

Nutzerbasierte Relokalisierung von Elektrorollern- Entwicklung und IT-seitige Implementierung- emmy_Relokalisierung

Schlussbericht

Gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Förderrichtlinie „Modernitätsfonds“

Autoren:

Dr.-Ing. Tino T. Herden

Alexander Meiritz

Mareike Vogel

Berlin, Oktober 2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektlaufzeit:

01.08.2017 - 30.06.2020

Zuwendungsempfänger:

Förderkennzeichen: 19F2035A

Electric Mobility Concepts GmbH

Alboinstr. 17-23

12103 Berlin

+49 (0)30 – 220 124 40

kontakt@emmy-sharing.de

<https://emmy-sharing.de/>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Motivation.....	1
2 Voraussetzungen des Vorhabens.....	4
3 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	8
3.1 Grundlegende Konzepte.....	8
3.1.1 Sharing Economy.....	8
3.1.2 Mobilitäts-Sharing.....	14
3.1.3 Emmy.....	21
3.2 Wissenschaftliche Vorarbeiten.....	24
3.2.1 Relokalisierung im Mobilitäts-Sharing.....	25
3.2.2 Optimierung von Versorgungsfahrten.....	50
3.3 Wahrnehmung fehlender Fahrzeugverfügbarkeit im Mobilitäts-Sharing.....	52
3.4 Schlussfolgerungen für das Forschungsvorhaben.....	54
4 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	57
4.1 Aufbau des Forschungsvorhabens.....	57
4.2 Projektplan im Detail.....	58
5 Umsetzung des Vorhabens.....	66
5.1 Analyse des praktischen Anwendungsfalls.....	66
5.1.1 Datenerhebung und Datennutzung.....	66
5.1.2 Operative Prozesse und Limitierungen.....	70
5.1.3 Kunden und Anreize.....	73
5.1.4 Nutzung.....	77
5.1.5 Externe Einflüsse.....	79
5.2 Relokalisierung.....	81
5.2.1 Datenquellen.....	81
5.2.2 Nutzerverhalten.....	85
5.2.3 Standzeitvorhersagen zur Anreizsetzung für die nutzerbasierte Relokalisierung.....	90
5.3 Versorgungsfahrten.....	98
5.3.1 Eingeschränkte Fahrzeugverfügbarkeit aufgrund von Versorgungsfahrten.....	99
5.3.2 Batterie-Tausch-Optimierung.....	101

5.3.3	Batterie-Tausch-App.....	102
6	Abweichungen vom Projektplan während der Umsetzung	105
7	Verwendung der Zuwendung.....	108
7.1	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	108
7.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	109
7.3	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	109
	Literaturverzeichnis.....	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich privates Fahrzeug und Roller-Sharing	2
Abbildung 2: Umsetzungsfortschritt der Ziele der Bundesregierung bzgl. Elektromobilität (vgl. BMWi, 2019).....	4
Abbildung 3: Kennzahlen zur Digitalisierung in Deutschland (vgl. BMWi, 2018).....	5
Abbildung 4: Segmente eines Trips	15
Abbildung 5: Übersicht von Zugang zu Eigentum Mobilitäts-Sharing-Konzepten (angelehnt an (S. Shaheen & Chan, 2016)).....	19
Abbildung 6: Geschäftsgebiet emmy (Stand: 2020).....	22
Abbildung 7: Fahrzeugtypen	23
Abbildung 8: Appansicht	24
Abbildung 9: Perspektiven der Relokalisierung.....	26
Abbildung 10: Schematische Darstellung der dynamischen Veränderung während einer Versorgungsfahrt.....	68
Abbildung 11: Verlaufslinie des Nutzungsverhaltens über 24h	88
Abbildung 12: Kumuliertes Nutzungsverhalten	89
Abbildung 13: Verteilung der Nutzungsdauer	89
Abbildung 14: Nutzungsverhalten in verschiedenen Gebieten	89
Abbildung 15: Ergebnis der Logistischen Regression	93
Abbildung 16: Ergebnis der Logistischen Regression mit Hyperparameter-Optimierung	94
Abbildung 17: Ergebnis der Logistischen Regression eines Ensemble-Modells.....	95
Abbildung 18: Kennzahlen ausgewählter Modelle.....	95
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Simulation zur Nutzenbewertung	97
Abbildung 20: Verteilung der Nicht-Verfügbarkeit	100
Abbildung 21: Tagesverlauf von Batterie-Tausch-Bedarfen.....	100
Abbildung 22: Ausgewählte Ansichten der Batterie-Tausch-App	103

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
API	Application Programming Interface
FFSS	Free-floating Sharing-System/e/en
IT	Informationstechnologie
Lkw	Lastkraftwagen
LOR	Lebensweltlich Orientierte Räume
MILP	Mixed integer linear programming
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
ORION	On Road Integrated Optimization and Navigation
Pkw	Personenkraftwagen
POI	Point of Interest
PPP	Public-Private-Partnership
SBSS	Station-based Sharing-System/e/en

1 Motivation¹

Das Auto nimmt durch sein universales Einsatzspektrum in der persönlichen Mobilität einen großen Anteil der Verkehrsmittelnutzung ein. Der Besitz eines eigenen Pkws geht mit zahlreichen Verpflichtungen und hohen laufenden Kosten einher. Darüber hinaus ist diese Verkehrsmittelnutzung für die Autofahrer mit nicht-monetären Kosten verbunden. Hierzu zählt, dass von Autofahrern jedes Jahr durchschnittlich 157 Stunden im städtischen Verkehr aufgrund von Verkehrsstaus und Parkplatzsuche verschwendet werden (Consultancy.uk, 2015; Freese et al., 2014). Des Weiteren gibt es Ziele, die aufgrund fehlender Parkplätze gar nicht durch ein Auto angefahren werden können und die Nutzungsmöglichkeit des Autos somit einschränken (Kuhnimhof & Nobis, 2018). Diese Phänomene sind insbesondere in verdichteten Regionen – Großstädten und Metropolen – zu beobachten. Die hohe Anzahl an Autos führt über dies hinaus zu einem Stadtbild, das geprägt ist von parkenden Autos und Parkplätzen, die für solche vorgesehen sind, während sie für die eingenommenen und sehr begrenzten städtischen Räume einen geringen Flächennutzungsgrad erzielen (Hardt & Bogenberger, 2016). Dies geht dabei insbesondere einher mit einer durchschnittlichen Nutzung der privaten Fahrzeuge von weniger als einer Stunde pro Tag. Um den Flächenbedarf der privaten Fahrzeuge zu beherrschen, werden Infrastrukturen wie Straßen, Autobahnen und Tunnel erweitert und nehmen fortwährend steigenden Platz in den Städten ein und für andere Zwecke weg. Überdies erzeugen die privaten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren exorbitante Mengen an Schadstoffemissionen in Städten, die schädlich sind für die Umwelt und Einwohner. Diesen Herausforderungen stellen sich Mobilitäts-Sharing-Konzepte für individuelle Verkehrsmittel wie Autos („Car-Sharing“), Motorroller („Roller-Sharing“, im englischen auch „Scooter-Sharing“ oder „Moped-Sharing“), Fahrrädern („Bike-Sharing“) oder Kickscootern (teilweise auch als „Scooter-Sharing“ bezeichnet, aber auch in ergänzter Form als „Kickscooter-Sharing“ oder „Stand-on Scooter-Sharing“ zu finden). Mobilitäts-Sharing trägt nachgewiesen zur Reduzierung des Privatbesitzes von Autos in Städten bei und verringert damit die beschriebenen Belastungen für Umwelt und Gesellschaft (Jorge et al., 2014). Namentlich setzt die Marke „emmy“ an diesem Punkt an und bietet mit Free-Floating Roller-Sharing (die Roller müssen nicht an speziellen Stationen abgestellt werden) von Elektro-Rollern sowohl eine schnellere als auch umweltfreundlichere Alternative zu einem eigenen Pkw. Hervorzuheben im Geschäftsmodell von emmy ist die Nutzung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben. So spielen Hürden im Zusammenhang mit Elektromobilität für die Kunden in der geteilten Nutzung kaum mehr eine Rolle. Hohe Anschaffungspreise, geringe Reichweiten („range anxiety“), dadurch eingeschränkte Alltagstauglichkeit oder erhöhter Planungsaufwand für Ladezyklen sind für Kunden von Mobilitäts-Sharing-Diensten wie emmy nicht sichtbar (Schnieder & West, 2019). Nachteile und Herausforderungen werden von emmy übernommen und gelöst. In Zusammenhang mit Rollern zeigt sich zudem, dass Mobilität günstiger und praktischer sein kann als mit dem Pkw, da Betriebskosten geringer ausfallen, die Umweltbelastung geringer ist, und die angespannte Verkehrs- und Parksituation an Bedeutung verliert, wie Abbildung 1 zusammenfasst (Eccarius & Lu, 2020). emmy ist mittlerweile seit 2015 in Deutschland und seit 2019 auch in Österreich aktiv und bietet insgesamt in fünf Städten ein Sharing-Konzept für Elektroroller an, das sich auf dem Markt etabliert hat.

¹ Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird in diesem Bericht in der Regel die maskuline Form verwendet. Gemeint und angesprochen sind selbstverständlich sowohl Frauen als auch Männer.

Motivation

			
Privates Auto Kosten für Anschaffung, Betrieb und Versicherung	Privates Auto Zeitverlust durch Parkplatzsuch	Privates Auto Schadstoffemissionen, hoher Flächenbedarf und dabei geringe Nutzung	Privates E-Fahrzeug Aufwand des Ladens und eingeschränkte Nutzung durch Ladezyklen
Roller-Sharing Kosten für Nutzung	Roller-Sharing Mehr Parkmöglichkeiten und kleinere Parkplätze können genutzt werden	Roller-Sharing Geringere Emissionen, geringerer Flächenbedarf und hohe Nutzung	Roller-Sharing Anbieter kümmert sich um Laden und Nutzung durch andere Roller gesichert

Abbildung 1: Vergleich privates Fahrzeug und Roller-Sharing

Free-Floating-Sharing-Systeme bringen jedoch den Nachteil starker Schwankungen in den Standzeiten der Fahrzeuge mit sich, da die Roller teilweise an Orten stehen, an denen sie nicht gebraucht werden. Umgekehrt werden häufig Roller zu bestimmten Zeiten und an Orten nachgefragt, an denen keine verfügbar sind. Ursache für diesen „Mismatch“ zwischen Angebot und Nachfrage ist zum einen die Entscheidung von Nutzern für unterschiedliche Verkehrsmittel bei Hin- und Rückweg im Pendelverkehr. Dieses Verhalten ist dabei sowohl systematisch als auch teilweise abhängig von externen Faktoren wie dem Wetter. Über dies hinaus treten Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenenden in Bezug auf Quellen und Senken der Fahrten auf. Analysen der Rollerstandzeiten haben bestätigt, dass an bestimmten Orten zu bestimmten Zeiten die Mobilitätsnachfrage durch den vorhandenen Angebotsmix aus ÖPNV und Sharing-Konzepten noch nicht gedeckt ist. Dabei nimmt der Kundenstamm, der auf diesen Angebotsmix zugreifen möchte, stetig zu. Beispielhaft wurden zum Zeitpunkt der Antragsstellung (2017) in Deutschland ca. 1,7 mio. Kunden von Car-Sharing Diensten erfasst, während es zu Projektende (2020) ca. 2.3 mio. Kunden sind (Bundesverband CarSharing e.V., 2020). Insbesondere die Free-floating-Sharing-Systeme, welche auch von der Marke emmy angeboten werden, machen den Großteil des Wachstums aus. Dieser wachsende Kundenstamm kann nicht den vollständigen Nutzen aus der zur Verfügung stehenden Zeit ziehen, wenn zum Zweck der Mobilität lange Wege zu den Fahrzeugen zurückgelegt werden müssen und damit Suchzeiten entsteht. Eine ungedeckte Nachfrage nach Fahrzeugen führt außerdem dazu, dass lange Wartezeiten für alternative Mobilitätsangebote in Kauf genommen werden müssen. Weisen diese alternativen Mobilitätsangebote zudem ungünstige Verbindungen und Umwege auf, verlängert dies die Reisezeit zusätzlich. Zur Erhöhung des gesamtgesellschaftlichen Nutzens durch Reduzierung dieser Warte-, Such- und Reisezeiten sollte das Mobilitätsangebot ausgebaut oder optimiert werden und somit dieser Nachfrage entgegengekommen werden. Fehlt die Optimierung des Mobilitätsangebots bei Free-Floating-Sharing-Systemen, so können die daraus resultierenden negativen Effekte sogar zur Schließung eines Anbieters führen (Tan, 2008), wodurch die Vielfalt des Mobilitätsangebotsmix sinkt und damit wiederum Warte- und Reisezeiten steigen. In der Optimierung besteht folglich ein großes Verbesserungspotential für die Alltagsmobilität in Berlin, dem Untersuchungsort des Vorhabens, sowie andere urbanen Gebiete, auf welche die Erkenntnisse des Vorhabens übertragen werden können. Folglich war die Ausgangshypothese für das vorliegende Forschungsvorhaben „Nutzerbasierte Relokalisierung von

Motivation

Elektrorollern - Entwicklung und IT-seitige Implementierung - emmy_Relokalisierung“, dass durch datenbasierte Methoden das Mobilitätsangebot durch elektromobiles Roller-Sharing für die Kunden attraktiver gestaltet wird. Demnach sollten entsprechende Methoden durch Angleichung der Angebotsverfügbarkeit an das Nachfrageverhalten und Senkung von operativen Kosten des Angebotes evaluiert und erforscht werden.

Für die Anbieter der Marke emmy ist eine Auslastungssteigerung und Reduktion der Standzeiten aus Sicht der Profitabilität ein wichtiger Faktor. Gleichzeitig kann die Kundenzufriedenheit durch eine bedarfsgerechtere Verfügbarkeit von Rollern gesteigert werden. Wir sehen eine nutzerbasierte Relokalisierung von Fahrzeugen als eine Möglichkeit, dieses Potential zu nutzen und einen Beitrag zu leisten, das Mobilitätsangebot in Berlin und anderen urbanen Gebieten zu verbessern. Indem wir vorhandene Daten über Mobilitätsverhalten im ÖPNV und Pkw-Verkehr mit eigenen Daten über das Mobilitätsverhalten unserer Kunden verknüpfen, entwickeln wir das vorhandene Angebot von emmy in Berlin weiter. Ein nutzerbasiertes System ermöglicht das Angebot entsprechend der Nachfrage anzupassen und somit dynamisch eine bessere Verteilung unserer Elektroroller zu erzielen.

2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das Vorhaben setzt mit dem Geschäftsmodell des durchführenden Unternehmens ausdrücklich auf die Elektromobilität, welche als umweltfreundliche Alternative zu Mobilität auf Basis von Verbrennungsmotoren gilt. So werden für den Betrieb von Verbrennungsmotoren fossile Brennstoffe benötigt. Einerseits kann die Abhängigkeit von diesem Gut nicht langfristig aufrechterhalten werden, da bereits mittelfristig dessen Verfügbarkeit nicht gewährleistet ist. Andererseits erzeugen die fossilen Brennstoffe als Folge von Emissionen in der Verbrennung negative Effekte auf Umwelt und Bevölkerungsgesundheit. Es besteht daher das Verlangen nach zukunftsorientierten und innovativen Geschäftsmodellen in der Mobilität, die auf nachhaltigen Alternativen wie beispielsweise elektrischen Antrieben basieren. Dies deckt sich mit den politischen Zielen des Klimaschutzes und der Energiewende, in denen die Elektromobilität als Schlüssel gesehen wird (BMW, 2019). Neben der Entwicklung der Technologien z.B. in Form von Antrieben als Grundlage der Elektromobilität und der Entwicklung von Automobilprodukten, die auf diesen neuartigen Technologien aufbauen, wird von der Bundesregierung insbesondere auch die Einbindung der Elektromobilität in das Verkehrsnetz gefordert. Aus einer ganzheitlichen Perspektive gehören für die Etablierung der Elektromobilität in Wirtschaft und Gesellschaft neben der Entwicklung von Systemen und Komponenten ebenso die Etablierung von dazugehörigen Dienstleistungen dazu. Zusammengenommen verfolgt die Bundesregierung die Absicht, Deutschland mit einer Ausrichtung auf dieses beschriebene ganzheitliche Portfolio als Leitanbieter für die Elektromobilität zu etablieren. Das projektdurchführende Unternehmen leistet einen wichtigen Beitrag zu diesem Bestreben mit dem auf Elektromobilität aufbauenden Geschäftsmodell und mit dem hier beschriebenen Vorhaben, welches die Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge für die gesellschaftlichen Mobilitätsbedarfe steigern soll.



