Basierend auf den Mobilitätsdaten und aufgezeichneten Ladedaten wurden Zeitreihendaten für die Verfügbarkeit der Fahrzeuge aus Sicht des lokalen Energienetzes sowie für den Energiebedarf der Fahrzeuge erstellt.

Zur Bewertung des PV-Potenzials am Standort wurde eine Anbindung an PV-Potenzial-Services PV-GIS¹ und Solcast² geschaffen. Im Gegensatz zu PV-GIS sind die beim Anbieter Solcast für wissenschaftliche Zwecke abrufbare Daten auch für den Versuchszeitraum verfügbar, weshalb diese Daten für die im Projekt getätigten Auswertungen verwendet wurden. Die von Solcast

¹ Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

² Solcast. <https://www.solcast.com/>

erhaltenen Einstrahlungsdaten wurden anschließend mithilfe eines PV-Modells in eine Zeitreihe spezifischer Leistungen überführt. Wie bereits in AP 1.4 beschrieben war eine Aufzeichnung des Lastprofils der teilnehmenden Haushalte nicht möglich. Aus diesem Grund wurde für ein den Standort ein synthetisches Lastprofil erzeugt und in eine optimierbare Zeitreihe überführt. Die hierbei verwendete Haushaltszusammensetzung wurde den teilnehmenden Probanden in der Studie nachempfunden. Auch für die verwendete Ladeinfrastruktur konnten keine kontinuierlichen Lastprofile ermittelt werden, da die Daten nur buchungsweise zur Verfügung standen. Diese Daten waren jedoch ausreichend, um einen realistischen Lastgang bzw. Eine Energienachfrage inklusive der durch die Randbedingungen des priorisierten Mobilitätsbedürfnis erzeugten Flexibilitäten zu rekonstruieren. Die in der Simulation verwendeten Strompreise basieren auf den Day-Ahead Preise der Gebotszone Deutschland-Luxemburg mit den ortsüblichen Steuern und Abgaben. Da erst durch zeitvariable Tarife das gesamte Potenzial von gesteuertem Laden abgerufen werden kann, wurde sich hier bewusst dafür entschieden, einen solchen zeitvariablen Tarif anzuwenden, wie er zwar in Deutschland noch nicht weit verbreitet ist, aber zum 01. Januar 2025 verpflichtend von jedem Stromversorger angeboten werden muss. Alle Daten wurden in für die Simulationsumgebung verarbeitbare Datenformate konvertiert und aufbereitet.

AP 5 - Versuchsumsetzung: Sharingphase

In diesem Arbeitspaket wird analog zu AP 4 die wissenschaftliche Begleitung der Sharingphase stattfinden. Hierbei wurden Befragungen zu Komfort, Zufriedenheit und Zahlungsbereitschaft sowie die Aufzeichnung und Analyse des Lade- und Mobilitätsverhaltens nach Übergang in die Sharingphase aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde auch eine mögliche Veränderung der Mobilität bestimmt und basierend auf dem beobachteten Verhalten energetisch und organisatorisch optimale Betriebskonzepte für Fahrzeug- und Infrastruktur-Sharing in urbanen Wohnquartieren entworfen.

AP 5.1 - Aufzeichnung und Analyse des Mobilitäts- und Ladeverhaltens in der Sharingphase

Die Aufzeichnung des Mobilitäts- und Ladeverhaltens der Teilnehmer in der Sharing-Phase erfolgte sowohl über die in den Fahrzeugen angebrachten Datenloggern als auch über die Buchungsplattform der Fahrzeuge und die Ladedaten der Ladesäulen.

Die Carsharing-Flotte wurde während der Carsharing Versuchsphase zu 81 % am Heimstandort geladen. Lediglich 19 % der geladenen Energie stammte von externer Ladeinfrastruktur. Das Vorgehen zur Ermittlung des Ladesplits stimmt mit dem in AP 4.1 erläuterten Vorgehen überein. Auch wenn den Teilnehmern während des Projektes Ladekarten für externe Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt wurden, konnten die so ermittelten Ladevorgänge nicht alle externen Ladevorgänge abbilden. Beispielsweise konnte kostenfreies Laden am Arbeitsplatz oder Laden auf Urlaubsreisen im Hotel oder an anderen semi-öffentlichen Ladepunkten durch die Ladekarten nicht erfasst werden. Aus diesem Grund wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Werte wieder auf das in AP 4.1 vorgestellte Vorgehen zurückgegriffen. In 762 Ladevorgängen in dieser Phase wurden dabei im Schnitt 11,66 kWh pro Ladevorgang geladen.

Das Mobilitätsverhalten der Teilnehmer lag insgesamt auf vergleichbarem Niveau wie in den vorangegangenen Phasen. Alle teilnehmenden Haushalte nutzen die angebotenen Fahrzeuge nach wie vor sehr regelmäßig und zeigen keine extremen Abweichungen in ihrem Mobilitätsverhalten. Bei den zurückgelegten Distanzen fällt auf, dass kürzere Fahrten in der Sharingphase nicht so häufig auftreten, wie in der vorangegangenen Phase. Die genaue Auswertung wird in AP6.1 beschrieben.

AP 5.2 - Administration und Betreuung von Service-Desk und Buchungs-/Reservierungsbackend

Verantwortlicher Projektpartner für AP 5.2: in-tech GmbH

AP 5.3 - Untersuchung von energetisch und organisatorisch optimalen Betriebskonzepten

Zur Bestimmung von energetisch und organisatorisch optimalen Betriebskonzepten wurde am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik ein Optimierungstool aufgebaut. Die Fahrzeuge der Carsharingflotte stehen über 70 % der gesamten Zeit in der Tiefgarage, wovon bei Verfügbarkeit der vollen Ladeleistung von 11 kW lediglich 5 % der Zeit zum Laden der Fahrzeuge aufgewendet werden muss. Diese geringe Auslastung ist in der kleinen Flotte und dem starken Fokus auf hohe Fahrzeugverfügbarkeiten begründet. Bei einer größeren Flotte und größeren Benutzergruppe, die vermutlich zu einer durchschnittlich höheren Auslastung führt, da einzelne Ausreißer im Mobilitätsverhalten anteilig nicht so stark ins Gewicht fallen, werden Betriebskonzepte eine größere Rolle spielen, da hier eine kürzere Zeit zum Laden zur Verfügung stehen wird.