Abbildung 2: Umsetzungsfortschritt der Ziele der Bundesregierung bzgl. Elektromobilität (vgl. BMW, 2019)

Die ambitionierten Ziele zur Anzahl und Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Deutschland (1 Mio. Elektrofahrzeuge im Jahr 2020) sind bereits im Jahr 2009 von der Bundesregierung benannt worden (Nationale Plattform Elektromobilität, 2018). Die Attraktivität der Fahrzeuge und die Nachteile der langen Ladezeiten verbunden mit unzureichender Ladeinfrastruktur haben jedoch dazu beigetragen, dass die Ziele bisher noch nicht erreicht worden sind. Der aktuelle Fortschritt ist in Abbildung 2 dargestellt. Nach aktuellen Berechnungen ist die Prognose für die Zielerreichung auf das Jahr 2022 angepasst worden (BMW, 2019). Eine Unterstützung des Mengenziels kann durch das projektdurchführende Unternehmen und dem vorliegenden Forschungsvorhaben geleistet werden.

Voraussetzungen des Vorhabens

Mobilitäts-Sharing leistet durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Elektromobilität in Deutschland (Hülsmann et al., 2018). Die Mobilitäts-Sharing-Anbieter haben durch die Bereitstellung von Elektrofahrzeugen in ihrer Flotte einen einfachen Zugang für interessierte Fahrer geschaffen, eben diese Fahrzeuge mit dem zukunftsgerichteten Antrieb zu erproben. Das Ausprobieren und Fahren von Elektroautos stellt dabei auch häufig einen Grund der Anmeldung und Nutzung eines Mobilitäts-Sharing-Service dar. Während sich Personen somit über Mobilitäts-Sharing mit Elektrofahrzeugen vertraut machen, fördert das Mobilitäts-Sharing-Geschäftsmodell die Integration der Elektromobilität in das Verkehrssystem. Des Weiteren überzeugt die Fahrbegeisterung die Nutzer, welche somit im Fall des Kaufs eines privaten Fahrzeugs stärker zu einem Elektrofahrzeug tendieren. Nachteilig wird in dem Zusammenhang lediglich das Laden der Fahrzeuge gesehen. Der Ladevorgang und die damit verbundene eingeschränkte Nutzungsmöglichkeit wird jedoch durch den Batterietausch, der im vorliegenden Projekt auf die Roller angewandt wird, in seiner negativen Wirkung geschmälert, da ein Batterietausch in etwa so viel Zeit in Anspruch nimmt wie das Betanken eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor.

Als eine weitere wichtige Voraussetzung des Vorhabens ist die Digitalisierung zu sehen. Die Förderung der Digitalisierung steht für die Bundesregierung als zentrale Strategie im Vordergrund, um Wirtschaft und Gesellschaft maßgeblich zu verändern und modernisieren (BMW, 2018). Auf der gesellschaftlichen Seite möchte die Bundesregierung die Bürger und Unternehmen am technologischen Fortschritt teilhaben lassen. Dazu zählt der gleichberechtigte Zugang zur Technologie zugesichert über moderne Infrastruktur und Netzpolitik, die faire und verbrauchergerechte Voraussetzungen schafft. Auf der Liste der angestrebten wirtschaftlichen Veränderungen steht dabei einerseits die Entstehung neuer Produkte und Dienste sowie andererseits die Veränderung von Marktlogiken. Dazu zählen insbesondere neue und veränderte Geschäftsmodelle als Voraussetzung einer digitalisierten Wirtschaft geprägt von innovativen Start-ups. Hierzu zählt auch das Mobilitäts-Sharing, das sogar als primäres Beispiel für diesen Wandel benannt und dessen zentrale Bedeutung für die Veränderung damit nachdrücklich hervorgehoben wird.



Abbildung 3: Kennzahlen zur Digitalisierung in Deutschland (vgl. BMW, 2018)

Die Bundesregierung strebt im Weiteren an, die angewandte Künstliche Intelligenz in Unternehmen zu stärken (Bundesregierung, 2018). Die Künstliche Intelligenz wandelt globale Produktions- und Wertschöpfungsketten in einer rasanten Geschwindigkeit und an vorderster Stelle steht für die Bundesregierung daher die Absicht, Unternehmen die Künstliche Intelligenz als Schlüsseltechnologie

Voraussetzungen des Vorhabens

begreifen zu lassen und sie dazu zu bewegen, in die Technologie zu investieren. Auf diese Art und Weise sollen die Potenziale der Technologie erschlossen werden. Die explizite Berücksichtigung von ethischen Leitlinien bei der Anwendung von Künstlicher Intelligenz und der daraus resultierenden Bewahrung von gesellschaftlichen und individuellen Grundwerten als weitere wegweisende Orientierung soll hier nicht unbeachtet bleiben. Das vorliegende Forschungsvorhaben ordnet sich ein in den von der Bundesregierung formulierten Fokus der Lösung von Anwendungsproblemen. Insbesondere die Musteranalyse und -erkennung durch Analyseverfahren des maschinellen Lernens wird von ihr als ein maßgeblicher Punkt benannt, um der Lösung von Anwendungsproblemen beizutragen, und zu exakt diesem Zweck wird der Einsatz dieser Verfahren im vorliegenden Forschungsvorhaben verfolgt. Mit dem Ziel, die Verfügbarkeit des Mobilitätsangebots zu steigern, unterstützt das Projekt dabei insbesondere das Ziel, der gleichzeitigen gemeinwohlorientierten Entwicklung und Nutzung von Künstlicher Intelligenz.

Das beschriebene Vorhaben zielt darauf ab, die Wirtschaftlichkeit von Mobilitäts-Sharing-Konzepten von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben aus multiplen datengetriebenen Ansatzpunkten heraus zu stärken. Dazu wurden die Ansatzpunkte in ein prototypisches Entwicklungsstadium gebracht, um deren Wirkung zu testen. Um die Verfügbarkeit der elektrischen Fahrzeuge im Sharing-Angebot für die nachfragenden Nutzer zu erhöhen, wurden datengetriebene Modelle zur Relokalisierung der Fahrzeuge getestet, welche auf Methoden der Künstlichen Intelligenz beruhen. Um die Betriebskosten der elektrischen Fahrzeuge im Sharing-Einsatz zu reduzieren, und damit das Angebot zugänglicher und wirtschaftlicher zu gestalten, wurden Optimierungsmodelle für die notwendigen Betriebsprozesse des Sharing-Anbieters emmy getestet und entwickelt. Fokussiert wurde sich daher zunächst auf das Geschäftsgebiet in Berlin, welches den größten Hebel für beide Maßnahmen bietet.

Durch den Einsatz einer digitalen App für den Mietprozess des Sharing-Angebots sowie dem Fokus auf ein Free-Floating-Sharing-System erleichtert das Sharing-Angebot der elektrischen Roller von emmy den Zugang zu individueller Mobilität im Vergleich zu klassischen Fahrzeugvermietungen sowie frühen Sharing-Geschäftsmodellen mit Stationsbindung. Die Validierung der Befähigung, ein solches Fahrzeug zu führen, wird in der Regel lediglich einmalig durchgeführt, sodass der wiederkehrende Validierungsaufwand und der damit verbundene Zeitverlust beim Mietprozess entfallen. Ebenso muss kein langer Weg – eine Art erste Meile – zu einer der oft sehr begrenzten Stationen in Kauf genommen werden, sondern lediglich der Weg zu einem der vielen und dicht verteilten Fahrzeuge. Dabei werden Kunden auch digital auf dem kürzesten Weg zum Mobilitätsangebot geleitet. Die Kunden können durch einen Klick in der App eine Reservierung eines Rollers vornehmen und in wenigen Sekunden Zugang zum Mobilitätsangebot erhalten. Aufgrund des Free-Floating-Sharing-Systems kann ein Kunde zudem innerhalb des weit ausgedehnten Geschäftsgebiets den Komfort des Individualverkehrs genießen und sich bequem von Haustür zu Haustür bewegen. Mit dem digitalen Zugang zum Sharing-Angebot hat emmy daher eine Umgangsmöglichkeit mit der Elektromobilität geschaffen, die dem Komfort eines eigenen Fahrzeugs gleicht bzw. teilweise sogar übersteigt, da der Kunde nicht mit dem Fahrzeug zu einem Punkt fahren muss, um mit dem Fahrzeug von dem Punkt zum nächsten Ziel zu gelangen – die Wegeketten müssen nicht durch das selbe Fahrzeug geschlossen werden. Gegenüber dem Öffentlichen Personennahverkehr wird für den Kunden zudem Flexibilität in der räumlichen und zeitlichen Gestaltung der Mobilität geschaffen. Resultierend erfährt der Kunde keine Limitierungen bei

Voraussetzungen des Vorhabens

der Inanspruchnahme der Elektromobilität, die er nicht auch bei Nutzung eines privaten Fahrzeugs hätte wie beispielsweise die Notwendigkeit eines Führerscheins oder die variablen Kosten der Mobilität. Die angebotene Elektromobilität wird also nicht durch derartige Limitierungen in ihrer Attraktivität unnatürlich eingeschränkt.

3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Im folgenden Kapitel wird der für das Vorhaben relevante Forschungsstand vorgestellt. Das Forschungsvorhaben baut im möglichen Umfang auf vorhandener akademischer und praktischer Forschung auf. Hierbei liegen jedoch Limitierungen dadurch vor, dass praktische Forschung in der Regel zu einem gewissen Grad nicht vollständig zugänglich ist und akademische Forschung nicht ohne starke Anpassungen auf den Praxisfall übertragen werden kann. Des Weiteren kann es dazu kommen, dass Forschungsergebnisse nicht auf einen anderen Untersuchungsgegenstand übertragen werden können, obwohl diese oberflächlich ähnlich zueinander scheinen. Dies trifft insbesondere auf dieses Forschungsvorhaben zu, da Ergebnisse und Vorgehen von stationsbasierten Sharing-Systemen kaum auf das vorliegende Vorhaben übertragen werden können.

Betrachtet werden in diesem Kapitel grundlegende Konzepte, die zur gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Einordnung des Projekts vorgestellt werden. Nachfolgend wird die vorhandene Forschung zu den benannten Forschungsschwerpunkten betrachtet. Im Anschluss wird die Relevanz des Forschungsziels nochmal etwas genauer betrachtet. Abschließend werden relevante Punkte des Projekts zusammengefasst, um die Individualität des Projekts hervorzuheben.

3.1 Grundlegende Konzepte

Für das grundsätzliche Verständnis des Forschungsvorhabens und der weiterführenden Forschung, die innerhalb des Vorhabens durchgeführt werden, ist die Einführung grundlegender Konzepte notwendig. Allem voran ist die prinzipielle Funktionsweise von Sharing-Märkten zu erklären, welche sich von etablierten Märkten unterscheidet. Diese Märkte werden unter dem Oberbegriff der „Sharing Economy“ zusammengefasst und bilden, wie im folgenden Unterkapitel dargestellt wird, eine teilweise unternehmerische Bewegung disruptiver Innovationen und teilweise eine inhaltlich inkonsistente Ansammlung von Unternehmen und Organisationen. Einer dieser Märkte der Sharing Economy ist das Mobilitäts-Sharing, das folglich ebenso als grundlegendes Konzept in diesem Kapitel vorgestellt wird. Dieser Markt zeichnet sich vor allem durch die fortwährende Dynamik aus, durch die ständig mehr Fahrzeuge der Fortbewegung in zunehmend vielfältigeren Geschäftsmodellen den Nutzern verfügbar gemacht werden. Das Forschungsvorhaben bewegt sich im Kontext des Mobilitäts-Sharing-Anbieters mit der Marke emmy. Die Eigenschaften und Charakteristika von emmy beeinflussen maßgeblich, worin die Ziele des Forschungsvorhabens liegen, wie es durchgeführt werden kann, und woraus sich die Limitierungen für das Vorhaben ergeben. Die Darstellung von emmy bildet daher den Abschluss des thematischen Trichters der Inhalte in diesem Unterkapitel.

3.1.1 Sharing Economy

Dieser Abschnitt diskutiert die „Sharing Economy“, das weite kontemporäre wirtschaftliche Phänomen, in den sich das Forschungsvorhaben und das Geschäftsmodell des durchführenden Unternehmens einordnet. Der Abschnitt ist in vier Teile geteilt. Im ersten Teil wird der Begriff eingeführt und auf seine aktuell hohe Aufmerksamkeit eingegangen. Des Weiteren wird in dem Teil der Begriff „Sharing“ im Kontext der Sharing-Economy diskutiert. Der zweite Teil betrachtet die Eigenschaften der Sharing Economy aus verschiedenen Blickwinkeln. Dazu werden die theoretischen Systeme hinter der Sharing Economy, die Motivation der Teilnehmer an der Sharing Economy sowie die unterschiedliche Wahrnehmung der Sharing Economy dargestellt. Mit den Sharing-Economy

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Treibern des Vertrauens und der Informationstechnologien setzt sich der dritte Teil auseinander. Der vierte Abschnitt geht auf das Thema Mobilitäts-Sharing aus der Perspektive der Sharing Economy ein.

3.1.1.1 *Das Sharing-Geschäftsmodell*

Die grundsätzliche Idee hinter dem neuartigen Terminus „Sharing Economy“ („Ökonomie des Teilens“) ist keine Revolution. Güter und Dienstleistungen werden seit Jahrhunderten in definierten Gruppen getauscht, um deren Nutzen der Gruppe zur Verfügung zu stellen oder auch den Nutzungsgrad des Gutes zu erhöhen, z.B. auch durch Weitergabe / Weiterverkauf des Gutes. Dieses Prinzip als skalierendes Geschäftsmodell zu verstehen ist dagegen der tatsächlich neuartige Anteil an der Sharing Economy. Popularisiert wurde der Begriff durch Rachel Botsman. In ihrem TED Talk von 2010 präsentierte sie ihre Erkenntnisse darüber, wie sich der Konsum hin zu einem kollaborativen Konsum („collaborative consumption“) hin ändert (Botsman, 2010). Ihr eingängliches Beispiel des Tauschs einer nicht mehr verwendeten DVD über das Internet gegen eine andere, ist durch Video-Plattformen wie Netflix heute größtenteils überholt. Der primäre Forschungsdrang der Autorin lag jedoch weniger auf dem Tausch selbst, sondern dem dahinterliegenden Vertrauen. Über eine digitale Plattform erfolgt ein Tausch oder Teilen mit einer anonymen Person auf deren Gegenleistung sich verlassen wird. Dieses Vertrauen wird über die digitale Plattform ermöglicht, welche die Verbindung zwischen den zwei Parteien schafft.

Das Prinzip der Sharing Economy hat in den vergangenen Jahren sehr große Aufmerksamkeit erhalten. Ein wichtiger Treiber dieser Aufmerksamkeit und des Interesses durch Investoren, Entrepreneurern und Medien liegt in den zwei großen Silicon Valley Sharing-Geschäftsmodellen, die ein unvergleichbares Wachstum und globale Expansionen geschaffen haben: Airbnb und Uber (Martin, 2016; Sutherland & Jarrahi, 2018). Der Begriff Uberization, der sich auf das Unternehmen Uber und die Verbreitung dessen Geschäftsmodells bezieht, wird sogar als Synonym für die Sharing Economy genutzt. Die Mythologie um den Erfolg dieser Sharing-Geschäftsmodelle lässt dabei zuweilen aus, dass diese Expansion durch große Investitionen von Risikokapitalgebern finanziert wurde (Schor, 2016). Ein weiterer Grund für das große Interesse liegt in der „kreativen Zerstörung“ von etablierten Geschäftsmodellen und Marktpraktiken, welche durch die starke Einbindung der Konsumenten auch für diese wahrnehmbar ist und durch den Druck auf etablierte Unternehmen eine Reaktion dieser Unternehmen auf den Trend verlangt (Belk, 2014). Beispielhaft können hier Automobilhersteller benannt werden, die eigene Mobilitäts-Sharing-Geschäftsmodelle erstellen. Zu beobachten ist dies gleichermaßen bei der Veränderung der Filmindustrie und ihrem Umgang mit Video-Sharing-Plattformen, oder der Musikbranche und dem Umgang mit Musik-Sharing-Diensten. Zuletzt spielen die teilweise utopischen Vorstellungen der gesellschaftlichen Implikationen eine wichtige Rolle für Aufmerksamkeit und Interesse: Umverteilung der Macht, höhere Effizienz und reduzierter ökologischer Fußabdruck (Schor, 2016). Dem ist selbstverständlich zuträglich, dass unter den Geschäftsmodellen und Initiativen auch ein beachtlicher Non-Profit-Anteil zu beobachten ist. Letzterer ist nicht bestrebt, den Profit zu maximieren, sondern Bedürfnisse zu decken. Es sei vorweggenommen, dass diese aufmerksamkeitserregenden und positiven Punkte Gegenstand einer Debatte sind. Zudem argumentieren Autoren auch dafür, dass es sich bei der Sharing Economy nur um eine Nische handelt (Martin, 2016). Des Weiteren wird die positive Symbolik der Sharing Economy auch von Unternehmen verwendet, die nicht

Wissenschaftlicher und technischer Stand

notwendigerweise ein derartiges Geschäftsmodell betreiben, um den Magnetismus der Innovation und des rapiden Wachstums auszunutzen (Botsman, 2015; Schor, 2016).

Daher stellt sich die Frage, was Sharing ist und welche (Teil-)Bereiche nicht dazuzählen. Belk (2014) hat dazu eine umfassende und teilweise philosophische Betrachtung verfasst. Der Autor zeigt in seiner Studie auf, dass sich unter dem Begriff der Sharing Economy unterschiedliche Mechanismen des Teilens verbergen, in denen eine Übertragung des Besitztums stattfindet oder auch nicht, was sich nochmals vom Mechanismus des Leihens unterscheidet. Diese Mechanismen können mit oder ohne Kompensation angewandt werden. Dabei hebt er hervor, dass es sich bei einigen Geschäftsmodellen eigentlich um Pseudo-Sharing handelt und benennt dabei explizit das Beispiel des Mobilitäts-Sharings, welches für ihn eine Form der Kurzmieta darstellt. Jedoch würde bei zu expliziter Betrachtung auf den Besitzübergang und die Form der Kompensation der Begriff zu eng gefasst und beispielsweise auch Airbnb exkludieren, sodass Autoren für ein Verständnis der „geteilten Nutzung“ als Grundlage für Sharing argumentieren (Martin, 2016). Botsman (2015) hat sich selbst zu dieser ungenauen Verwendung geäußert und definiert Sharing Economy mit Bezug auf die ungenutzte Kapazität des geteilten Guts und der Zahlung für Zugang statt Besitztum. Daneben geht Sie jedoch auch auf Kriterien wie wertgetriebene Mission des Anbieters, kollektive Verantwortlichkeit als Bestandteil des Geschäftsmodelles und Respekt gegenüber dem Anbieter ein. Der praktische Ansatz ist dagegen eher davon geprägt, dass der Begriff eines Sharing-Geschäftsmodell von jedem Unternehmen angenommen werden kann, das dies möchte (Schor, 2016).

3.1.1.2 Charakteristika der Sharing-Economy

Um die Sharing Economy zu charakterisieren, können verschiedenste Blickwinkel eingenommen werden. Aus dem theoretisch abstrakten Blickwinkel der Marktmechanismen bezeichnet die Sharing Economy ein ökonomisches Modell (z.B. ein Geschäftsmodell), das auf den drei Systemen des kollaborativen Konsums aufbaut (Botsman, 2013). Sie steht im Gegensatz zu der „Peer Economy“, welche diese Systeme in einem Person-zu-Person Marktplatz integriert. Die drei Systeme des kollaborativen Konsums sind wie folgt unterteilt (Botsman, 2010, 2013). Im ersten System der Redistribution werden Güter, an denen Besitzer kein Interesse mehr haben, an Personen weitergegeben, die an dem Gut interessiert sind. Das Gut, das für die Besitzer an Wert verloren hat, verlängert dadurch seinen Lebenszyklus. Diesem System wird daher unterstellt, dass es Verschwendung reduziert. Dies entspricht der Übertragung des Besitztums und stellt den Gegensatz zum alleinigen Zugang zu Besitztümern dar (Hamari et al., 2016). Das zweite System ist der kollaborative Lifestyle, der durch Coworking, Couchsurfing und ähnliche Modelle manifestiert ist (Botsman, 2013). Dieser ist auch in Formen der Maker-Movement, peer-to-peer Finance, Open Knowledge und Open Data zu finden (Martin, 2016). Dieser Bereich hat außerdem eine starke Offline-Ausprägung in Form von „Co-Housing“, „Cooperative Organisations“, Gemeinschaftswährungen und lokaler Nahrungsmittelversorgung. Das letzte System ist das Produkt-Service System, in dem Kunden oder Nutzer für den Nutzen eines Produktes zahlen, ohne das Produkt zu besitzen (Botsman, 2013). Hier liegt besonders hohe Verschwendungsreduzierung bei den Gütern vor, die ansonsten wenig genutzt werden würden. Dazu zählen beispielsweise private Bohrmaschinen, oder auch Autos. Mit Büchereien, Autovermietungen oder Waschalons existiert das dritte System in einem professionalisierten Zustand bereits sehr lange. Der Kernaspekt liegt darin, dass durch neue

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Technologien deutlich mehr Produkte in einem einfacheren Maße derartig genutzt werden können. In diesem System erfolgt nun der Zugang zu Besitztümern, den Nutzer für eine begrenzte Zeit erhalten und dafür in der Regel eine Kompensation zahlen (Hamari et al., 2016). Ein viertes System kann in der Studie von Schor (2016) gefunden werden, welche unter anderem den Dienstleistungs-Tausch vorstellt. In diesem System stellen die Mitglieder ihre Zeit für Dienstleistungen zur Verfügung mit dem Kernaspekt, dass die Zeit aller Mitglieder den gleichen Wert hat (Schor, 2016). Dieses System ist jedoch laut der Autorin bisher am geringsten gewachsen, da in der Regel eine hohe Kompensation für die von den Mitgliedern aufgebrauchte Zeit notwendig ist.

Ein weiterer Blickwinkel, um die Charakteristika der Sharing Economy besser zu verstehen, berücksichtigt den gesellschaftlichen Aspekt der Teilnahme an gemeinsamer Nutzung von Ressourcen und Gütern. Die Motivation zur Teilnahme am Teilen bzw. an der Sharing Economy wird in individualistische und kollektivistische Gründe geteilt (Hamari et al., 2016). Das erstere realisiert sich vor allem in ökonomischen Vorteilen der eingesparten Kosten oder des generellen Zugangs zu Gütern oder Dienstleistungen. Das letztere bezieht sich auf das Teilen der Ressourcen und Güter, darauf anderen zu helfen oder nachhaltigem Verhalten. Hamari et al. (2016) haben die Gründe für die Teilnahme und die Haltung gegenüber Sharing-Diensten untersucht. Der Grund der Nachhaltigkeit hat dabei einen starken positiven Einfluss auf die Haltung gegenüber Sharing-Diensten, wird aber bei der Nutzung vernachlässigbar (Hamari et al., 2016). Während der Nutzung spielen die individualistischen Gründe des ökonomischen Vorteils eine große Rolle sowie der Aspekt des Genusses, der im individualistischen Spaß oder im kollektivistischen Gemeinschaftsgefühl begründet sein kann. Zu beachten ist jedoch, dass individualistische Gründe eine Gefahr für das System darstellen, wenn der Opportunismus einzelner den Altruismus anderer im System ausnutzt. Dem ökonomischen Vorteil wird aber auch ein wichtiger Beitrag zur aktuellen Entwicklung der Sharing Economy zugesprochen, denn der Erfolg wird zu einem gewissen Teil der Wirtschaftskrise von 2008 zugeschrieben. In der Krise war der Kauf von Gütern eingeschränkt, wodurch der zeitweilige Zugang über Sharing-Dienste eine gute Alternative darstellte (Belk, 2014). Insgesamt identifiziert Belk (2014) eine breite Masse an Gründen, die in komplexen Kombinationen Teilnehmer dazu bewegt, Sharing-Dienste zu nutzen: Neuheit des Konzepts, Neuheit der Technologie, ökonomische Faktoren, ökologische Faktoren, soziale Faktoren einschließlich des Aufbaus neuer sozialer Kontakte und Selbstverpflichtung zu sozialer Transformation, der Wert des Teilens und der Kollaboration oder auch Ablehnung des etablierten kapitalistischen Marktsystems. Eine weitere umfassende Analyse der Motivation der Nutzer stammt von Sutherland und Jarrahi (2018). In ihrer Bewertung stehen an oberster Stelle der Gewinn an Flexibilität (schneller on-demand Zugang zu Ressourcen, Arbeit oder Gütern), das effiziente Match-Making dank digitaler Unterstützung und die erweiterte Reichweite in Form von Skalierung, räumlicher Reichweite und Heterogenität. Des Weiteren benennen die Autoren das Management der Transaktionen durch den Sharing-Dienst, welcher als Zwischenhändler die Transaktionen handhabt, sowie die Legitimierung des Vertrauens in andere Teilnehmer durch die Sharing-Plattform. Außerdem wird durch den Sharing-Dienst das Gemeinschaftsverhalten und -gefühl gefördert und ein Raum geschaffen, um mit der Gemeinschaft zu interagieren und so einen Beitrag zu leisten. Zusammengefasst gibt es eine Vielzahl an Gründen des Komforts, die das Nutzen eines Sharing-Dienstes gegenüber einem Kauf bevorzugen lassen.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der oben dargelegte Punkt bezüglich der prinzipiellen Möglichkeit für jedes Unternehmen, sich das Sharing-Geschäftsmodell zuzuschreiben, ohne wirklich dieses zu haben, eröffnet einen dritten relevanten Blickwinkel zu den tatsächlichen Geschäftsmodellen der Sharing-Dienste. Martin (2016) hat in seiner Studie die Berichterstattung über die Sharing Economy untersucht und thematische Rahmen herausgearbeitet. Dabei wird die Sharing Economy als Lösung für die Stärkung der Wirtschaft gesehen, in der Menschen bemächtigt werden und ihre schlecht ausgelasteten Güter, Zeit, und Fähigkeiten besser nutzen und monetarisieren können (Martin, 2016). Davon wird das Marktversagen des nicht nachhaltigen Konsumentenverhaltens und ungelöste Probleme des Kapitalismus durch Nachhaltigkeit, Solidarismus und neue Formen des Konsums adressiert. Zudem wird die Sharing Economy als Bewegung vielfältiger kollaborativer Innovationen gesehen. Die Wahrnehmung der Shared Economy ist jedoch nicht ausschließlich positiv, sondern wird auch an einigen Stellen kritisiert. So wird sie teilweise als wachsendes Netzwerk unregulierter Marktplätze empfunden, die in einem unfairen Wettbewerb mit regulierten Marktplätzen stehen und den Konsumenten benachteiligen. Ihr wird außerdem vereinzelt vorgeworfen, die neoliberalen Agenda zu stärken und Arbeit und Freizeit miteinander verschwimmen zu lassen sowie umweltliche Aspekte in der Tiefe nicht zu berücksichtigen. Die Vielfältigkeit der Innovationen wird des Weiteren auch als inkohärentes Feld von Innovationen wahrgenommen, die nicht zum Teilen beitragen und für Verwirrungen sorgen. Der Beitrag der Sharing Economy zur Gesellschaft, Nachhaltigkeit und Veränderung des Marktes wird schlussfolgernd noch diskutiert.

3.1.1.3 Treiber

Die Treiber der Sharing Economy hängen eng zusammen mit ihren Eigenschaften und den Motivationen ihrer Nutzer, die oben bereits betrachtet wurden. Botsman (2013) fasste die Treiber ein paar Jahre nach ihrem ersten Auftritt zu folgenden Aspekten zusammen: Technologische Innovation, Wertveränderung, Ökonomische Realität, und Ökologischer Handlungsbedarf. Andere Autoren kommen zu ähnlichen Erkenntnissen und benennen: Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), wachsendes Verbraucherbewusstsein, Verbreitung kollaborativer Web-Communities sowie soziale Interaktion (Hamari et al., 2016). Der nachfolgende Abschnitt fokussiert sich jedoch auf zwei Kernelemente, die im ersten TED Talk von Botsman (Botsman, 2010) in ihrer Wichtigkeit unterstrichen wurden: Informationstechnologien und Vertrauen. Die Informationstechnologien wurden auf ihre treibende Wirkung in beiden Aufzählungen oben benannt und sind bisher nicht weiter betrachtet worden. Das Vertrauen, welches in den Aufzählungen oben nicht aufzufinden ist, ist für die Sharing Economy jedoch von großer Bedeutung. Beide Aspekte sind bedeutend für das vorliegende Forschungsvorhaben.

Die Wichtigkeit der Entwicklungen im Bereich der Informationstechnologien als Grundlage für die heutige Form der Sharing Economy wird von vielen Autoren hervorgehoben (Belk, 2014; Hamari et al., 2016; Martin, 2016; Sutherland & Jarrahi, 2018). Die Peer-to-Peer Kommunikation wird dabei vielfach als Grundlage vieler digitalen Sharing-Plattformen bzw. Dienste benannt, die ermöglicht, dass Nutzer in Peer-to-Peer Formen von ökonomischen Aktivitäten partizipieren. Es finden sich jedoch auch wiederholt Andeutungen, dass der Grundgedanke des Sharing in der Gemeinschaft der Informationstechnologie seit einer längeren Zeit eine größere Rolle spielt. Diese Community betreibt Sharing in vielfältiger Form z.B. als Open Source Projekte und Software (z.B. Linux), Online

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Kollaborationen (z.B. Project Jupyter), und File-Sharing (Belk, 2014; Hamari et al., 2016). Hierbei sind insbesondere auch die nicht legalen Formen des Sharing zu benennen, wie dem File-Sharing-Dienst Napster, über den am Anfang des 21. Jahrhunderts Musik getauscht wurde. Die besondere Form dieses Sharing ist dabei, dass das digitale Gut zu sehr geringen Kosten vervielfacht werden kann, was bei einem physischen Gut in der Regel nicht der Fall ist. Es kann dabei spekuliert werden, dass diese Form des Tauschs nicht notwendigerweise mit einer Form des Altruismus oder dem Wunsch nach Gemeinschaftsgefühl verbunden gewesen sein muss. Nutzer wollten eventuell den Zugang zu digitalen Gütern erhalten und sahen in der eigenen Bereitstellung eine Möglichkeit, den Markt der Anbieter zu vergrößern. Daneben geht aber aus der Gemeinschaft der Informationstechnologie beispielsweise auch der Linux Kernel hervor (Belk, 2014), von dem eine Vielzahl an Organisationen und Personen noch heute profitieren. Über die Peer-to-Peer Verbindungen ist dementsprechend vorwiegend eine Vielzahl unterschiedlichster Technologien bei Sharing-Diensten im Einsatz und bildet die Grundlage ihrer Geschäftsmodelle (Hamari et al., 2016; Sutherland & Jarrahi, 2018). Es gibt dementsprechend nicht die „eine“ Technologie für Sharing-Plattformen und -Dienste. Vielmehr verlangt der Aufbau solcher Plattformen heutzutage eine Affinität zu Informationstechnologien, sodass die oben beschriebenen Eigenschaften, Vorteile und Teilnehmerinteressen erreicht werden.

Von zentraler Bedeutung der Sharing Economy ist zudem die Sicherstellung des Vertrauens, dass sich die Akteure in der Sharing Economy entgegenbringen. Dieser Aspekt wurde insbesondere von Botsman (Botsman, 2010) als Antrieb hervorgehoben, dem Phänomen mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Die Autorin ging dabei jedoch nicht darauf ein, dass durch den Zwischenhändler der digitalen Plattform lediglich eine Pseudo-Anonymität entsteht, da hinter Nutzernamen genauso wie hinter Kundennummern in der Regel ein realer Name verborgen ist, den die digitale Plattform im Moment des Tauschs kennt. Die Sharing-Plattform ist der Mediator und Buchhalter der durchgeführten Transaktionen (Sutherland & Jarrahi, 2018). Wird das Vertrauen durch schlechte Leistung oder ein nicht erbrachtes, falsches oder beschädigtes Tauschobjekt verletzt, dann ist die digitale Plattform in der Pflicht und ausführenden Position, den Anspruch durchzusetzen. In dem Fall stellt die Plattform eine Sicherheit dar. Das in der Sharing Economy erwartete Vertrauen verlangt teilweise auch das Treffen von Fremden, das Auto mit ihnen zu teilen, ihnen Zugang zur eigenen Wohnung zu geben, in die Wohnung eines Fremden zu gehen, das Essen fremder zu essen, oder ihnen wertvolle Habseligkeiten zur Verfügung zu stellen (Hamari et al., 2016; Martin, 2016; Schor, 2016; Sutherland & Jarrahi, 2018). Daher gehören zum Vertrauen in die Sharing Plattform auch automatisierte und manuell evaluierte Richtlinien, die Nutzer zur vereinbarten Handlung bewegen oder die Nutzer bei Verstößen zukünftig von der Gemeinschaft ausschließen (Sutherland & Jarrahi, 2018). Jedoch haben Autoren auch argumentiert, dass zu starke Überwachung und Eingriffe dem Grundgedanken von Freiheit des Austauschs, Altruismus und kommunalem Vertrauen widersprechen (Hamari et al., 2016). Der Vorteil der Beseitigung des Mittelsmannes (Botsman, 2013) würde damit auch nicht vollständig realisiert. In der Literatur werden wiederholt einfache Systeme hervorgehoben, wie Nutzer-Feedbacks und Nutzerbewertungen einschließlich Fotos und Videos sowie Plaketten („Badges“) für die Qualität, die eine Online-Reputation der Nutzer aufbauen und durch Dienste auch plattformübergreifend zur Verfügung stehen (z.B. Trustami) (Belk, 2014; Hamari et al., 2016; Martin, 2016; Sutherland & Jarrahi, 2018). Durch diese Systeme wird die „Weisheit der Masse“ zum Mechanismus, welcher wiederum Vertrauen erzeugt (Schor, 2016). Diese Systeme können aber auch eine Hürde für neue Nutzer

Wissenschaftlicher und technischer Stand

darstellen, weil diesen eingangs Bewertungen fehlen (Sutherland & Jarrahi, 2018). Zusammengefasst ist festzuhalten, dass es sich bei dem benannten Vertrauen nicht um „blindes Vertrauen“ handelt, sondern Mechanismen genutzt werden, um das Vertrauen zu erzeugen. Darüber hinaus wird die philosophische Frage diskutiert, ob dies dann noch Vertrauen im eigentlichen Sinn ist, welche jedoch über den Inhalt des Forschungsvorhabens hinaus geht.