Eine Reduktion der Anzahl an Ladepunkten aufgrund derer geringer Auslastung ist jedoch nicht sinnvoll, da aufgrund der hohen Standzeiten am Standort immer wieder Fahrzeuge umgeparkt werden müssten, was organisatorisch nur mit großem Aufwand darstellbar ist. Auch hat sich gezeigt, dass der fest zugewiesene Parkplatz teilweise auch ein Kriterium bei der Wahl des gebuchten Autos darstellt, da die baulichen Gegebenheiten der Tiefgarage z.B. auf einem Parkplatz den Einbau eines Kindersitzes erschweren. Auch dieser Vorteil würde dabei wegfallen.

Durch die geringe Ladezeit ergibt sich beim Laden jedoch eine große Flexibilität, die kostenoptimierend genutzt werden kann. Ergebnisse des Simulationsmodells zeigen, dass auch ohne Lastmanagement die fünf Fahrzeuge der Carsharingflotte sowie drei zusätzliche private Pkw geladen werden könnten, ohne dabei den Hausanschluss zu überlasten. Liegt jedoch ein nur minimal geändertes Mobilitätsverhalten oder Lastprofil der Haushalte vor, würde es zu Leistungsengpässen kommen, weshalb ein Lastmanagement stark zu empfehlen ist. Hierbei wurde eine maximale Ladeleistung von 22 kW für die fünf Fahrzeuge der Carsharingflotte angewendet. Für unterschiedliche Strategien der Verteilung der Ladeleistung auf die Fahrzeuge (nach Ankunftszeitpunkt, geringstem SOC oder gleichmäßige Verteilung) traten nur zu vernachlässigende Kostenunterschiede auf. Begründet wird das durch das seltene Auftreten von gleichzeitigen Ladeprozessen der Fahrzeuge. Eine bidirektionale Integration der Fahrzeuge in das lokale Energienetz hingegen hat das Potenzial die Energiekosten am Standort drastisch zu senken. Auch wenn durch vehicle-to-vehicle Integration die Energiekosten kaum sinken,

können durch eine vehicle-to-building Integration der Carsharingflotte die Kosten für elektrische Energie am Standort um bis zu 38 % gesenkt werden, was jedoch mit vermehrten Lastspitzen zu Zeiten kostengünstiger Energie einher geht. Die Anwendung eines Tarifs mit regulierender Leistungsmessung führt verglichen mit den reduzierten Energiekosten durch bidirektionales Laden zu 8 % höheren Energiekosten, dabei sinkt die Spitzenlast am Netzanschlusspunkt von 55 kW jedoch auf bis zu 11 kW. Die in diesem Arbeitspaket simulierten Lastgänge am Netzanschlusspunkt dienen als Grundlage für AP 6.4.

AP 5.4 - Probandenbefragung: Komfort, Zufriedenheit, Adaptionen- und Zahlungsbereitschaft

Während der gesamten Versuchsphase wurden die Teilnehmer zu ihrer Zahlungsbereitschaft und ihrer Einschätzung zum im Projekt erprobten Carsharing Modell befragt. Die Fragen bezogen sich unter anderem auf das favorisierte Abrechnungsmodell. Auszuwählende Möglichkeiten waren hierbei ein Minuten- oder Kilometerpreis, ein Abo-Modell oder ein Abo-Modell mit verringerter Zuzahlung. In allen Umfragen zeigte sich ein bunt gemischtes Stimmungsbild bzgl. der Zahlungsmodalität. Die gewünschten Zahlungsmuster variierten nicht nur zwischen den Teilnehmenden, sondern bei vielen auch von Umfrage zu Umfrage. Daraus lässt sich schließen, dass das Abo-Modell entweder nicht entscheidend ist oder sich die Teilnehmenden nichts Konkretes unter den angebotenen Zahlungsmöglichkeiten vorstellen konnten. Die Zahlungsbereitschaft stieg im Mittel über die Projektlaufzeit von anfänglich 112€ pro Monat im Durchschnitt zu 147€ pro Monat leicht an. Allerdings sind auch diese absoluten Zahlen nicht belastbar, da keine echten Zahlungen geleistet werden mussten. Die Bereitschaft auch mal selbst bei Verschmutzungen des Fahrzeugs dieses zu reinigen, ist im Laufe des Projektes auf hohem Niveau konstant geblieben. Allerdings wurde über das Projekt ein professioneller Putzservice, der sich regelmäßig um die Fahrzeuge gekümmert hat, organisiert, weshalb nur die Wenigsten tatsächlich jemals selbst putzen mussten. Stark gestiegen ist über den Projektverlauf dagegen die Zuversicht, dass das gebuchte Auto immer rechtzeitig vom Vorbenutzer wieder zurückgebracht werden wird. Gesunken dagegen das Störempfinden, falls doch mal ein Fahrzeug nicht rechtzeitig zur Verfügung steht. Gestiegen sind über den Projektverlauf die Bewertung der Kommunikationsqualität unter den Teilnehmern und die Zuversicht, dass auftretende Probleme zur Zufriedenheit aller geklärt werden können. Diese durchweg positiven Tendenzen spiegeln sich auch in der Abschlussfrage nach der insgesamt Zufriedenheit der Teilnehmenden mit dem Carsharing Konzept wider, die auf einem hohen Niveau liegt. Dem hohen Wert nicht ganz entsprechend sind die Aussagen zur Bereitschaft das eigene Auto zu verkaufen, wenn das Carsharing so wie es war weitergeführt würde. Zwar geben alle Teilnehmenden an,

dass sie das Carsharing weiter nutzen würden, aber nur 5 von 12 geben an, dass sie dann auch ihr privates Fahrzeug verkaufen würden. Hauptkritikpunkte sind die zur Verfügung gestellten Fahrzeuge. Hier wünschen sie die Teilnehmer mehr Platz im Kofferraum, eine Anhängerkupplung, eine größere Batteriekapazität und somit höhere Reichweite und unterschiedliche Fahrzeugtypen für unterschiedliche Mobilitätsanforderungen. Ob auch die restlichen Personen bei Erfüllung dieser Bedingungen durch die angebotene Fahrzeugflotte zum Verkauf ihres privaten Fahrzeugs bereit sein würden, bleibt Forschungsgegenstand.