3.1.1.4 *Mobilitäts-Sharing als Teil der Sharing Economy*

Im nachfolgenden Unterkapitel 3.1.2 wird das Mobilitäts-Sharing umfassend mit Eigenschaften und Charakteristika vorgestellt. Zunächst soll hier jedoch das Mobilitäts-Sharing, von dem Car-Sharing einen Teil bildet, aus der Perspektive der Sharing Economy betrachtet werden. Die Sharing-Formen in der Mobilität sind vielfältig und beinhalten neben dem Sharing eines Fahrzeugs durch einen kommerziellen Anbieter (Fokus dieses Forschungsvorhabens und dem weiteren Verlauf des Berichts) auch das Ride-Sharing, in welchem Nutzer sich eine Fahrt teilen, und das Peer-to-Peer Mobilitäts-Sharing, in dem Nutzer ihre privaten Fahrzeuge zum Sharing anbieten (Cohen & Kietzmann, 2014). Die Entwicklung dieser Systeme wird ähnlich wie bei dem Sharing eines Fahrzeugs auf die Überlastung bzw. dem Versagen der bestehenden Alternativen einschließlich dem Mangel an erschwinglichen Privat-fahrzeugen zurückgeführt. Der Ausbau der bestehenden Alternativen ist in der Regel zeitaufwändig und mit hohen Kosten verbunden und planerisch sinnvolle Lösungen werden teilweise von Bürgern bzw. Bürgerinitiativen verhindert. Daher sind insbesondere Städte auf Alternativen wie dem Mobilitäts-Sharing angewiesen. Für die Kunden stellen die Mobilitäts-Sharing-Dienste, wie oben für die Sharing Economy allgemein beschrieben, eine kostengünstigere und komfortablere Alternative dar (Cohen & Kietzmann, 2014; Martin, 2016). Die Nutzung eines Mobilitäts-Sharing-Dienstes ist günstiger als der Kauf eines Fahrzeugs und die Anbieter haben oft schlüsselfertige Lösungen, bei denen Fahrer sich keine weiteren Gedanken über Versicherung, Kraftstoff, oder Instandhaltung machen müssen. Es kann zusammengefasst werden, dass in derartigen Fällen das Prinzip des Zugangs über Eigentum sehr deutlich sichtbar wird. Die Kunden erhalten den Zugang zur Mobilität und sind vereinfacht dargestellt von den Pflichten des Besitzes des zur Mobilität genutzten Fahrzeugs entbunden, die in Kapitel 1 beschrieben wurden.

Mobilitäts-Sharing ist jedoch ein sehr kapitalintensives Sharing-Geschäftsmodell, da Investitionen in eine oft große Flotte sowie die Informationstechnologien für den einfachen Zugang zum Fahrzeug getätigt werden müssen (Cohen & Kietzmann, 2014). Dazu zählen die Technologien für die Reservierungen, Bezahlung und der schlüsselfreie Zugang zu den Fahrzeugen. Außerdem kann es aus verschiedenen Gründen zu Konflikten mit den städtischen Behörden kommen. Konfliktpunkte können beispielsweise Mautgebühren, Parkplätze oder die allgemeine Haltung der Stadt zu den Diensten sein. Aufgrund des starken Bezugs zu den Mobilitätssystemen von Städten gibt es gerade im Mobilitäts-Sharing sowohl öffentliche Anbieter als auch Public-Private-Partnerships. Wie die Autoren berichten, wurde auch das kostenfreie Sharing von Fahrzeugen bereits probiert, im Speziellen das Sharing von Fahrrädern. Dies ist jedoch an Diebstahl und Vandalismus gescheitert.

3.1.2 *Mobilitäts-Sharing*

Der zentrale Fokus im Mobilitäts-Sharing liegt in der Regel auf dem investitionsstarken Car-Sharing und damit auf dem Teilen eines Autos, also dem Verkehrsmittel, welches die Mobilität des letzten Jahrhunderts maßgeblich geprägt hat. Als individuelles Verkehrsmittel für lange Distanzen mit

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Stauraum für den Transport von Habseligkeiten bietet es dem Nutzer Freiheit und Flexibilität, die Fahrräder und Roller in der Form nicht bieten können. Ein vereinfachter Zugang zu diesem omnipotenten Verkehrsmittel, dessen Nutzung sonst mit hohen Investitionskosten verbunden ist, wird daher wohl als deutlich revolutionärer wahrgenommen als das Bike-Sharing. Das Car-Sharing steht dabei teilweise auch als Synonym für das Mobilitäts-Sharing. Da das Roller-Sharing näher am Car-Sharing als an anderen Formen des Sharing ist und auch in technologischen Ansätzen deutlich von diesem geprägt wurde, ist der nachfolgende Abschnitt zunächst zentriert auf das Car-Sharing. Die Literatur zum Car-Sharing bietet dabei auch deutlich weitreichendere Einblicke in die Entwicklung von Konzepten und Systemen.

Ansätze des Konzepts Car-Sharing können in die 1940er Jahre zurückverfolgt werden (Albinski, 2015), das Konzept verzeichnet jedoch erst seit der Mitte der 1980er Jahre stärkeren Zulauf der Kunden (S. A. Shaheen et al., 2009). Das Konzept Car-Sharing beschreibt grundsätzlich die Nutzung eines privaten Fahrzeugs durch ein Individuum, ohne dass dieses Individuum die Kosten und Verantwortlichkeiten trägt, die aus dem Besitz eines privaten Fahrzeugs resultieren. Als Ausgleich zahlt dieser Nutzer einen regelmäßigen Beitrag oder ein Entgelt, das seiner Nutzungsdauer entspricht, an den Besitzer. Car-Sharing findet vorrangig in zwei Formen statt: in stationsbasierten Systemen und in Free-Floating-Sharing-Systemen (Folkestad et al., 2020). Kurz zusammengefasst können beim Ersteren die Sharing-Fahrzeuge nur an vorgegebenen Stationen, beim Zweiteren frei in einem vom Anbieter definierten Gebiet entgegengenommen und zurückgegeben werden.

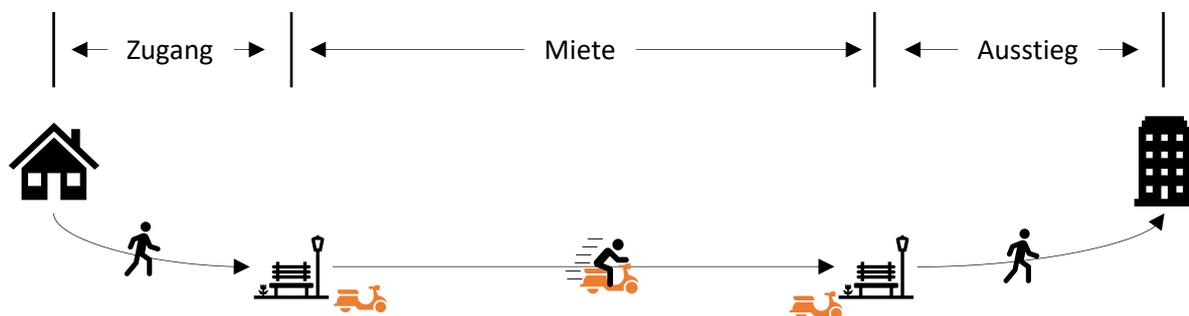


Abbildung 4: Segmente eines Trips

Ein weiterer grundsätzlicher Unterscheidungspunkt in der individuellen Mobilität mit Car-Sharing liegt in den Segmenten eines Trips, die in Abbildung 4 dargestellt sind. Die Segmente eines Car-Sharing Trips werden von Boyaci et al. (2015) in drei aufeinanderfolgende Abschnitte der Entfernungsüberwindung unterteilt. Im Segment „Zugang“ überwinden die Personen mit Mobilitätsbedarf die Entfernung vom Ausgangspunkt zum Ort mit dem Mobilitätsangebot. Im Car-Sharing wäre dies das Auto oder der Roller des Car-Sharing-Anbieters. Im zweiten Segment „Miete“ nutzen die Personen das Mobilitätsangebot, um die Entfernung vom Ort des Mobilitätsangebots zu einem Abstellort zu überwinden, der möglichst nahe am Zielort der Kunden gelegen ist. Im dritten und letzten Abschnitt „Ausstieg“ überwinden die Kunden die Entfernung vom Abstellort des Fahrzeugs hin zu ihrem eigentlichen Zielort. Theoretisch kann diese Aufteilung auf eine Vielzahl von Mobilitätssystemen übertragen werden. Im Vergleich zum öffentlichen Personenverkehr (ÖPV), ob nah oder fern, müssen die Kunden die Entfernung zu Stationen wie Bahnhöfen von Fernverkehrs-Zügen, U-Bahnen, Bussen oder Straßenbahnen überwinden, welche in der Regel nicht den konkreten Zielort der Kunden darstellen. Liegt ein stationsbasiertes Car-Sharing

Wissenschaftlicher und technischer Stand

System vor, so muss im Fall des Car-Sharing und des ÖPV der „Zugang“ durch Überwindung zu dieser Station erfolgen. Legen Kunden regelmäßige Wege zu diesen Stationen z.B. als Teil des Arbeitswegs zurück, so wäre diese räumliche Dimension des Zugangs nahezu konstant. Gleiches gilt für den „Austritt“. Jedoch haben die Kunden im Car-Sharing den Vorteil, dass sie nicht auf einen Fahrplan angewiesen sind. Somit sollte die zeitliche Komponente dieser Reise kürzer sein. Dies setzt jedoch voraus, dass die Car-Sharing-Stationen Fahrzeuge verfügbar haben, da sonst die Kunden eine andere Station aufsuchen müssen. Des Weiteren kann der Hauptlauf des Trips, d.h. im Car-Sharing die „Miete“ und im ÖPV die Fahrt, flexibler gestaltet werden. Der Kunde im Car-Sharing kann eine alternative Route wählen, wenn die Strecken- oder Verkehrssituation ihm dadurch einen Vorteil bietet. Free-Floating-Sharing-Systeme können dagegen mit privatem Individualverkehr verglichen werden. In beiden Fällen muss für den „Zugang“ der Weg vom Ausgangspunkt zum Fahrzeug überwunden werden und für den „Austritt“ der Weg vom Abstellort zum Zielort. Der Vorteil aus dem Car-Sharing ist die nicht vorhandene Pfadabhängigkeit des Fahrzeugs. Die Fahrzeugbesitzer können nur „Zugang“ zu ihren individuellen Fahrzeugen erhalten, wenn diese zuvor in die Nähe des Ausgangsorts gelangt sind. Beim Car-Sharing können Nutzer dagegen ein beliebiges Fahrzeug des Car-Sharing-Anbieters nutzen, wodurch die Auswahl deutlich erhöht wird.

In der Forschung wird dabei auch darauf verwiesen, dass Car-Sharing effiziente Öffentlichen Verkehrsmitteln nicht substituieren und sich auf die Gebiete fokussieren sollte, die nur in geringerer Qualität (z.B. geringere Dichte an Zugangspunkt, seltenere Häufigkeit der Bedingung, geringere Auswahl an Richtungen und Linien) von ÖPV abgedeckt werden (Weigl & Bogenberger, 2013). Im Kontext des vorliegenden Forschungsvorhaben sei jedoch darauf hingewiesen, dass der Individualverkehr mit Privatfahrzeugen nun seit mehreren Dekaden ein Substitut auch für effiziente ÖPV-Systeme darstellt und Car-Sharing eine Alternative zu genau diesen Privatfahrzeugen darstellen soll, um dadurch ökonomische und ökologische Ziele zu erreichen – einschließlich der Reduzierung des benötigten Platzbedarfs für Fahrzeuge in Städten und des Vorantreibens der Elektromobilität. Außerdem sind aktuell Car-Sharing-Anbieter vorrangig privatwirtschaftliche Unternehmen ohne staatliche Förderungen, die daher langfristig mindestens kostenneutral agieren müssen. Aus diesem Grund ist eine möglichst breite Abdeckung in dichtbesiedelten Gebieten mit resultierend höhere Nutzerdichte notwendig, die in der Regel auch von ÖPV- bzw. ÖPNV-Anbietern effizient bedient werden. Zu guter Letzt ist aus der Perspektive der Nutzer die „Effizienz“ von ÖPV-Systemen gegebenenfalls ein subjektives Charakteristikum, da ein solches System einerseits den Nutzer zwar effektiv an den Zielort bringt, dabei aber aufgrund von indirekten Verkehrsverbindungen mit Umstiegen nicht in der schnellsten Form. Ebenso kann der Komfort vom Nutzer als Effizienzkriterium eine wichtige Rolle spielen, welches in einem Auto oder Roller aufgrund von Ausstattung, verfügbarem Raum oder verfügbarer Privatsphäre als höher eingeschätzt werden kann.

3.1.2.1 Car-Sharing Systeme

Stationsbasierte Systeme, welche auch als traditionelle Sharing-Systeme bezeichnet werden (Kortum & Machemehl, 2012), erwarten vom Kunden die Rückgabe des Fahrzeugs an einer konkreten Station. Das stationsbasierte System kann weiter untergliedert werden, wobei bei einem „two-way system“ die Station für die Rückgabe abhängig vom Abholort ist (Folkestad et al., 2020; Jorge & Correia, 2013). Die Kunden machen also in diesem System in der Regel mindestens 2 Fahrten (von Station zum Ziel

Wissenschaftlicher und technischer Stand

und vom Ziel zur Station). Auf der Anbieterseite führt dies zu einer deutlichen Vereinfachung der operativen Prozesse, da die Standorte der Fahrzeuge in der Regel vorhersehbar sind und der Bestand besser überwacht und geplant werden kann (Jorge et al., 2014). Hierbei kann also eine Bündelung erfolgen, sollen Fahrzeuge beispielsweise zu Instandhaltungszwecken abgeholt oder angefahren werden. Im Falle einer Relokalisierung von Fahrzeugen, um diese dem Bedarfsort der nachfolgenden Nachfrage anzupassen, sind die Abhol- und Abstellorte ebenso finit und erlauben eine Bündelung. Die Anfahrt von Fahrzeugen außerhalb der vordefinierten Stationen ist tendenziell nur dann notwendig, wenn das Fahrzeug einen Schaden hat und außerhalb einer Station liegen bleibt. Auf der Kundenseite führt das Konzept dagegen zu Unbequemlichkeit, da Kunden sowohl für die Entgegennahme des Fahrzeugs als auch für die Rückgabe des Fahrzeugs zu einer Station gelangen müssen. Des Weiteren zahlen die Kunden die gesamte Mietdauer einschließlich der Parkzeiten am Zielort, in der Kunden keinen Nutzen aus der Miete des Fahrzeugs ziehen (Jorge et al., 2014). Hingegen bei einem „one-way system“ hat der Kunde die Möglichkeit, das Fahrzeug an einer anderen Station zurückzugeben und macht daher in der Regel nur eine Fahrt (von der Station in der Nähe seines Starts zur Station in der Nähe seines Zielorts) (Folkestad et al., 2020). Finanziell gesehen ist dieses System entsprechend deutlich attraktiver für die Kunden, die eine lange Zeit am Zielort verweilen (z.B. am Arbeitsplatz) oder keinen Rückweg vom Zielort antreten werden, da sie lediglich für die Nutzung des Fahrzeugs zahlen (Nourinejad et al., 2015). Dieses System bietet dem Kunden in der Regel höhere Flexibilität und führt zu einem höheren operativen Aufwand für den Anbieter (Zakaria et al., 2014). Im Vergleich zu der nachfolgend beschriebenen Form der Free-Floating-Sharing-Systeme besteht hier jedoch für den Anbieter weiterhin der Vorteil, dass in der Regel keine Aufwände notwendig sind, um die Fahrzeuge zu den Stationen bzw. speziell zu der Infrastruktur an den Stationen zu befördern (z.B. Ladestationen für Elektrofahrzeuge). Im Kontrast zum nachfolgend besprochenen „Free-Floating“ wird von diesem System auch teilweise von Non-Floating-Sharing-System gesprochen (Boyacı et al., 2015). Zusätzlich sei erwähnt, dass die Anwendung von Free-Floating-Sharing-Systemen in schwächer besiedelten Gebieten und in kleineren Städten schwerer kosteneffektiv zu betreiben ist, weshalb Autoren die stationsbasierten Car-Sharing-Systeme für diese Einsatzorte als zielführender einschätzen (Brendel et al., 2016).