AP 5.5 - Analyse der Ergebnisse und Ableitung von Kriterien für die technische und wirtschaftliche Realisierung von quartiersbezogenem Carsharing

Die angegebene, durchschnittliche Zahlungsbereitschaft von 150 € pro Monat und Person liegt mit summierten 1650€ deutlich unter der Leasingrate von 3150€ für alle Fahrzeuge. Allerdings zeigt sich auch eine gewisse Unzufriedenheit mit den angebotenen Fahrzeugen in Bezug auf die Geräumigkeit und die Batteriereichweite. Da eine große Mehrheit der Probanden daher auf ihr privates Fahrzeug nicht verzichten kann, könnte eine geänderte Flottenzusammensetzung schon deutliche Änderung hervorrufen und einen Ausschlag hin zu einem wirtschaftlichen Business Case geben.

AP 6 - Simulation stadtweiter Mobilitäts- und Energieauswirkungen

In diesem Arbeitspaket wurden die Individualnutzungs- und Sharingphase des Realversuchs miteinander verglichen, um Auswirkungen von Carsharing auf das Mobilitätsverhalten und dementsprechend auch auf die energetische Situation untersuchen zu können. Die Ergebnisse wurden dann verwendet, um bei einer Ausweitung des Sharing-Angebots auf ganz München auftretende Effekte abzuschätzen.

AP 6.1 - Vergleich des Lade- und Mobilitätsverhaltens der Probanden in beiden Studienphasen

In diesem Unterarbeitspaket wurden Lade- und Mobilitätsverhalten für die beiden betrachteten BEV-Nutzungsszenarien verglichen. Wie in AP 4.1 (Individualnutzungsphase) bzw. AP 5.1 (Sharingphase) beschrieben, steigt der Anteil der am Heimstandort geladenen Energie an der gesamt geladenen Energie von 72 % auf 81 %. Der höhere Anteil an Heimpladen in der Sharingphase verglichen mit der Individualnutzungsphase lässt sich durch die größere Anzahl Haushalte erklären, wodurch der eine Haushalt aus der Individualnutzungsphase, der einen Ladesplit von 36% zu 64% zugunsten von öffentlichem Laden aufwies, geringer gewichtet wurde. Somit fand ein größerer Anteil Fahrten im Raum München statt, sodass hier keine Notwendigkeit zum externen Laden bestand. Vergleicht man die geladene Energiemenge je aufgezeichnetem Ladevorgang so ist eine Reduktion, um ca. 1/3 zu beobachten. Dabei ist das über die verschiedenen Fahrzeuge betrachtete Ladeverhalten jedoch deutlich homogener als in der Individualnutzungsphase, in die einzelnen Fahrzeuge stark unterschiedliche Ladecharakteristika aufwiesen.

Bei der Analyse der Mobilitätsdaten haben wurde das Prinzip des Radius of Gyration nach (González, Marta C.; Hidalgo, César A.; Barabási, Albert-László (2008): Understanding individual human mobility patterns. In: Nature 453 (7196), S. 779–782. DOI: 10.1038/nature06958.) angewendet. Dieser berechnet den Bewegungsradius von Personen. Dieses Verfahren wurde abgewandelt, um den Bewegungsradius mit dem Fahrzeug bestimmen zu können. Für die Berechnung werden ausschließlich Aktivitäten berücksichtigt. Das bedingt, dass aus den aufgezeichneten Mobilitätsdaten besuchte Orte extrahiert werden mussten. Ein Ort wurde als besucht gewertet, immer wenn der Fahrzeugmotor ausgeschaltet worden ist und der Aufenthalt am Ort länger als 10 Minuten erfolgte. In der weiteren Analyse fiel auf, dass die Fernverkehrsmobilität (Fahrten über 200km) einen großen Einfluss auf den berechneten Bewegungsradius hat, diese allerdings so unregelmäßig auftrat, dass diese die Ergebnisse stark verzerrte. Da allerdings die Fernverkehrsmobilität beim Fahrzeugbesitz und der -Nutzung eine

entscheidende Rolle spielt, wurde diesem Thema im Rahmen des Projektes eine tiefgreifende Untersuchung gewidmet. Diese ist [hier](#) zu finden.

Für die Analyse der Mobilitätsveränderung zwischen den Phasen wurde die Fernverkehrsmobilität aber herausgerechnet, um vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können. Der Bewegungsradius ist für vier von fünf Haushalten in Phase 2 im Vergleich zu Phase 1 gesunken. Im Mittel über alle Haushalte betrug der Rückgang 27%. Dies ist vor allem auf vermehrte Kurzstrecken mit dem Elektrofahrzeug zurückzuführen. Dies deckt sich auch mit Teilnehmergesprächen in denen das gleiche Selbstreflektierte Verhalten beobachtet worden ist. In der Sharingphase stieg der Bewegungsradius für alle fünf Haushalte im Vergleich zur Phase 2 wieder deutlich an um durchschnittlich 39%. Im Vergleich zwischen Phase 1 und 3 zeigt sich allerdings ein gemischtes Bild. Über alle teilnehmenden Haushalte stieg der Radius zwar um 5% leicht an, was auf eine durchschnittlich geringfügig seltenere Nutzung des Pkw in der Sharingphase für Kurzstrecken zurückzuführen ist, einen Anstieg konnte allerdings nur bei 4 Haushalten beobachtet werden. Bei einem Haushalt kehrte der Bewegungsradius nach Phase 2 wieder auf den Wert von Phase 1 zurück und bei den anderen beiden Haushalten blieb der Bewegungsradius auch in der Sharingphase unterhalb der Phase 1. Der Vollständigkeit halber ist an diesem Punkt anzumerken, dass sich die beschriebenen Aussagen nur auf die Bewegungsdaten von den sieben teilnehmenden Haushalten stützen und deshalb nicht allgemeingültig übertragbar sind.