Free-Floating-Sharing-Systeme (FFSS) (auch flexibles Sharing genannt) beschränken die Entgegennahme und Rückgabe der Fahrzeuge nicht auf feste Plätze bzw. Stationen. Sie ermöglichen die Rückgabe innerhalb von in der Regel größeren Gebieten, in denen die Fahrzeuge abgestellt werden dürfen („Geschäftsgebiet“) (Folkestad et al., 2020). Dabei wird das System regelmäßig derart von Autoren beschrieben, dass die Fahrzeuge „an jedem Ort“ oder „jedem Parkplatz“ im Geschäftsgebiet abgestellt werden können (Febbraro et al., 2012; Nourinejad et al., 2015; Weikl & Bogenberger, 2013), während in der praktischen Umsetzung Bereiche z.B. aufgrund von privatem Grundstücksbesitz oder der Straßenverkehrsordnung ausgeschlossen bzw. eingeschränkt nutzbar sind (u.a. zahlungspflichtige Parkplätze). Zudem muss der Nutzer das Fahrzeug nicht zum Ort der Anmiete zurückbringen. Dadurch wird die letzte Meile (vom Startort zum Standort des Mietfahrzeugs; vom Abstellort des Mietfahrzeugs zum Zielort) für den Kunden verkürzt (S. Shaheen & Chan, 2016). Ein FFSS erlaubt für deutlich mehr Spontanität in der Nutzung der Fahrzeuge sowie für kürzere Fahrten, wodurch sich die Nutzung von Elektro-Fahrzeugen besonders anbietet (S. Shaheen & Chan, 2016). Dementsprechend muss auch das Abrechnungsmodell der Mieten darauf ausgelegt sein, z.B. mit einer nutzungsbasierten Abrechnung

Wissenschaftlicher und technischer Stand

von Mieten (Weikl & Bogenberger, 2013). Jedoch entstehen dadurch auch Ungleichheiten in der Verteilung der Flotte innerhalb des Geschäftsgebiets. Die Ungleichheiten können verschiedene Ursachen haben. Eine Ursache ist, dass sich die Nachfrage nach Fahrzeugen durch die Nutzer auf der einen und deren allgemeine Mobilitätsnachfrage auf der anderen Seite ungleich verhalten. Denn obwohl z.B. morgens ebenso viele Menschen zur Arbeit fahren wie abends von der Arbeit nach Hause, werden FFSS verstärkt in den Abendstunden genutzt, um den Weg von der Arbeit nach Hause anzutreten (Schmöller et al., 2015). Dadurch ergibt sich eine ungleiche Flottenverteilung hin zu reinen Wohnbezirken in den Abendstunden, was mindestens einmal täglich zu einem Missverhältnis zwischen Angebot und Nachfrage führt. Zudem gibt es starke Unterschiede in den Nutzungsmustern zwischen Wochentagen und Wochenenden, sodass beispielsweise am Montagmorgen der Bedarf vieler Quellen kaum gedeckt werden kann (Weikl & Bogenberger, 2015).

Um ein derartiges FFSS umzusetzen, müssen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass Kunden die Fahrzeuge auch an den beliebigen Orten entgegennehmen können. Eine Schlüsselübergabe durch einen Mitarbeiter ist daher unpraktikabel. Die relevanten technologischen Entwicklungen, um einen kontaktlosen Mietprozess zu ermöglichen, wurden erst in den späten 2000er Jahren geschaffen. Der erste FFSS Car-Sharing-Anbieter car2go ging 2008 in die interne Pilotphase, 2009 in die öffentliche Pilotphase und ist 2010 offiziell in den Markt eingetreten (car2go Group GmbH, 2017). Damit ist FFSS ein relativ junges Konzept. Der Vorteil der Flexibilität und Spontanität für die Kunden hat jedoch dazu geführt, dass das Konzept relativ schnell Verbreitung unter den Car-Sharing-Anbietern gefunden hat (Kortum & Machemehl, 2012). Allein in Deutschland zeigt sich der deutliche Effekt dieser Veränderung. Während im Jahr 2020 lediglich 7 FFSS Car-Sharing-Anbieter im Vergleich zu 219 stationsgebundenen im Markt sind, haben beide Gruppen eine vergleichbare aufsummierte Flottengröße (13.400 FFSS oder kombiniertes aus FFSS und stationsgebunden, 12.000 stationsgebunden) (Bundesverband CarSharing e.V., 2020). Jedoch haben FFSS Anbieter mit ca. 1.580.000 Kunden mehr als doppelt so viele wie stationsgebundene Anbieter mit ca. 710.000 Kunden. Der aktuelle Zustand in Deutschland zeigt jedoch auch die Grenzen der Freiheit in FFSS. Diese sind lediglich in 17 Städten vertreten, wobei dies vor allem Großstädte sind. Dagegen sind stationsgebundene Anbieter in 840 Städten Deutschlands anzutreffen. Das FFSS setzt eine gewisse kritische Dichte an potenziellen Nutzern im Geschäftsgebiet voraus, die in Kleinstädten oder überregional nicht gegeben ist.

3.1.2.2 Fahrzeugtypen im Mobilitäts-Sharing

In diesem Abschnitt werden die Unterschiede zwischen den Fahrzeugtypen bezogen auf ihre Nutzbarkeit im Mobilitäts-Sharing betrachtet. Dafür werden die Eigenschaften des Aufwands der Relokalisierung, der Kraftstoff, die Nutzbarkeit für den Kunden und Umwelteffekte beurteilt. Da sich nur wenig Literatur mit dem Roller-Sharing befasst sind die beschriebenen Eigenschaften des Fahrzeugtyps Roller in der Regel eigene Anmerkungen. Eine Übersicht über Mobilitäts-Sharing-Konzepte des Typs „Zugang über Eigentum“ (siehe Abschnitt 3.1.1.1) nach Fahrzeugtyp ist in Abbildung 5 dargestellt.

Da sich das vorliegende Forschungsvorhaben insbesondere mit der Relokalisierung beschäftigt, soll dies hier vorangestellt werden. Bezogen auf den Aufwand bei der Relokalisierung liegt es nahe, dass ein deutlicher Unterschied zwischen Autos und Fahrrädern vorliegt. Während Fahrräder in größeren Stückzahlen transportiert werden können, werden für Autos in der Regel einzelne Fahrer benötigt

Wissenschaftlicher und technischer Stand

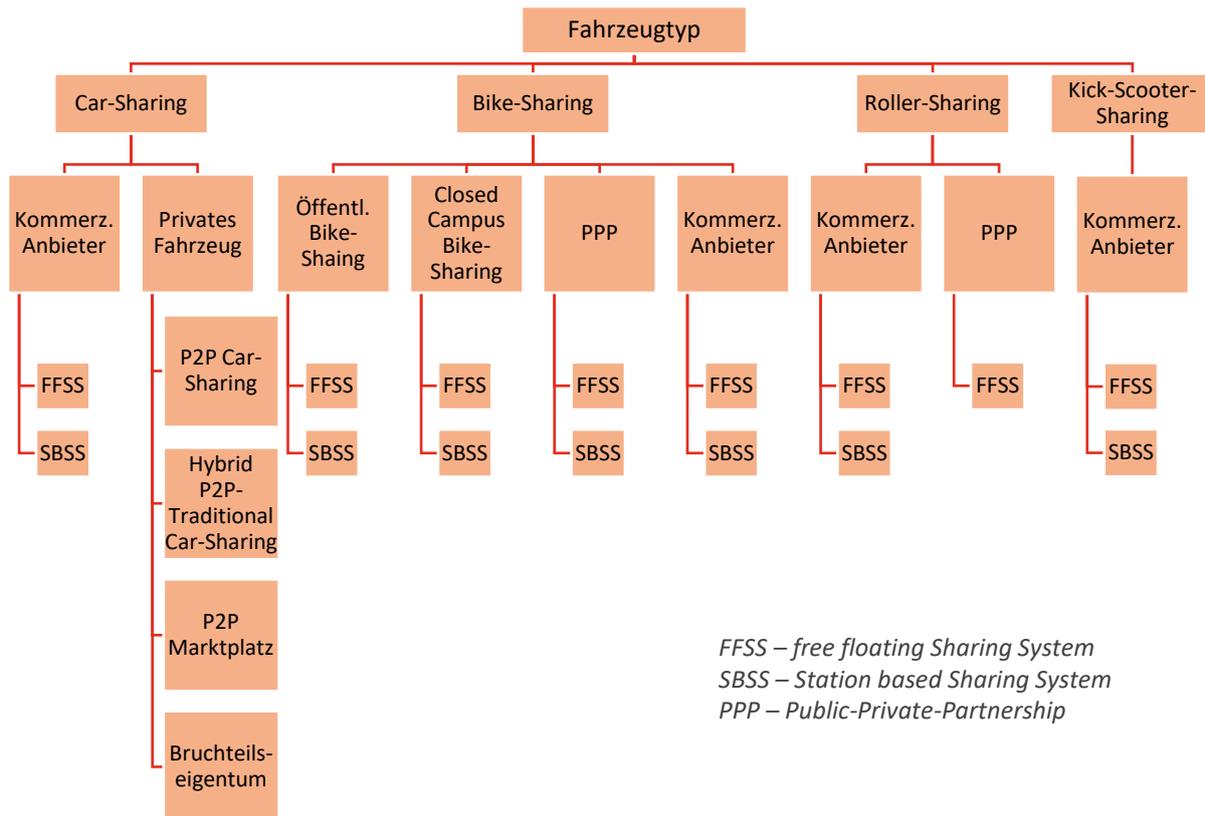


Abbildung 5: Übersicht von Zugang zu Eigentum Mobilitäts-Sharing-Konzepten (angelehnt an (S. Shaheen & Chan, 2016))

(Bruglieri et al., 2014; Gavalas et al., 2016; Raviv et al., 2013; Weigl & Bogenberger, 2015). Obwohl in der Regel ähnliche Ziele mit den Modellen zur Relokalisierung verfolgt werden, können die Relokalisierungsmodelle, wie in Abschnitt 3.2.1 näher beschrieben, daher selten von dem einen auf den anderen Fahrzeugtyp übertragen werden. Autoren haben jedoch auch betont, dass durch die höheren Kosten bei der Relokalisierung von Autos die Optimierung dieser Relokalisierungen eine größere Bedeutung bekommt (Weigl & Bogenberger, 2013). Dem muss natürlich entgegengehalten werden, dass die Flotten von Bike-Sharing-Diensten in der Regel auch deutlich größer sind und mehrere tausend Fahrräder und dazugehörige Stationen umfassen können, welche die Planungskomplexität ebenso erhöhen (Frade & Ribeiro, 2015). Außerdem entfällt dieser Vorteil deutlich in FFSS, bei denen die Fahrräder einzeln eingesammelt werden müssen und der Aufwand für die Relokalisierung deutlich steigt (Reiss & Bogenberger, 2017). Vereinzelt wurde der Transport von mehreren Autos mit einem entsprechenden Transporter vorgeschlagen. Jedoch haben Autoren argumentiert, dass die zeitaufwendigen Verladeprozesse und die teilweise schwer erreichbaren innerstädtischen Stationen dazu führen, dass der Einsatz von Transportern für Autos keine sinnvolle Alternative in engen Innenstädten darstellt (Bruglieri et al., 2014). Roller ordnen sich hier zwischen den beiden Fahrzeugtypen ein und können in kleineren Mengen und mit einem gewissen Aufwand bei der Verladung in Transportern relokalisiert werden. Bezogen auf die Relokalisierung muss des Weiteren bei elektrischen Fahrzeugen beachtet werden, dass diese Fahrzeuge in Regionen mit schwacher Nachfrage ohne Zugang zu einer Ladestation stecken bleiben können (Bruglieri et al., 2014; Weigl & Bogenberger, 2015). Im Fall von Fahrzeugtypen, die an Ladestationen geladen werden müssen, ist daher stets auf die Restladung des Fahrzeugs zu achten und ob diese für eine Fahrt bzw. Relokalisierung zur nächsten Ladestation ausreicht.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Ein weiterer deutlicher Unterschied liegt in der Nachversorgung des Kraftstoffs – Benzin oder Strom – vor. Hier liegt ein erster deutlicher Unterschied zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und Fahrzeugen mit Elektromotoren vor. Im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren, die durch einfaches Betanken schnell mit Kraftstoff nachversorgt werden können, müssen Elektrofahrzeuge mit fest verbauter Batterie über einen längeren Zeitraum geladen werden (Brandstätter et al., 2016; Weigl & Bogenberger, 2015). Dies muss in der Planung der Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge unbedingt mit berücksichtigt werden und schränkt die Verfügbarkeit der Fahrzeuge ein, sodass mitunter die Fahrzeuge an den elektrischen Ladestationen in Konkurrenz zueinander stehen und der Betreiber darauf achten muss, das zu beladene Fahrzeug zum optimalen Zeitpunkt zu tauschen (Weigl & Bogenberger, 2015). Diese Stationen sind zusätzlich in der Regel mit hohen Investitionskosten verbunden (Brandstätter et al., 2016). Zudem wäre es bei einem Verbrennungsmotor problemlos möglich, nur einen Teil des Tanks zu füllen. Aufgrund der unterschiedlichen Ladephasen (Intensitätskonstante Phase und Spannungskonstante Phase) ist dies bei einer Elektrobatterie jedoch nicht der Fall, da die Lebensdauer der Batterie dadurch beeinflusst wird (Bruglieri et al., 2014). Untersuchungen haben jedoch auch gezeigt, dass der Ladezyklus keinen signifikanten Unterschied in der Nutzung von Sharing-Autos mit Verbrennungsmotoren und Elektromotoren hat (Sprei et al., 2017). Wie beim Auto können Roller mit Verbrennungsmotoren ebenfalls einfach betankt werden. Bei elektrischen Rollern ist es dagegen regelmäßig möglich, die Batterie zu tauschen. Dadurch können die Batterien unabhängig vom Standort der Roller geladen werden und der Nachtankvorgang – in diesem Fall der Batterie-Tausch – nimmt vergleichsweise so viel Zeit in Anspruch, wie die Betankung eines Rollers mit Verbrennungsmotor.