AP 6.2 - Vergleich der Auslastung und Effizienz der Ladepunkte

In der Individualnutzungsphase waren die Fahrzeuge, die an dem funktionsfähigen Lademodul geladen wurden, zu 18,5 % der gesamten Versuchszeit an die Ladesäule angeschlossen. Dieser niedrige Wert kommt daher zustande, dass viele Probanden in der Zeit ohne private Ladeinfrastruktur ihr Fahrzeug nur bei Bedarf geladen haben und dieses Verhalten dann übertragen haben. In der Carsharingphase wurde vereinbart, die Fahrzeuge immer bei Rückkehr in die Tiefgarage anzuschließen, um so möglichst viele Fahrten ohne externes Laden komfortabel absolvieren zu können. In dieser Phase waren die Fahrzeuge 44,3 % der Zeit an der Ladeinfrastruktur angesteckt. Für das reine Nachladen des Fahrzeugspeichers wurde in der Individualnutzungsphase 8,5 % der angesteckten Zeit und 1,5 % der gesamten Zeit des Zeitraums benötigt. In der Carsharingphase betrugen diese Werte 5,1 % bzw. 2,3 %. Die hier aufgeführten Werte sind jedoch vermutlich durch fehlende Datenpunkte bei der Ladeaufzeichnung in der Carsharingphase verfälscht. Für die energetische Betrachtung wurden aus diesem Grund die gefahrene Distanz der Buchungen für den Energieverbrauch verwendet. Die so aus dem

Ladeverhalten der Carsharingfahrzeuge resultierenden Lastspitzen am Netzanschlusspunkt des betrachteten Gebäudes für unterschiedliche Ladestrategien fließen in AP 6.4 ein.

AP 6.3 - Herleitung des Kompromisses zwischen maximal wirtschaftlichem Betrieb der Fahrzeugflotte und maximalem Nutzerkomfort für die Metropolregion

Während der gesamten Laufzeit des Reallabors haben wir die gemachten Fahrten mit allen am Projekt beteiligten Fahrzeugen mit Hilfe von verbauten Datenloggern aufgezeichnet. Unter diese Fahrzeuge fallen die fünf vom Projekt zur Verfügung gestellten Elektrofahrzeuge, aber auch alle privaten Fahrzeuge unserer Projektteilnehmenden. Zusätzlich zu den Daten der Logger, haben wir auch die Buchungsdaten der verwendeten Buchungsplattform für die fünf Elektrofahrzeuge ausgewertet. Dies hatte zum Ziel, sicher zu gehen, dass auch wirklich alle Fahrten in den ausgewerteten Daten enthalten sind.

Unter der Annahme, dass ein optimales Carsharing Konzept in der Zukunft alle Fahrten mit dem privaten Pkw überflüssig macht, wurden die Fahrten mit den Elektrofahrzeugen und den Privatfahrzeugen kombiniert. Das resultierte in dem Ergebnis, dass in 99% der Zeit fünf Carsharing Fahrzeuge ausreichend sind, um den gesamten Mobilitätsbedarf zu decken. Bei einer Reduktion um ein Fahrzeug sinkt dieser Wert auf 95%. Eine Ausfallrate von 5% aller Fahrten ist allerdings zu hoch, dass hier nicht mehr von einer verlässlichen Verfügbarkeit gesprochen werden kann und zu befürchten ist, dass das Angebot nicht mehr als Ersatz zum privaten Pkw wahrgenommen wird und somit sein Ziel verfehlt. Zu keinem Zeitpunkt der untersuchten Carsharing Phase von neun Monaten waren mehr als sieben Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs. Aus diesen Werten lässt sich aus Mobilitätssicht nun die optimale Flottengröße für unsere 13 Teilnehmer auf fünf bis sieben Fahrzeuge beziffern. Eine Erweiterung der Fahrzeugflotte um weitere Fahrzeuge verglichen mit der im Projekt verwendeten Flotte mit fünf Fahrzeugen ist aus energetischer Sicht weder im unidirektionalen noch im bidirektionalen Betrieb notwendig, da die Batteriekapazität der Fahrzeuge bereits so groß ist, dass der gesamte Hausverbrauch davon über lange Zeit abgepuffert werden kann und somit die durch ein zusätzliches Fahrzeug verursachten Mehrkosten bei weitem nicht von der zu erwartenden sehr geringen Energiekostenreduktion gedeckt werden können. Die tatsächliche Flottengröße unter Einbeziehung aller kombinierten Effekte sowohl aus Mobilitäts- als auch Energiesicht, aber vor allem aufgrund tiefgreifender wirtschaftlicher Überlegungen und Rahmenbedingungen kann der Carsharing Betreiber basierend auf den Ergebnissen von AP 3.2 sowie 7.3 festlegen.

AP 6.4 - Übertragung der Studienergebnisse auf die Metropolregion

Die Untersuchung der Auswirkungen des stadtweiten Carsharings auf die Metropolregion erfordert zunächst die Modellierung der Mobilitätsnachfrage für die Metropolregion München. Des Weiteren ist die Erstellung eines Rastermodells der Metropolregion München erforderlich, um eine Optimierung des Energiesystems zu ermöglichen. Die Größe des Modells bedingt jedoch, dass eine Ausführung als lineares Programmierungsoptimierungsmodell nicht möglich ist. Als alternative Vorgehensweise kann eine Aggregationsebene an den Nachfrageknoten erstellt werden, um die Handhabbarkeit des Programms auf modernen Servern zu gewährleisten. Die Aggregation der Knoten führt jedoch zu einer Verringerung des Einflusses der Ladestrategie auf Spitzenlastszenarien, für die eine Darstellung einzelner Knoten mit Zeitreihen erforderlich ist. Daher wurde als Kompromiss beschlossen, sich auf den Aspekt der Mobilitätsnachfragemodellierung in der Metropolregion zu konzentrieren und das Netzmodell für eine vollständige Optimierung zu ignorieren. Da die tatsächlichen Niederspannungsnetzdaten der Stadt nicht verfügbar sind, ist es zudem ratsam, den Fokus auf den Anstieg des Energieverbrauchs zu legen. Überlastungsprobleme im Netz werden derzeit außer Acht gelassen, da der Übergang zur vollständigen Elektromobilität eine signifikante Netzverstärkung in jeder Metropolregion weltweit erforderlich machen wird.