Für den Nutzer gibt es ebenso Unterschiede. Insbesondere der physische Aufwand des Fahrradfahrens senkt beispielsweise in hügeligen Städten für die Nutzung von Fahrrädern und folglich von Bike-Sharing-Diensten die Attraktivität (Frade & Ribeiro, 2015). Im Gegensatz dazu gibt es in einigen Städten bereits Orte, die mit Autos nicht befahren werden dürfen, zu denen aber mit Fahrrad Zugang besteht (Caggiani & Ottomanelli, 2012). Für die Nutzung von Rollern gibt es außerdem Straßen, die aufgrund der geringen Maximalgeschwindigkeit von Rollern, nicht von diesen befahren werden dürfen (S. Shaheen & Chan, 2016). Da sie jedoch auch in manchen Regionen geringere Anforderungen an Führerscheine haben (Cavanagh, 2017; S. Shaheen & Cohen, 2019), ist die Sperrung von sehr schnell befahrenen und daher eher gefährlichen Straßen eine sinnvolle Maßnahme. Entsprechend der Motorisierung der Roller und der damit verbundenen, im Vergleich zum Fahrrad hohen möglichen Geschwindigkeiten, wird in der Regel gesetzlich eine Schutzausrüstung verlangt wie Helme (und teilweise reflektierende Westen), die vom Sharing-Anbieter zusammen mit Hygienehauben gestellt werden (Cavanagh, 2017; Eccarius & Lu, 2020). Bei der Verwendung der Roller kommt es zudem zu sehr auffälligen regionalen Unterschieden, sodass diese in Westlichen Ländern wenig verbreitet und in östlichen Ländern hingegen essenzieller Bestandteil von Wegekettensystemen sind. Aufgrund dieses Umstands werden von Roller-Sharing-Anbietern in Westlichen Ländern teilweise sogar Einführungsstunden mit Fahrlehrern angeboten (Cavanagh, 2017). Ein weiterer Bestandteil der Nutzung sind die während der Mieten zurückgelegten Entfernungen. Für Fahrräder wurde dabei analysiert, dass diese Entfernungen in der Regel kürzer (<4 km) sind (Frade & Ribeiro, 2015). Bei der Nutzung von elektrischen Fahrrädern werden die Entfernungen jedoch länger und die Verkehrsmittel entwickeln sich daher vergleichsweise zur Konkurrenz zu Bussen und Bahnen (S. Shaheen & Chan, 2016). Die

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Erfahrungen aus dem Roller-Sharing zeigen ebenso längere zurückgelegte Entfernungen als die des Bike-Sharing. Neben dem Fahren ist auch der Zugang teilweise unterschiedlich. Während ein Auto die Größe und Struktur für technische versierte Lösungen des Zugangs bietet, müssen Fahrräder dagegen in entsprechenden Gestellen und Vorrichtungen abgestellt oder mit einem Schloss zusätzlich verschlossen werden (Caggiani & Ottomanelli, 2012; Raviv et al., 2013). Roller bieten hier aufgrund ihrer Größe vergleichbare Möglichkeiten wie Autos. Darüber hinaus ist nach dem Zugang auch das Abstellen der Sharing-Fahrzeuge zu betrachten. In einem FFSS sind Fahrräder sowie auch Roller aufgrund des geringeren Platzbedarfs leichter abzustellen (S. Shaheen & Chan, 2016). Autos verlangen dagegen einen ausgewiesenen Parkplatz und die damit verbundene Fläche. Die Verfügbarkeit dieser Fläche und der damit verbundene Flächenverbrauch kann für die Nutzer und die Gesellschaft problematisch werden, da sie dadurch dem Problem des von parkenden Autos eingenommenen Platzes in Städten begegnen, welches häufig ein Argument für die Stärkung von Sharing-Diensten ist (Hardt & Bogenberger, 2016). Der Wettereinfluss auf die verschiedenen Fahrzeugtypen ist ebenfalls unterschiedlich. Car-Sharing ist wenig von Regen beeinflusst, während es die Nutzung im Bike-Sharing deutlich reduziert (Schmöller et al., 2015). Beim Roller-Sharing verhält es sich ähnlich wie beim Bike-Sharing, so hat Regen einen sehr deutlichen negativen Einfluss auf das Nutzungsverhalten, da die Roller wenig Schutz vor Witterung bieten. Entsprechend wird auch bei niedrigeren Temperaturen weniger Roller gefahren.

Außerdem haben Autoren die Umwelteffekte der Fahrzeugtypen miteinander verglichen. Im Vergleich von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren mit Fahrzeugen mit Elektromotoren liegen die elektromotorisierten Fahrzeuge deutlich vorn in der Umweltfreundlichkeit (Bruglieri et al., 2014; Sprei et al., 2017). Sie stoßen weniger Emissionen aus und sorgen daher für bessere Luftqualität in den Städten. Des Weiteren besteht durch diese Fahrzeugtypen die Chance, die Treibhaus-Emissionen weiter zu senken, vorausgesetzt der Strom wird durch erneuerbare Energien erzeugt. Überdies reduzieren sie Lärmverschmutzung (Eccarius & Lu, 2020). Der positive Umwelteffekt liegt ebenso bei der Nutzung von Fahrrädern vor, da diese keine Emissionen ausstoßen und zusätzlich durch die physische Aktivität einen positiven Effekt auf die Gesundheit der Bevölkerung haben (Frade & Ribeiro, 2015). Darüber hinaus fördern Bike-Sharing-Dienste das Image des Fahrradfahrens und die Anschaffung privater Fahrräder, sodass sie einen weiteren indirekten positiven Effekt auf die Umwelt haben, wenn die Nutzer langfristig und öfter das Fahrrad nutzen. Damit eng verbunden sind auch eine große Anzahl an Bike-Sharing-Diensten in öffentlicher Hand oder in Public-Private-Partnerships. Der Umwelteffekt wird jedoch dann reduziert, wenn für den gebündelten Transport der Fahrräder Transporter mit Verbrennungsmotoren eingesetzt werden (Pal & Zhang, 2017).

3.1.3 Emmy

Die projektdurchführende Electric Mobility Concepts GmbH mit der Marke emmy ist eines der größten Roller-Sharing-Anbieter weltweit. Das 2015 in Berlin gegründete Startup hatte zeitgleich zum Projektstart im Jahr 2017 den Betrieb in den Städten Hamburg, München und Düsseldorf eröffnet und war zuvor bereits seit 2 Jahren in Berlin aktiv. Im Verlauf des Projekts wurde zudem mit dem Betrieb in Wien begonnen. Von den 1.000 Rollern zu Projektstart ist die Flotte des Unternehmens unterdessen auf 2.000 Roller gewachsen. Diese Flotte ist in allen fünf Städten als FFSS konzipiert und ermöglicht dem Kunden, die Roller stationsungebunden innerhalb des Geschäftsgebietes zu mieten und

Wissenschaftlicher und technischer Stand

abzustellen. Insofern diese Anforderungen erfüllt werden, kann der Kunde auch während der Miete das Geschäftsgebiet mit dem Roller verlassen. Im Gegensatz zu einigen Konkurrenten bietet emmy dem Kunden zudem zwei Helme an, sodass zwei Passagiere gleichzeitig vom Mobilitätsangebot profitieren können.

3.1.3.1 Eigenschaften und Prozesse des Roller-Sharing

Das für das Projekt primär ausgewählte Geschäftsgebiet der Stadt Berlin umfasst dabei die Fläche innerhalb des Berliner S-Bahn-Rings und geht an vielen Stellen darüber hinaus. Dadurch dehnt sich das in Abbildung 6 dargestellte Geschäftsgebiet auf eine Fläche von etwa 88km² aus. In Berlin kommt dabei der Roller des Typs E-Schwalbe vom Hersteller Govecs zum Einsatz.

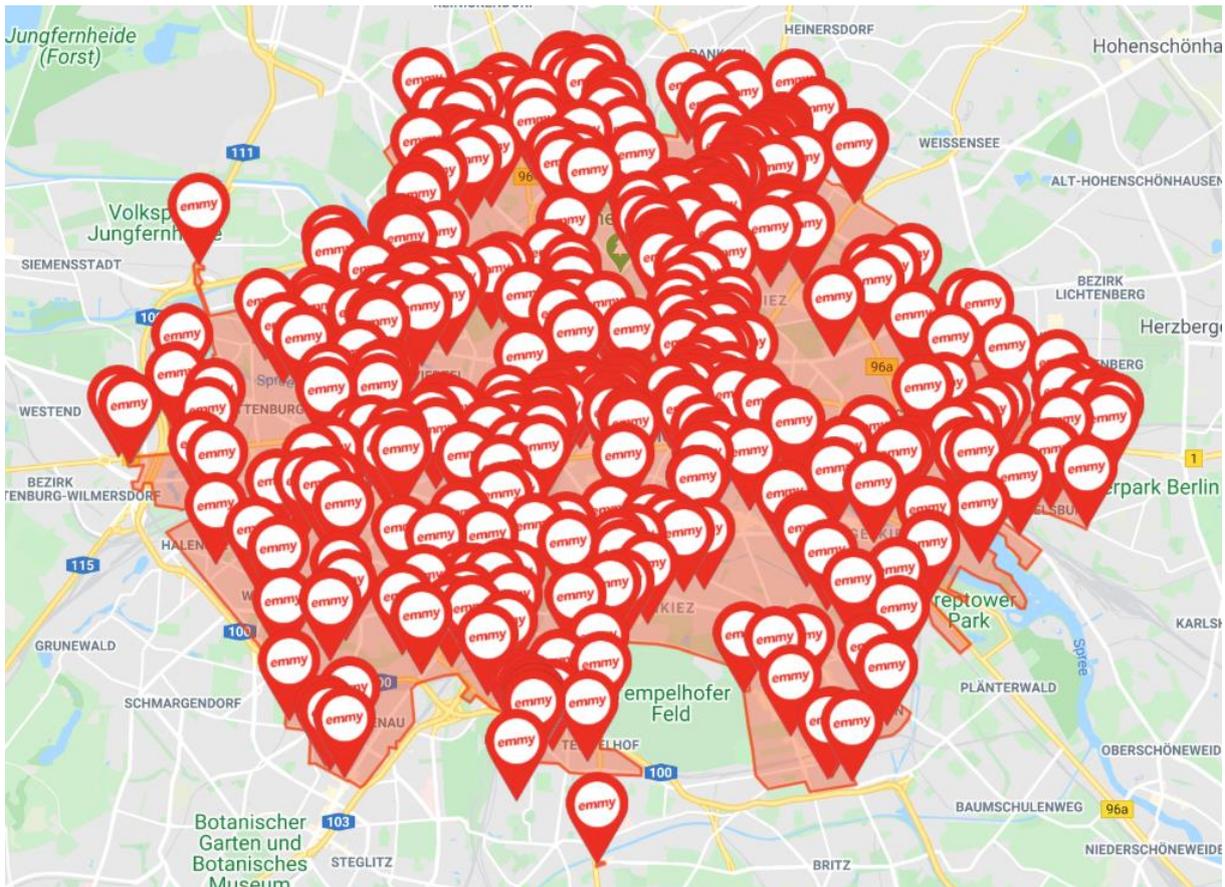


Abbildung 6: Geschäftsgebiet emmy (Stand: 2020)

Neben der E-Schwalbe sind bei emmy zum Projektabschlusszeitpunkt im Jahr 2020 außerdem der Torrot MUVI City und der Niu NQi Sharing V2.0 im Einsatz, welche in Abbildung 7 gezeigt werden. Dabei kann in Berlin, München und Wien die Schwalbe, in Düsseldorf der Torrot-Roller und in Hamburg das Modell des Nui-Rollers gemietet werden. Alle Fahrzeugtypen sind elektrisch betrieben und haben jeweils 2 Batterien bzw. Akkupacks. Dabei unterscheiden sich die Rollertypen in Größe und Gewicht. Mit einer Abmessung (Länge * Höhe * Lenkerbreite) von 196 cm * 113,2 cm * 88 cm ist die Schwalbe der größte Fahrzeugtyp in der Flotte. Aus der Größe resultiert auch das höchste Gewicht mit 135 kg bei Beladung mit zwei Batterien. Die beiden anderen Rollertypen sind kleiner und haben eine vergleichbare Größe zueinander bei einer Abmessung von 185,5 cm * 102,5 cm * 68 cm des Torrots und 180 cm * 113 cm * 70 cm des Niu. Auch beim Gewicht sind die beiden Rollertypen vergleichbar. Der Niu kommt auf ein Gewicht von 95 kg und der Torrot wiegt 90 kg. Dabei beziehen sich alle

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Gewichtsangaben auf die Höhe bei Einsatz beider Batterien. Die Unterschiede resultieren jedoch auch in verschiedenen Reichweiten. Während die Schwalbe auf eine Reichweite von 100 km kommt, erreicht der Niu nur eine Reichweite von 80 km und der Torrot 78 km.



Fahrzeugtyp
Schwalbe



Fahrzeugtyp
Torrot



Fahrzeugtyp
Niu

Abbildung 7: Fahrzeugtypen

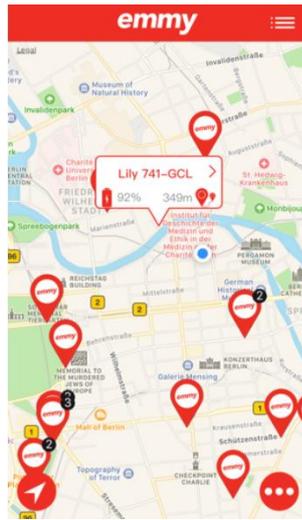
Um einen dieser Roller mieten zu können, müssen sich die Kunden zunächst registrieren und ihren Führerschein verifizieren lassen. Aufgrund der erreichbaren Geschwindigkeit von bis zu 47km/h, mit der die Roller am Straßenverkehr teilnehmen können, ist ein Führerschein der Klasse AM und somit auch der Klasse B notwendig. Die Schritte der Anmeldung und der Führerscheinverifizierung durch Video-Telefonie sind über die mobile App möglich. Das in dem Prozess angelegte Kundenprofil können Kunden dabei auch auf anderen Smartphones nutzen (z.B. bei Kauf eines neuen Smartphones). Sie können jedoch dabei nicht mehrere Mieten parallel abschließen.

Der Mietprozess eines Rollers ist zweistufig. In der ersten Stufe kann der Kunde den Roller reservieren. Dazu wählt er in der Appansicht einen Roller aus (siehe Abbildung 8). Resultierend werden ihm die Roller in der unmittelbaren Nähe angezeigt sowie der Weg zu dem von ihm über die kürzeste Entfernung erreichbare Roller. Wenn sich der Kunde also für einen Roller in seiner Nähe entschieden hat, den er nutzen möchte, kann er diesen reservieren und den Weg zwischen seiner Position und dem Roller zurücklegen. Dabei kann er sicher sein, dass der Roller während der laufenden Reservierung nicht von einem anderen Kunden angemietet werden kann. Da er in der Zeit den Roller nicht aktiv nutzt, zahlt der Kunde in dieser ersten Stufe noch kein Geld. Ist er am Roller angekommen, kann der Kunde in der zweiten Stufe den Roller mieten. Dadurch erhält er Zugang zur Helmbox, in der sich Helme, Hygienehauben, Schlüssel und abhängig von der Jahreszeit auch Handschuhe befinden. Damit kann der Kunde nun mit dem Roller zu seinem Wunschziel fahren.

3.1.3.2 Operative Prozesse zum Betrieb des Roller-Sharing

Die Bereitstellung von Mobilität ist vergleichbar mit dem öffentlichen Personenverkehr mit vielfältigen Aufwänden verbunden, mit denen der Nutzer möglichst keine Berührungspunkte haben soll. Aus einer Perspektive des Produktangebots soll der Kunde dabei seinen Bedarf nach Mobilität in einer komfortablen und angenehmen Weise decken können. Dazu zählt neben der eigentlichen Mobilität auch, dass ein Angebot zum Bedarfszeitpunkt verfügbar ist und dieses technisch funktional einwandfrei und sauber ist. Zum Komfort zählt dabei, dass die Kunden nicht daran beteiligt sind, das Fahrzeug fahrtüchtig zu halten oder verfügbar zu machen. Des Weiteren steht in diesem Fall

Wissenschaftlicher und technischer Stand



Appansicht
2017



Appansicht
2020

Abbildung 8: Appansicht

insbesondere auch die Förderung einer positiven Einstellung der Öffentlichkeit gegenüber Elektromobilität im Vordergrund, sodass es höchst relevant ist, dass die Kunden eine problemfreie und bekräftigende Erfahrung haben, während ihr Mobilitätsbedarf gedeckt wird. Zudem wird strengstens die Verkehrssicherheit der Fahrzeuge geprüft. Kunden dürfen selbstverständlich keinen Schaden nehmen, wenn sie das Mobilitätsangebot nutzen. Die Verkehrssicherheit betrifft dabei einerseits das Fahrzeug selbst aber andererseits das Equipment, das die Kunden während der Fahrt und im Falle eines Verkehrsunfalls schützen soll.

Um eine hohe Verfügbarkeit und Sicherheit der Rollerflotte für den Kunden zu gewährleisten, sind eine Reihe von Prozessen notwendig. Dazu gehört der Akkutausch, die regelmäßige Prüfung der Verkehrssicherheit des Rollers, die Prüfung der Vollständigkeit des Equipments, die Reparatur, und die Vollwartung in vorgegebenen Intervallen. Für die Durchführung der Prozesse ist teilweise eine Relokalisierung des Rollers notwendig. Diese Art der Relokalisierung ist aus technischer Sicht erforderlich und ist von der Relokalisierung der Roller zum Ausgleich des Mobilitätsangebots zum Mobilitätsbedarf im Geschäftsgebiet strikt zu trennen. Die Effekte auf diesen Ausgleich durch die Relokalisierung von Rollern nach einer Reparatur oder Vollwartung in das Geschäftsgebiet hinein sind vernachlässigbar.

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden die Versorgungsfahrten optimiert. Im weiteren Verlauf wird der Fokus insbesondere auf den Batterie-Tausch gelegt. Eine Versorgungsfahrt umfasst jedoch außerdem einen umfassenden Sicherheitscheck sowie die Reinigung, Prüfung und Auffüllung der Ausstattung.