Die Generierung der Reisedaten für die Mobilität erfolgt unter Zuhilfenahme von Tools wie MITO, welche auf den MiD-Studien basieren. Die Ergebnisse der MITO-Analyse werden jedoch lediglich für einen repräsentativen Tag im Jahr dargestellt. Unter Zuhilfenahme öffentlich verfügbarer, gemessener Reisedaten für ähnlich große Metropolregionen erfolgt eine Konvertierung der repräsentativen Tagesnachfrage von MITO in einen Datensatz für ein Sommerwochenende, einen Sommerwochentag, ein Winterwochenende sowie einen Winterwochentag. Im Anschluss erfolgt eine erneute Clusterung der Fahrten auf Basis von Zensusdaten pro Bezirk, woraus sich für jeden Münchner Bezirk ein Bedarf an Ladeleistung für Elektromobilität in kWh unter Berücksichtigung der aktuellen Mobilitätsmuster für Sommer, Winter, Wochenende und Wochentag ableitet. Da das Carsharing-Prinzip im Projekt die Menschen dazu ermutigt, ihre Mobilitätsmuster beizubehalten, bleiben die Bedarfsschätzungen bei Modellen mit Privatbesitz oder Sharing-Modellen unverändert.

Es wird angenommen, dass zur Elektrifizierung des gesamten Münchner Mobilitätssektors zusätzlich 523 GWh Strom benötigt werden. In Bezugnahme auf den aktuellen Stromverbrauch in Metropolregionen lässt sich eine Steigerung des Gesamtverbrauchs um etwa 20 % prognostizieren. Diese Zahl stimmt mit der Schätzung des [BMUV](#) überein. Eine Aufschlüsselung nach Stadtteilen zeigt, dass der höchste Anstieg in den Stadtteilen Maxvorstadt, Allach-

Untermenzing und Aubing zu erwarten ist. Der Verbrauch wird dort an Wochenenden um 40 % und an Wochentagen um 25–30 % ansteigen. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Reismustern im Winter und Sommer festgestellt werden. Allerdings zeigt sich, dass der Verbrauch an Wochenenden im Durchschnitt um 7 % höher liegt als an Wochentagen.

AP 6.5 - Visualisierung und Demonstration der energetischen Modellergebnisse

Die Visualisierung der Projektergebnisse erfolgt an dem vom MCube Projekt DatSim aufgebauten Datentisch. Das dabei entwickelte Framework wurde genutzt, um die beispielsweise die im Projekt aufgezeichnete Mobilität, Ladeinfrastruktur und den abgeschätzten Energiebedarf bei einer weiteren Verbreitung von elektrifiziertem, quartiersbasiertem Carsharing in der Landeshauptstadt München in den einzelnen Stadtvierteln zu visualisieren. Die Benutzeroberfläche des Datentischs ist interaktiv ausgeführt und verfügt über zusätzliche erläuternde Informationen zu den aufgezeigten Daten.

AP 7 - Ableitung von Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen

In diesem Arbeitspakete wurde die Aufbereitung der Projekterkenntnisse in Form von übertragbaren Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen für öffentliche Hand, Wohnungswirtschaft, Netzbetreiber, Energiesystemplaner und -versorger sowie für sonstige gewerbliche Stakeholder angestrebt.

AP 7.1 - Ableitung von Empfehlungen für die öffentliche Hand

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass quartiersbasiertes Carsharing in der erprobten Form umsetzbar ist und viele Vorteile mit sich bringt, die es deutlich mehr Personen ermöglichen, auf das private Auto zu verzichten, ohne dabei größere Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Der Fokus in diesem Arbeitspaket lag in dem Herausarbeiten von für die Gestaltung von gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen relevanten Faktoren, die eine Mobilitätswende unter Einbezug von Carsharingkonzepte, wie sie in diesem Projekt untersucht wurden, vorantreiben könnten. Teil der abgeleiteten Handlungsempfehlung ist auch, welche Rahmenbedingungen nötig wären, um eine flächendeckende Umsetzung von solchen Konzepten zu forcieren.

AP 7.2 - Ableitung von Empfehlungen für die Wohnungswirtschaft

Wie in AP 7.1 beschrieben, kann quartiersbasiertes Carsharing unter den richtigen Rahmenbedingungen zu einer Reduktion von Fahrzeugen im Privatbesitz führen. Dieses Potenzial können Akteure der Wohnungswirtschaft nutzen, um so in Kooperation mit der öffentlichen Hand eine Reduktion der benötigten Stellplätze zu erzielen und dadurch Kosten zu sparen. Experteninterviews haben darüber hinaus ergeben, dass eine teilweise Umlage der Carsharing-Kosten auf die Miete zu einer höheren Akzeptanz des Angebots führen könnte, da so der zusätzlich erhobene Preis zur Nutzung der Fahrzeuge gesenkt werden kann. Weitere wichtige Punkte sind das gewählte Betreibermodell des Carsharings, da hierbei eine hohe Integration zwar Kosten spart, aber jedoch auch zulasten möglicher Privilegien gemeinnütziger Wohnungsanbieter führen könnte. Um bidirektionales Laden am Standort nutzen zu können, ist jedoch eine Form von Mieterstrom nötig, um die Kosten der durch die Haushalte verbrauchte Energie durch die Nutzung der Fahrzeugspeicher reduzieren zu können.