3.2 Wissenschaftliche Vorarbeiten

In diesem Unterkapitel werden die wissenschaftlichen Vorarbeiten vorgestellt, auf die das vorliegende Forschungsvorhaben aufbaut. Da das Roller-Sharing in der Literatur kaum betrachtet wird, wurde sowohl das Car-Sharing als auch das Bike-Sharing alternativ sehr intensiv recherchiert, um daraus Ableitungen für das Projekt zu treffen. Innerhalb dieses Kapitels wird auf die beiden grundlegenden

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Forschungsschwerpunkte eingegangen, mit denen sich das Forschungsvorhaben auseinandersetzt. Einerseits wird die Relokalisierung in Sharing-Flotten betrachtet. Dieser Schwerpunkt wird in der Literatur sehr ausführlich in vielen Facetten und aus verschiedenen Perspektiven betrachtet. Die Literaturrecherche zu diesem Schwerpunkt hat reichhaltige Ergebnisse geliefert. Andererseits wird auf die Optimierung von Versorgungsfahrten eingegangen. Dieser Schwerpunkt findet im Gegensatz zum Ersteren nahezu keine Bedeutung in der Forschung, was im dazugehörigen Abschnitt näher erläutert wird.

3.2.1 Relokalisierung im Mobilitäts-Sharing

Die Notwendigkeit der Relokalisierung von Fahrzeugen im Mobilitäts-Sharing ist in der noch jungen Forschung bereits als dringlicher Forschungsaspekt identifiziert worden. Das zugrunde liegende Problem wird dabei unter anderem als „demand-offer asymmetric problem“ (Gavalas et al., 2016) bezeichnet. Hierbei bleiben Fahrzeuge in „Cold Spots“ stecken, da es in diesen Gebieten geringeren individuellen Bedarf nach Mobilität gibt, während die Mobilitätsbedarfe aufgrund mangelnder Fahrzeuge in „Hot Spots“ nicht gedeckt werden können. Hierbei spielen insbesondere die verschiedenen Aktivitäten eine große Rolle, die nach Deckung des Mobilitätsbedarf – nach Überbrückung einer räumlichen Distanz – von den Nutzern geplant sind und je nach Tageszeit und Wochentag deutliche Unterschiede aufweisen (Weigl & Bogenberger, 2015). In monozentrischen Städten kommt es dabei insbesondere zur Vormittags- und Nachmittagsnachfragespitze („AM peak“ und „PM peak“) (siehe auch Abbildung 11 in Abschnitt 5.2.2), in denen zunächst hohe Mobilitätsnachfrage in den äußeren Stadtgebieten entsteht, die in die Richtung des Stadtzentrums gerichtet ist, sowie später am Tag dem genau entgegengesetzt (Contardo et al., 2012). Damit tritt ein wellenartiges Nachfrageverhalten auf, da sich diese Mobilitätsnachfrage täglich bzw. jeden Werktag wiederholt (Hardt & Bogenberger, 2016). Autoren haben ebenso dargelegt, dass die Nachfrage nach Standorten bzw. Zonen ein inhärentes Charakteristikum sein kann, sodass es sogenannte „from-zones“ mit grundsätzlich geringerer Mobilitätsnachfrage nach Car-Sharing gibt (Vororte, Gewerbegebiete), in denen eine Relokalisierung regelmäßig startet („from“), sowie „to-zones“ mit grundsätzlich höherer Mobilitätsnachfrage (Stadtzentren, Mobilitätsknoten wie Bahnhöfe und Flughäfen), in denen Relokalisierungen regelmäßig enden („to“) (Albinski, 2015). Diese Tendenz einer Zone kann insbesondere auch der Topographie geschuldet sein. Beispielsweise stellen im Fall von Bike-Sharing-Systemen die Stationen auf Hügeln tendenziell Startpunkte dar und die Stationen in Tälern tendenziell Endpunkte (Contardo et al., 2012). Des Weiteren gibt es in der Forschung zu stationsbasierten Car-Sharing-Systemen die zusätzliche Problematik, dass Stationen komplett gefüllt sind und die Kunden sich daher eine andere Station zum Abstellen des Fahrzeugs suchen müssen (Zakaria et al., 2014). Das hier dargestellte Problem führt weiterhin dazu, dass der Car-Sharing-Anbieter die Mobilitätsnachfrage von nur wenigen Kunden bedienen kann, wodurch wiederum weniger Kunden auf das Car-Sharing-System vertrauen oder es akzeptieren und es in die Mobilitätsplanung einbeziehen. Langfristig wirkt sich das fehlende Vertrauen auf die Anzahl an Kunden aus und resultiert in der Reduzierung der Effizienz des Mobilitätssystems und dessen Profitabilität (Brinkmann et al., 2015; Febbraro et al., 2012; Schulte & Voß, 2015; Weigl & Bogenberger, 2013). Dieses Problem kann letztendlich zum Versagen des Mobilitätssystems im Bereich Car-Sharing beitragen, wie sich am Beispiel Honda Diracc gezeigt hat. Der Dienstleister hat 2008 nach 6 Jahren den Betrieb eingestellt, weil der fehlende Ausgleich von

Angebot und Nachfrage für fehlende Qualität des Services – im Speziellen Fall die fehlende Fahrzeugverfügbarkeit – gesorgt hat (Gavalas et al., 2016).

Perspektiven der Relokalisierung

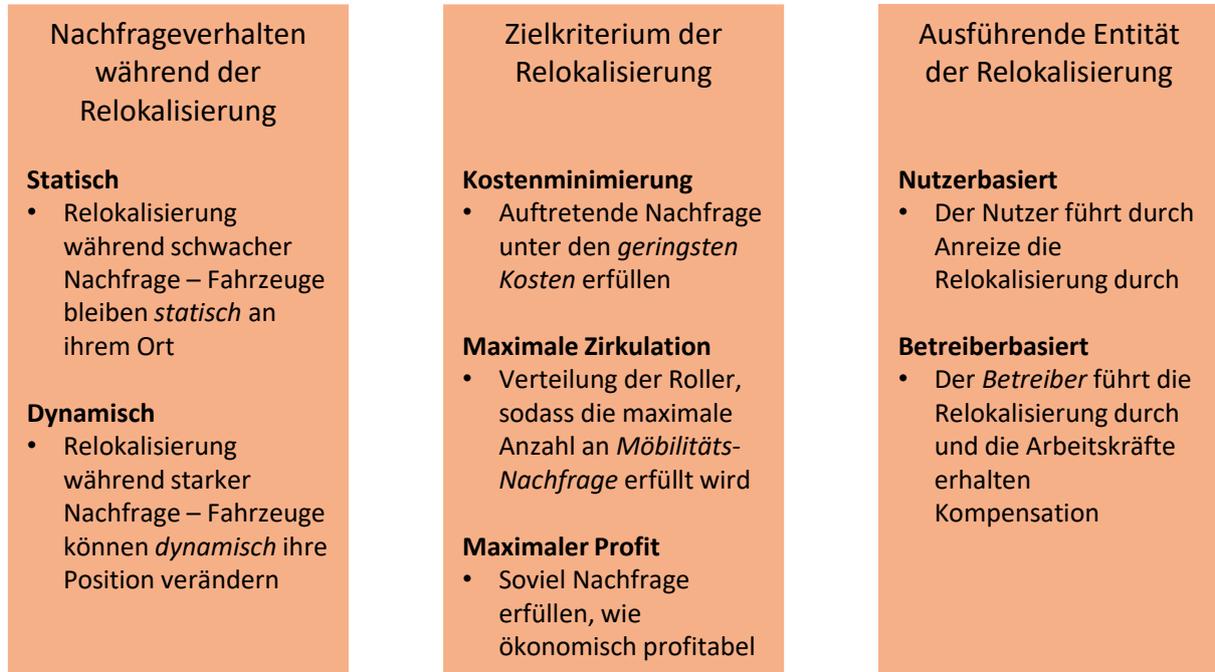


Abbildung 9: Perspektiven der Relokalisierung

Die vorrangig englischsprachige Forschung nutzt unter anderem die Termini „relocate“, „rebalance“, „redistribute“, „reallocation“ und „reposition“ (Boldrini et al., 2017; Caggiani & Ottomanelli, 2012, 2013; Contardo et al., 2012; Febbraro et al., 2012; Gavalas et al., 2016; Herrmann et al., 2014), um die Thematik der Relokalisierung zu adressieren. Die Relokalisierung kann vollständig oder teilweise erfolgen, sodass die Fahrzeuge entweder mit dem Ziel der Deckung aller zukünftig erwarteten Bedürfnisse umverteilt werden oder soweit es physisch möglich (unter Berücksichtigung der Anzahl verfügbarer Fahrzeuge, der verfügbaren Zeit oder der verfügbaren Ressourcen) oder monetär sinnvoll ist (Pal & Zhang, 2017). Dabei wird das Problem aus verschiedenen Perspektiven betrachtet. Eine Perspektive unterscheidet zwischen statischer und dynamischer Relokalisierung (Boyacı et al., 2015; Caggiani & Ottomanelli, 2012; Contardo et al., 2012; Raviv et al., 2013). Diese Perspektive bezieht sich auf die Verteilung der Fahrzeuge und der daraus resultierenden Asymmetrie von Angebot und Nachfrage basierend auf dem Mobilitätsnachfrageverhalten zum Zeitpunkt der Relokalisierung. Damit ist gemeint, dass Fahrzeuge entweder dynamisch ihre Position verändern können, während die Relokalisierung im Gange ist oder statisch ihre Position im Netzwerk innehalten. Das dynamische Problem nimmt in der Regel Nachfragesituationen mit Spitzennachfrage an, die sich während des Tages ergibt. Von einem Modellierungsstandpunkt kann hierbei die Kundennachfrage nicht vernachlässigt werden und externe Einflüsse wie Verkehr und Parkraumverfügbarkeit müssen unbedingt berücksichtigt werden. Für das statische Problem wird in der Regel angenommen, dass die Relokalisierung nachts vorgenommen wird und weder die Kundennachfrage noch externe Faktoren berücksichtigt werden müssen. Dabei wird unterstellt, dass die statische Situation aufgrund der

Wissenschaftlicher und technischer Stand

vernachlässigbaren Einflüsse praktische Vorteile aufweist, aber insbesondere dafür geeignet ist, eine gute Ausgangsposition für den Folgetag zu schaffen. Die Erfahrung von emmy zeigt, dass eine Relokalisierung in beiden Situationen durchaus notwendig sein kann, um einen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage zu erreichen. Die Asymmetrie zwischen Angebot und Nachfrage entwickelt sich regelmäßig über den Tag und kann nicht durch eine initiale Verteilung am Tagesanfang vorgebeugt werden, sondern verlangt ein zusätzliches Eingreifen während des Tages. Die praktischen Vorteile für operative Prozesse in der Nacht müssen in der Regel auch den Nachtaufschlägen bei den Personalkostensätzen für Mitarbeiter gegenübergestellt werden. Zudem kann es in Zeiten besonders hoher Nachfrage durchaus notwendig sein, dass eine durchgehende Relokalisierung von Fahrzeugen über den gesamten Tagesverlauf vorgenommen werden muss. Die wissenschaftlich fein aufgeteilten und regelmäßig getrennt betrachteten Probleme treten somit im praktischen Fall gemeinsam mit dem zusätzlichen Übergang zwischen den Problemen auf, bei der sich das Mobilitätsnachfrageverhalten stetig ändert. Formal ausgedrückt besitzt die Mobilitätsnachfrage räumliche und temporale Dimensionen (Boyacı et al., 2015). An eine praktische Lösung besteht daher die Anforderung, parallel mit den verschiedenen Problemen (statisch, dynamisch, Übergang zwischen statisch und dynamisch in beide Richtungen) umgehen zu können. In dem Zusammenhang sei erwähnt, dass Autoren neben dem oben beschriebenen Relokalisierungszeitpunkt ebenso zwischen „statischer“ und „vorhersagender“ Relokalisierung unterscheiden, wobei sie sich auf die Relokalisierung aufgrund von tatsächlicher Nutzeranfrage sowie die Relokalisierung aufgrund von Antizipation zukünftiger Nutzeranfragen beziehen (Nourinejad et al., 2015), welche wiederum das Signal zur Relokalisierung auslöst. Die beiden oben besprochenen Varianten des Relokalisierungszeitpunkts (dynamisch vs. statisch) unterstellen ein vorhersagendes Relokalisierungssignal. Diese Unterscheidung spielt im Zusammenhang mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben daher keine Rolle.

Eine weitere Perspektive ist die Zielfunktion. Hier kann beispielsweise die kostenminimale Relokalisierung im Vordergrund stehen bzw. die Minimierung der Kosten des Gesamtsystems (Raviv et al., 2013). Unter Berücksichtigung einer gleichmäßigen Verteilung der Fahrzeuge werden Kosten für die verschiedenen Tätigkeiten bei der operativen Relokalisierung in die Modellierung aufgenommen. Die kostenminimierenden Verfahren besitzen in der Regel Nebenbedingungen, welche die Erfüllung der zukünftigen Mobilitätsbedarfe einbeziehen, um das Kostenziel in Verbindung mit der Nachfrage zu setzen (Caggiani & Ottomanelli, 2012). Andernfalls wäre die theoretisch kostenminimale Situation erreicht, wenn keine kostenerzeugende Handlung einschließlich der Relokalisierungen ausgeführt werden würde. Neben diesem kostenminimalen Ziel kann ebenso das Ziel der maximalen Zirkulation der Fahrzeuge („maximum circulation problem“) verfolgt werden (Waserhole & Jost, 2016). Grundsätzlich wird bei dieser Zielfunktion angestrebt, aus der vorhandenen Fahrzeugflotte die maximale Anzahl an möglichen Fahrzeugmieten zu erzeugen. Diese Zielfunktion kommt also der Maximierung der Profitabilität nahe, welche auch explizit verfolgt werden kann (Boyacı et al., 2015; Jorge et al., 2014; Weikl & Bogenberger, 2015) bzw. in Form des maximalen Nutzens aus der Relokalisierung (Albinski, 2015). In der praktischen Umsetzung zeigt sich dabei aber, dass aufgrund der unterschiedlich langen Mieten, die maximale Anzahl an Mieten nicht notwendigerweise im maximalen Profit resultieren muss. Im Idealfall wäre die zu erwartende Fahrtlänge, welche bei Car-Sharing Geschäftsmodellen regelmäßig der Hauptfaktor für den Umsatz ist, bei allen Startstandorten gleich. In diesem idealen Fall würde die Relokalisierung von Fahrzeugen zu einem Standort mit einer hohen zu

Wissenschaftlicher und technischer Stand

erwartenden Nachfrage auch im höchsten Profit resultieren. Trifft diese ideale Annahme für die zu erwartende Fahrtlänge nicht zu, so ergibt sich bezogen auf den maximalen Profit im ungünstigen Fall ein Zielkonflikt für die Relokalisierung. Fahrzeuge werden entweder zu einem Ort mit der höchsten Wahrscheinlichkeit einer schnell darauffolgenden Fahrt im Anschluss zur Relokalisierung gebracht (der Ort mit der stärksten Nachfrage) oder an den Ort mit der höchsten zu erwartenden Fahrtzeit. Während dieser Zielkonflikt im einfachen Fall aus nur zwei Faktoren aufzulösen ist, besteht in der praktischen Anwendung die Problematik darin, diese Faktoren auf Basis des Mobilitätsnachfrageverhaltens der Vergangenheit mit einer hohen Treffgenauigkeit abzuschätzen. Diese Faktoren werden dabei zeitlich zudem nicht stabil bleiben. Neben der Abschätzung der zeitlich sich verändernden Faktoren muss in der praktischen Anwendung zusätzlich betrachtet werden, ob die Relokalisierung zu den optimalen Orten operativ umsetzbar ist. Als Beispiel der Veranschaulichung kann hier eine Insel außerhalb des Geschäftsgebiets dienen, die Car-Sharing-Anbieter aus Gründen der Kooperation mit anderen Mobilitätsanbietern einrichten. Da insbesondere die Anwohner im Umkreis der Insel einen standortinhärenten nachteiligen Zugang zum Angebot des Car-Sharing-Anbieters haben, ist eine kleinere Anzahl potenzieller Nutzer in diesem Bereich zu erwarten. Somit wäre die Wahrscheinlichkeit geringer, dass ein sich dort befindliches Fahrzeug in kurzer Zeit nach einer Relokalisierung an diesem Ort gemietet wird. Wird ein solches Fahrzeug jedoch gemietet, so wird diese Miete in der Regel in das eigentliche Geschäftsgebiet führen, was zu weniger Kurzfahrten führt. Resultierend ist die durchschnittliche Fahrt von einem derartigen Ort als länger zu erwarten als eine durchschnittliche Fahrt in einem Kiez mit vielen Nutzern, die die Fahrzeuge für Fahrten zum nächsten Supermarkt, Bäcker, Spätverkauf oder zur nächsten Packstation nutzen.