AP 7.3 - Ableitung von Empfehlungen für andere gewerbliche Stakeholder

Verantwortlicher Projektpartner für AP 7.3: in-tech GmbH

AP 7.4 - Ableitung von Empfehlungen für Netzbetreiber, Energiesystemplaner und -versorger

Unsere Nachfragemodellierung zeigt, dass der Anstieg des Stromverbrauchs durch eine vollständig elektrifizierte Mobilität in München – geschätzt auf 20–25 % jährlich – mit der bestehenden Netzinfrastruktur bewältigt werden kann. Dennoch bergen Spitzenlastzeiten, insbesondere abends, Risiken für Engpässe. Eine Netzverstärkung in dicht besiedelten Gebieten sowie der Einsatz fortschrittlicher Netzmanagement-Technologien sind notwendig, um Stabilität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Carsharing bietet zwar Vorteile wie weniger Verkehrsaufkommen und einen reduzierten CO₂-Ausstoß, stellt jedoch Herausforderungen für die Netzflexibilität dar, da die höheren Auslastungsraten die Ladezeitfenster verkürzen. Dies erschwert die Nutzung von Elektrofahrzeugen als mobile Energiespeicher und erhöht die Netzbelastung zu Spitzenzeiten. Anreize für das Laden außerhalb der Hauptzeiten könnten das Verhalten der Nutzer positiv beeinflussen, allerdings ist die Dynamik von Carsharing und Ladebedarfen noch nicht abschließend untersucht.

Gleichzeitig sind regulatorische Eingriffe wie Ladebeschränkungen in Zeiten hoher Netz Last zwar effektiv, können jedoch die Nutzerzufriedenheit beeinträchtigen, wenn Fahrzeuge dringend benötigt, aber nicht ausreichend geladen sind. Investitionen in Batteriespeichersysteme an stark frequentierten Ladestationen könnten dieses Problem entschärfen und die Akzeptanz fördern. Um Carsharing als nachhaltige Mobilitätslösung zu unterstützen, sollten Kommunen spezielle Park- und Ladeplätze bereitstellen und zusammen mit Carsharing-Anbietern integrierte „intelligente Stadtviertel“ entwickeln, in denen Elektrofahrzeuge mit erneuerbaren Energien und Batteriespeichern kombiniert werden. Transparente Kommunikation über Netzmanagement-Maßnahmen und die Bereitstellung von Alternativen wie Schnellladestationen können das Vertrauen der Verbraucher stärken. So lässt sich die Balance zwischen Netzanforderungen und den Erwartungen der Nutzer sicherstellen.

AP 7.5 - Konsolidierung von Handlungs- und Gestaltungsempfehlungen, Elektrifizierungsszenarien

Die in den vorherigen Unterarbeitspaketen ausgearbeiteten Handlungsempfehlungen wurden in einem zentralen Dokument konsolidiert. Hierbei lag der Fokus auf der Dokumentation der wichtigsten Projektergebnisse sowie den im Realversuch gemachten Erfahrungswerten.

3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der erzielten Ergebnisse

Carsharing kann einen wertvollen Beitrag für den Klimaschutz und eine lebenswerte Stadt leisten. Dafür muss es aber so gestaltet sein und betrieben werden, dass die Bevölkerung das Carsharing auch als wirklichen Ersatz zum privaten Pkw begreift und nutzt. Vorhandene Carsharing Systeme werden entweder als wenig Nutzerfreundlich bewertet oder sie werden primär als Ersatz für den ÖPNV verwendet. Signifikant zurückgegangen ist der private Pkw-Besitz seit der Markteinführung der unterschiedlichen Systeme bislang nicht³. Das in diesem Projekt erprobte Carsharingkonzept ist als direkter Ersatz für den privaten Pkw entworfen worden und soll somit kein zusätzliches Angebot zu diesem darstellen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben vor Versuchsstart ein eigenes Fahrzeug besessen und waren einverstanden es während der Versuchszeit nicht bzw. sehr eingeschränkt zu verwenden. Damit konnte das Projekt Erkenntnisse erzielen, die den privaten Pkw Besitz in Zukunft reduzieren können. Gleichzeitig wurden im Projekt die Synergieeffekte zwischen den Betreibern von Carsharing und Immobilienbesitzern aufgezeigt. In erster Linie gilt es hier, mit der Elektrifizierung der Fahrzeuge und der Integration dieser in das Stromnetz der Immobilie große Potenziale zu nutzen.

Zwar ist es auf Grund der kleinen Stichprobengröße des Versuchs nicht möglich uneingeschränkt gültige Ergebnisse abzuleiten, aber Tendenzen für die Weiterentwicklung des Carsharing Ansatzes lassen sich formulieren. So wurde von 12 der 13 Teilnehmerinnen und Teilnehmern die geschlossene Benutzergruppe positiv hervorgehoben. Nur für einen Teilnehmer macht es nach eigener Aussage keinen Unterschied, ob sich eine bekannte oder eine unbekannte Gruppe die Fahrzeuge teilt. Dies ist ein Erkenntnis, die Carsharing Betreiber helfen wird neue Personengruppen für sich zu gewinnen, die bisher noch nicht für das Carsharing überzeugen ließen. Neben der positiven Bewertung der Teilnehmerinnen und Teilnehmern steht auch eine sehr geringe Schadens- und Verschmutzungsquote an den verwendeten Fahrzeugen nach 18 Monaten als Ergebnis fest. Dabei ist anzunehmen, dass diese ebenfalls auf die geschlossene Benutzergruppe zurückzuführen ist. Den Hauptkritikpunkt der Teilnehmerinnen und Teilnehmer bezieht sich auf die vom Projekt zur Verfügung gestellten voll elektrifizierten Autos. Verwendet wurden fünf Cupra Borns mit der kleinsten Batterie mit einer realen Reichweite von 250 – 350km. Diese haben zwar für den Alltag ausgereicht, aber für längere Fahrten haben sich die Teilnehmenden für die Zukunft Fahrzeuge mit größeren Reichweiten gewünscht. Neben den zu geringen Reichweiten war das Kofferraumvolumen für die teilnehmenden Familien für Fahrten in den Urlaub nicht ausreichend, außerdem haben 4 von 13 Teilnehmenden eine fehlende Anhängerkupplung (hauptsächlich für die Befestigung von Fahrradträgern) bemängelt. So

³ Kolleck, Sustainability, Basel 2021, <https://doi.org/10.3390/su13137384>

mussten Teilnehmende immer wieder auf ihre privaten Fahrzeuge zurückgreifen, um Fahrten aus technischen Gründen nicht mit den vorhandenen Carsharing Fahrzeugen erfüllbar waren. Diese technischen Notwendigkeiten an die Fahrzeuge ist ebenfalls eine wichtige Erkenntnis, die bei der Konzeptionierung von zukünftigen Carsharingflotten mitbedacht werden sollte. Neben den technischen Hürden konnte das Projekt aber zeigen, dass sowohl regelmäßiges Pendeln mit Carsharing Fahrzeugen als auch Fahrten in den Urlaub mit der bereitgestellten Anzahl an Fahrzeugen realisierbar war. Statt der ursprünglich vorhandenen 9 Fahrzeugen, haben in 99% der Zeit fünf Fahrzeuge für die Deckung aller Fahrten ausgereicht. Damit konnte gezeigt werden, dass sich in der richtigen Gruppenzusammensetzung auch intensive Autonutzung und Carsharing nicht ausschließen. Auch diese Erkenntnis ist insbesondere in der Kommunikation mit interessierten Bürgerinnen und Bürgern wichtig, die glauben ihre Fahrzeugnutzung schließe sie vom Carsharing aus.

4. Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Seiten

Carsharing in Wohnimmobilien bereitzustellen war während der Projektlaufzeit immer noch ein Randthema. Inzwischen gibt es aber deutliche mehr Standorte an denen dies umgesetzt worden ist. Carsharing Betreiber sind in vielen Fällen lokale Carsharing Unternehmen, die mit den Immobilienbesitzern langfristige Verträge ausmachen. Dabei gliedern sind die neu entstandenen Stationen in das vorhandene Stationsnetzwerk der Betreiber ein. Zwei auf Immobilien spezialisierte Carsharing Betreiber sind die Mainova⁴ und e+k Move⁵. Diese entwickeln exklusive Carsharinglösungen für einzelne Quartiere. Oft sind die Fahrzeuge in ihren Standorten dann auch nur für die vor Ort wohnenden Bewohner zugänglich. Mit kleineren, geschlossenen Gruppen, wie es in unserem Projekt der Fall war, arbeitet aber nach unserem Wissensstand niemand.

Die Integration von elektrifizierten Carsharing Flotten in das Stromnetz am Standort ist immer noch Forschungsgegenstand. Gerade die Verwendung von im Augenblick nicht verwendeten Carsharing Fahrzeugen als Pufferspeicher oder zur Lastspitzenglättung sind zwar vielversprechende Ansätze, um die Kosten für den Carsharing Betreiber und den Immobilienbesitzer und damit auch für den Carsharingkunden zu senken, aber bis zu einer serienmäßigen Integration dieser intelligenten Ladelösungen ist noch weitere Forschung notwendig.

Andere Projekte, die in diesem Bereich während der Projektlaufzeit Ergebnisse erzielen konnten, sind V2X Suisse und der Forschungscampus Mobility2Grid. In V2X Suisse konnte mit 50 bidirektionalen Elektrofahrzeugen in einer freefloating Carsharing-Flotte in der Praxis gezeigt werden, dass – auch wenn die aktuell hohen Mehrkosten und der regulatorische Kontext heute noch kein rentables Geschäftsmodell für den Einsatz der V2G-Technologie in einer Carsharing-Flotte erlauben – in Zukunft der finanzielle V2X-Nutzen zu Einnahmen von bis zu 2'000.– CHF pro Carsharing-Fahrzeug mit +/- 10 kW Lade- und Entladeleistung und Jahr führen kann, wobei als realistischer Wert (ohne Preisausschläge) jedoch ca. 600.– CHF pro Jahr und Fahrzeug durch das Projekt geschätzt werden.⁶ Im Projekt Mobility2Grid wurde anhand der Daten einer realen Carsharingflotte bestehend aus Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor das Potenzial von elektrifizierten Carsharingflotten für smarte Microgrids untersucht. Der Mehrwert liegt hier vor

⁴ Mainova Carsharing. <https://www.mainova.de/de/fuer-unternehmen/loesungen/elektroautos-im-unternehmen/carsharing>

⁵ Quartiershub. <https://www.quartiershub.com/>

⁶ V2X Suisse. Piffaretti et al. 2024.

https://www.mobility.ch/fileadmin/files/about/media/media_releases/V2X_Suisse_Mobility_Schlussbericht_final_V01.pdf

allem bei der Nutzung ihres DSM (Demand-Side-Management) Potenzials, die mit den analysierten Ladestrategien in Form von Verschiebe- & Rückspeisepotenzialen vorhanden sind.⁷

⁷ Speicherkapazitäten & DSM-Potenziale von E-Carsharing-Flotten. Noeren et al. 2018.
https://mobility2grid.de/bilder/R09_L2R_Poster_Carsharing_Speicherpotenziale_ISE.pdf

5. Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NAB

Erfolgte Veröffentlichungen

a) Wissenschaftliche Publikationen

- Nico Nachtigall and Miriam Magdolen 2024. Seasonal Trends and Sociodemographic Influences on Long-Distance Trips - A Case Study from Munich. 12th Symposium of the European Association for Research in Transportation 2024
- Nico Rosenberger, Philipp Rosner, Philip Bilfinger, Jan Schöberl, Olaf Teichert, Jakob Schneider, Kareem Abo Gamra, Christian Allgäuer, Brian Dietermann, Markus Schreiber, Manuel Ank, Thomas Kröger, Alexander Köhler and Markus Lienkamp 2024. Quantifying the State of the Art of Electric Powertrains in Battery Electric Vehicles: Comprehensive Analysis of the Tesla Model 3 on the Vehicle Level. World Electric Vehicle Journal. <https://doi.org/10.3390/wevj15060268>
- Philip Bilfinger, Philipp Rosner, Markus Schreiber, Thomas Kröger, Kareem Abo Gamra, Manuel Ank, Nikolaos Wassiliadis, Brian Dietermann, Markus Lienkamp 2024. Battery pack diagnostics for electric vehicles: Transfer of differential voltage and incremental capacity analysis from cell to vehicle level. eTransportation. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2024.100356>
- Felix Gotzler, Nico Nachtigall, Konstantin Krauss 2024. Substituting Car Trips: Does Intermodal Mobility Decrease External Costs and How Does It Affect Travel Times? An Analysis Based on GPS Tracking Data. Transport Findings. <https://doi.org/10.32866/001c.120432>
- Allister Loder, Fabienne Cantner, Lennart Adenaw, Nico Nachtigall, David Ziegler, Felix Gotzler, Markus B. Siewert, Stefan Wurster, Sebastian Goerg, Markus Lienkamp, Klaus Bogenberger 2024. Observing Germany's nationwide public transport fare policy experiment "9-Euro-Ticket" – Empirical findings from a panel study. Case Studies on Transport Policy 15, <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101148>
- Julian Achatz, Anurag Mohapatra, Thomas Hamacher 2024. Consideration of round-trip electric car-sharing in residential energy system modeling, 2024 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), Dubrovnik, Croatia. DOI: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.171470781.19840208/v1>
- Philipp Rosner, Brian Dietermann, Marcel Brödel, Anna Paper, Markus Lienkamp 2025. REVOL-E-TION: A Flexible and Scalable Investment Optimization Toolbox for Local Energy Systems Incorporating Electric Vehicle Fleets. Preprint: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5127283>. Revision erneut eingereicht bei SoftwareX

b) Sonstige Veröffentlichungen

- 11. Termin SpeakerSeries – „Sharing – Fluch oder nachhaltiger Lösungsansatz?“ 2023. MCube Speaker Series <https://mcube-cluster.de/event/11-termin-speakerseries-sharing-is-caring/>
- MCube @ Citizens Lab – Thementag Energiewende & Elektrifizierung 2023. IAA Mobility 2023. <https://mcube-cluster.de/event/mcube-ist-dieses-jahr-wieder-auf-der-iaa-vertreten/>
- ZDF heute Journal 2023. <https://www.zdf.de/nachrichten/panorama/verkehrswende-klima-muenchen-kolumbusstrasse-100.html> (ab Minute 2:35). Nicht mehr online verfügbar
- Agree to Disagree! – Mobilität – Kollektiv oder individuell? 2024. ARTE <https://www.arte.tv/de/videos/118858-006-A/agree-to-disagree/>
- Sören Götz 2024. So lässt es sich vielleicht doch aufs eigene Auto verzichten. Zeit Online. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2024-08/carsharing-leihauto-verkehr-autofahren-mietwagen>

c) Geplante Veröffentlichungen

- European Journal of Transport and Infrastructure Research – Projektergebnisse zum Thema Fernverkehrsfahrten (eingereicht)
- Transportation Research Part C (Journal) – Projektergebnisse zum Thema Carsharing (in Ausarbeitung)
- Potenzialanalyse zur Integration einer quartiersbasierten Carsharingflotte in ein lokales Energiesystem (in Ausarbeitung)

6. Zusätzliche Punkte für den Cluster

a) Beitrag des Einzelprojektes zur MCube-Gesamtstrategie bzw. welchen Nutzen der Cluster aus deinem Einzelprojekt zieht (Verbesserung der Qualität von Zeit, Raum und Luft)

Straßen in München sind zugeparkt mit Fahrzeugen und verbrauchen dabei Raum, der anderen Verkehrsteilnehmenden oder Anwohnenden nicht zur Verfügung steht. Unser Projekt hat einen Ansatz entwickelt und getestet, wie dieser Raum reduziert werden kann, ohne dass Einzelne ihr Mobilitätsverhalten dabei anpassen müssen. Dies wurde erreicht, indem ein neuartiger Carsharing Ansatz erprobt wurde, der es ermöglicht auf den privaten Pkw zu verzichten und damit parkende Fahrzeuge zu reduzieren. Die Dimension der Luft konnte unser Carsharing Ansatz bei durch die Verwendung von voll elektrifizierten Fahrzeugen erreichen, die den lokalen Schadstoffausstoß im Vergleich zu den von unseren Teilnehmerinnen und Teilnehmern vorher verwendeten Verbrennerfahrzeugen signifikant reduzieren konnten. Gleichzeitig wird durch die Verwendung von intelligenten Ladetechniken die Verwendung von durch erneuerbare Energien produzierten Strom stark begünstigt. Dies führt ebenfalls zu einem verringerten Ausstoß von Treibhausgasen.

Durch die feste Zuordnung von Autos zu Parkplätzen fällt die Zeit für die Suche eines Parkplatzes für den Nutzer weg. Außerdem müssen sich die Teilnehmenden nicht mehr um Autopflege, Wartungen und Reparaturen kümmern, was ebenfalls Zeit einspart. Geringfügig mehr Zeit wird allerdings bei der Buchung der Fahrzeuge verbracht. Dies erfolgt allerdings in wenigen Schritten per App und fällt dabei nicht nennenswert ins Gewicht.

Das Projekt konnte so in allen drei Dimensionen deutliche Verbesserungen für die Bevölkerung der Metropolregion erarbeiten.

b) Projektübergreifende Zusammenarbeit innerhalb des Clusters

Unsere Reallabor wurde vom Team des Projekts TreX begleitet, die dem Projekt auch immer wieder mit Rat zur Seite standen. Eine digitale Plattform zur Veröffentlichung unserer Projektergebnisse wurde mit dem Datentisch vom Projekt DatSim aufgesetzt und bereitgehalten. Die Implementierung der Visualisierung der Projektergebnisse von ComfficientShare erfolgte unter enger Abstimmung mit dem Team von DatSim. Außerdem hat das Projekt SUE unsere Projektergebnisse evaluiert. Mit dem Projekt aqt konnten wir leider kein räumlich abgestimmtes Reallabor organisieren, dies bleibt aber Ziel für die zweite Umsetzungsphase.