Die letzte relevante Perspektive ist die ausführende Entität der Relokalisierung. Hierbei unterscheiden Autoren zwischen der Relokalisierung durch den Betreiber selbst („operator-based“) oder den Kunden („user-based“) (Albinski, 2015; Boldrini et al., 2017; Boyaci et al., 2015; Weikl & Bogenberger, 2013). Der Betreiber setzt für die Relokalisierung seine Arbeitskräfte ein, um die Sharing-Fahrzeuge von einem Ort mit Angebotsüberfluss zum optimalen Platz zu bringen. Der Nutzer erhält dagegen einen Anreiz in Form von günstigeren Preisen oder Freiminuten und bringt das Sharing-Fahrzeug von einem Ort mit Angebotsüberfluss zu seinem Zielort oder einer geeigneten, aber nicht notwendigerweise optimalen Position nahe seinem Zielort. Die betreiberbasierte Relokalisierung wird auch als „aktive“ oder „direkte“ Relokalisierung bezeichnet. Sie verlangt Fahrer (oder auch „Chauffeure“, „Jockeys“), die zunächst zu dem zu relokalisierenden Sharing-Fahrzeug gelangen, und sich anschließend von dort aus zum nächsten Einsatzort begeben (Albinski, 2015; Caggiani & Ottomanelli, 2012; Zakaria et al., 2014). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrer von diesem Zielort kein anderes Sharing-Fahrzeug mitnehmen soll, um es wiederum an einen anderen Ort zu relokalisieren. Im Bike-Sharing können Lkws zur Relokalisierung eingesetzt werden. Vorgeschlagene Transportmöglichkeiten im Car-Sharing sind Busse, Fahrräder sowie vereinzelt auch Fahrzeugtransporter, die mehrere Autos befördern können. Die Nutzung von Lkws/Transportern kehrt sich jedoch als vorteilhaft um, sobald es sich um ein FFSS handelt, da jedes Sharing-Fahrzeug von einem nahezu beliebigen Ort eingesammelt werden müsste (Brinkmann et al., 2016). In der betreiber-basierten Relokalisierung steht dabei die Effizienz der Mitarbeiter und deren Relokalisierungsaktivitäten im Vordergrund (Weikl & Bogenberger, 2015). In diesem Fall können Relokalisierungen aber auch mit Instandhaltungsaktivitäten und Services an den Fahrzeugen verbunden werden und werden in jedem Fall kurzfristig ausgeführt (Caggiani &

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Ottomanelli, 2013; Weikl & Bogenberger, 2013). Nichtsdestotrotz ist die betreiberbasierte Relokalisierung immer mit Kosten verbunden, die durch Umsätze aus der Relokalisierung amortisiert werden müssen (Weikl & Bogenberger, 2013). Je höher die Kosten der betreiberbasierten Relokalisierung, desto schwerer ist dies zu erreichen. Die nutzerbasierte Relokalisierung, die auch als „passive“ oder „indirekte“ Relokalisierung benannt wird, hat den Nachteil, dass der Betreiber nur bedingt steuern kann, wo das Sharing-Fahrzeug letztendlich wieder abgestellt wird (Albinski, 2015). Fragt der Mobilitäts-Sharing-Anbieter vor der Fahrt den Kunden nach seinem Ziel, so kann dem Kunden auch ein Anreiz dafür geboten werden, ein konkretes alternatives Ziel anzufahren (Febbraro et al., 2012; Herrmann et al., 2014). Ebenso wurden bereits Anreize für Fahrzeug-Pooling vorgeschlagen, die jedoch schwer zu koordinieren sind. In diesen beiden Fällen büßen die Kunden einen Teil ihrer Privatsphäre ein. Außerdem sind Kunden möglicherweise verwirrt oder zeigen Unverständnis für den Eingriff in ihre Route durch den Betreiber (Weikl & Bogenberger, 2013). Diese Optionen verlangen zusätzlich die entsprechenden Informationstechnologien, um die Anreize zu setzen (Brendel et al., 2016). Letztendlich haben Autoren immer wieder betont, dass die nutzerbasierte Relokalisierung ökonomisch sinnvoller ist, weil keine Kosten für Fahrer und den Transport der Fahrer entstehen, während die Kosten aus den Anreizen stets auch mit Umsätzen verbunden sind (Fanti et al., 2019; Herrmann et al., 2014; Schulte & Voß, 2015; Weikl & Bogenberger, 2013). Da die Reaktionszeit länger sein kann und es unklar ist, ob überhaupt eine Kundenreaktion durch den Anreiz stattfindet (z.B. zu geringer Anreiz), raten Autoren dazu, die nutzerbasierte Relokalisierung nur dann anzuwenden, wenn diese Reaktionszeit auch in Kauf genommen werden kann oder Teil von planbaren Ereignissen ist, die voraussichtlich eine Relokalisierung verlangen werden (z.B. Veranstaltungen) (Caggiani & Ottomanelli, 2013; Rudloff & Lackner, 2013; Weikl & Bogenberger, 2013). Zuletzt muss erwähnt werden, dass Autoren noch immer debattieren, ob Nutzer tatsächlich auf derartige Anreize reagieren (Boldrini et al., 2017).

Wie Gavalas et al. (2016) zusammenfassend feststellen, liegt eine grundsätzliche und übergeordnete Kritik an den Ansätzen zur Relokalisierung darin, dass diese eine Bindung und Aufwendung von personellen und finanziellen Ressourcen verlangen, um die Nachfrage der Kunden zu bedienen. Dies kann die wirtschaftliche Lebensfähigkeit von Unternehmen stark beeinflussen. Aus einer unternehmerischen Perspektive müssen diese Aufwendungen in angemessener Weise der Zahlungsbereitschaft der Kunden gegenüberstehen.

3.2.1.1 Relokalisierung von Car-Sharing Flotten

Die Forschung im Bereich der Relokalisierung von Car-Sharing-Systemen bietet im Vergleich zu den anderen Fahrzeugklassen die meisten auffindbaren Ansätze. Da die Forschung nicht vollumfänglich dargestellt werden kann, sind im Folgenden Abschnitt ausgewählte interessante Forschungsstudien dargestellt, die durch ihren Ansatz oder durch den Bezug zur praktischen Umsetzung besonders relevant für das vorliegende Forschungsvorhaben sind. Eine Übersicht über weitere Ansätze ist beispielsweise in den Arbeiten von Weikl und Bogenberger (2013, 2015) zu finden, wobei darauf hingewiesen wird, dass sich die Forschung vorrangig mit Ansätzen für betreiberbasierte Relokalisierung in stationsbasierten Car-Sharing-Systemen beschäftigt hat. Somit stellt das vorliegende Forschungsvorhaben einen Schritt in eine weniger erforschte Nische dar. In diesem Abschnitt finden sich Studien zu stationsbasierten Systemen, FFSS sowie ein alternativer Ansatz der Relokalisierung. Die

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Absätze stellen die Studien jeweils kurz vor und gehen anschließend auf deren Besonderheiten ein, aufgrund derer sie für diese Literaturanalyse ausgewählt wurden.

Ansätze für stationsbasierte Systeme

Einführend ist die Studie von Jorge et al. (2014) zu betrachten, welche ein Optimierungsmodell für die Relokalisierung von Fahrzeugen aufstellt und dieses anhand von Fallstudien Daten eines stationsbasierten Car-Sharing-Anbieters in Lissabon bewertet. Die Autoren zeigen in ihrer Forschung auf, dass die Relokalisierung einen erheblichen positiven Einfluss auf die Profitabilität des Car-Sharing-Systems haben kann (Jorge et al., 2014). In diesem Zug bewerten sie insbesondere den Einfluss der Echtzeit-Relokalisierung und bestätigen ihren positiven Einfluss. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Erkenntnis der Autoren, dass unter Berücksichtigung eines rentablen Car-Sharing-Systems tendenziell der Mobilitätsbedarf nicht vollständig durch Relokalisierung gedeckt werden sollte. Im optimalen bzw. profitablen Ergebnis kann somit ein Teil der Mobilitätsnachfrage ungedeckt bleiben, da nur durch nicht-ökonomische Relokalisierung das passende Angebot geschaffen werden kann. Weiterhin hervorzuheben ist die Rechenzeit des Optimierungsmodells der Relokalisierung, welche von den Autoren als unerlässlich angesehen wird, um das Modell im praktischen Fall anzuwenden und daraus Nutzen zu erzeugen. In einem kurzen Überblick zeigen die Autoren weiterhin auf, dass es neben der anbieter- und nutzerbasierten Relokalisierung noch die Möglichkeit gäbe, durch die gezielte Verteilung von Stationen sowie durch Ablehnung von Kunden bzw. deren Mieten, einen besseren Ausgleich von Angebot und Nachfrage zu schaffen. Abschließend halten die Autoren fest, dass ihr Optimierungsmodell lediglich eine Obergrenze für den ökonomischen Mehrwert abbilden kann, da sie mit a priori Werten der Nachfrage bzw. Nachfragemustern arbeiten. Folglich hängt die Leistung der Optimierung von der Leistung der Nachfragevorhersage ab, welche den Input des Optimierungsmodell bildet.

In der Forschung zu stationsbasierten Car-Sharing-Systemen kann außerdem die Studie von Bruglieri et al. (2014A) betrachtet werden. Die Autoren beabsichtigen die Relokalisierungsprozesse eines Car-Sharing-System in Mailand zu optimieren. Dafür nutzen sie ein Optimierungsmodell, das sie in vorheriger Forschung entwickelt haben (Bruglieri et al., 2014), und überprüfen dessen Wirkung anhand einer Simulation (Bruglieri et al., 2014A). Mit der Simulation überkommen die Autoren der Problematik, dass die Implementierung in das reale System zum Zweck der Bewertung der Optimierungsmodelle im operativen Einsatz mit erheblichen Aufwänden verbunden wäre. Dieser Ansatz kann vorteilhaft sein, um die Annahmen des Optimierungsmodells zu prüfen, ohne den operativen Prozess zu unterbrechen. Dabei ist zu beachten, dass Inhalt und Abstraktionsgrad einer derartigen Simulation den Zweck des Stresstests des Optimierungsmodells unterstützen. Da es sich in den betrachteten Studien jeweils um dieselben Autoren handelt und keine Einbeziehung von Experten des Car-Sharing-Anbieters erwähnt ist, ist der Grad der kritischen Reflektion des Modells an dieser Stelle jedoch fraglich. Weiterhin bringen die Autoren zwei interessante praktische Punkte ein. Einerseits schlagen sie vor, dass die Mitarbeiter, welche die Relokalisierung durchführen, sich mit Klappfahrrädern zu den Fahrzeugen bewegen und die Klappfahrräder anschließend im Kofferraum der Fahrzeuge transportieren. Dies vereinfacht die Verteilung der Mitarbeiter. Andererseits schätzen die Autoren ab, dass ein solcher Mitarbeiter nur ein Viertel seiner Arbeitszeit mit der Relokalisierung von Fahrzeugen verbringt und ansonsten entweder wartet oder sich zu einem Fahrzeug bewegt (Bruglieri

Wissenschaftlicher und technischer Stand

et al., 2014A). Wird die tatsächliche Relokalisierung den wertschöpfenden Tätigkeiten zugeordnet, und die anderen Tätigkeiten den nicht-wertschöpfenden, so ergibt sich ein stark ungünstiges Verhältnis der Wertschöpfung.

Mit einem zusätzlichen Fokus auf Personalausgleich („staff rebalancing“) erweitern Nourinejad et al. (2015) die Optimierung der Relokalisierung von Fahrzeugen in stationsbasierten Car-Sharing-Systemen mit dem grundlegend relevanten Unterstützungsprozess, um die betreiberbasierte Relokalisierung durchzuführen. Die Autoren betonen dabei, dass die Bewegung von Personal zwischen Stationen und die Verfügbarkeit von Personal an den Stationen zum Zweck der Relokalisierung regelmäßig in der Modellierung von Optimierungsmodellen vernachlässigt wird und dementsprechend deren Anwendbarkeit massiv einschränkt (Nourinejad et al., 2015). In der Besprechung relevanter Vorarbeiten gehen die Autoren auch auf praktisch schwer umsetzbare Prozessmodellierungen für den Personalausgleich. Dazu zählt beispielsweise das Ride-Sharing von Kunden mit Mitarbeitern, um die Mitarbeiter zu ihren Ziel-Stationen zu bringen. Das setzt jedoch die Bereitschaft der Kunden voraus, ihre Privatsphäre massiv einzuschränken. In der Konsequenz wird die Relokalisierung unter Berücksichtigung von Reisezeit und -kosten für den Personalausgleich (z.B. Nutzung von ÖPNV, Nutzung von Taxis) modelliert. Die Autoren stellen weiterhin dar, dass das Problem der Relokalisierung ihrer Auffassung nach eine enge Verbindung zu Entscheidungen der Flottengröße, der Mitarbeiterzahl, und der Personaleinsatzplanung hat. Diese eher strategisch ausgelegten Entscheidungen führen dazu, dass die Autoren ihr Optimierungsmodell letztendlich als Planungsgrundlage auf der strategischen Ebene einschätzen und in der Form auf ihre vorherige Fallstudie zu car2go in Toronto einsetzen. Es werden weitreichende Änderungen benannt, um es operativ im Tagesgeschäft verwenden zu können. Dazu muss angemerkt werden, dass das Modell unter der Annahme agiert, dass der notwendige Personalbedarf für Relokalisierungen sinkt oder stagniert, während die Flottengröße steigt. Letztere setzt die Haltbarkeit bei Veränderung der Kundenzahl oder Veränderungen der Geschäftsgebietsgröße voraus. Da diese Parameter in der strategischen Planung als Planungswerte fix angenommen werden können, ist diese Annahme für das Modell jedoch weniger kritisch als in einem Einsatz des Modells im operativen Einsatz.

Ein weiteres Vorgehen für stationsbasierte Car-Sharing Systeme besteht in der Überlegung, die Relokalisierung – operative Planung – bereits bei der Netzwerkgestaltung – strategischen Planung – zu berücksichtigen (Boyacı et al., 2015). Der Grundgedanke bei diesem Vorgehen liegt darin, dass sich die Entscheidungen auf den unterschiedlichen Ebenen / Planungshorizonten gegenseitig beeinflussen und eine integrierte Optimierung zu besseren Ergebnissen führt. Dazu kann ein integriertes Modell aufgestellt werden, das als MILP optimiert wird. In der Studie von Boyacı et al. (2015) wird ein derartiges Modell auf ein stationsbasiertes Car-Sharing System für Elektrofahrzeuge angewandt und verfolgt mehrere Ziele. Einerseits wird der maximale Nutzen für den Anbieter verfolgt, der sich aus Umsatz und Kosten zusammensetzt, sowie andererseits der maximale Nutzen für die Kunden, der in monetären Einheiten gemessen wird. Um dabei unterschiedliche Nachfragesituationen abzudecken, werden verschiedene Szenarien verwendet. Das Modell wird auf einen Car-Sharing-Anbieter in Nizza angewandt. Aus der Perspektive des vorliegenden Forschungsvorhabens sind dabei insbesondere die Personalkosten für die Relokalisierung zu berücksichtigen, die als Resultat der Optimierung als gering

Wissenschaftlicher und technischer Stand

zu erwarten sind. Dieser Ansatz ist jedoch der strategischen Verortung von Stationen, um die Relokalisierungskosten zu reduzieren, nicht auf ein FFSS übertragbar.

Unter der besonderen Berücksichtigung der Möglichkeit, dass Stationen überlaufen sein können und Kunden keinen Abstellplatz für das gemietete Fahrzeug finden, optimieren Zakaria et al. (2014) ein Modell für die Durchführung von Relokalisierungen durch den Betreiber. Obgleich dieses Problem zunächst begrenzt auf stationsbasierte Car-Sharing-Systeme scheint, gibt es Parallelen zu FFSS, die diese Studie insbesondere für das vorliegende Forschungsvorhaben relevant machen. Das Optimierungsmodell der Studie ist darauf ausgelegt, die Ereignisse nicht-erfüllter Nachfrage zu minimieren. Nicht-erfüllte Nachfrage kann dabei zum Einen durch fehlende Fahrzeuge an einer Station mit vorhandenem Mobilitätsbedarf auftreten und zum anderen durch fehlende Abstellmöglichkeiten von gemieteten Fahrzeugen (Zakaria et al., 2014). Zusätzlich soll durch das Modell die Anzahl an Relokalisierungsoperationen minimiert werden. Im vorliegenden Fall wird ein Greedy-Verfahren zur Lösung des Optimierungsmodells genutzt. Da das Modell jedoch sehr stark von Annahmen geprägt ist (bspw. Fehlen jeglicher Kosten) und die Bewertung ausschließlich anhand von Simulationen erfolgt, ist der Mehrwert der Lösung im praktischen Fall schwer zu bewerten.

Eine der relevantesten Studien zu stationsbasierten Car-Sharing-Systemen für das vorliegende Forschungsvorhaben ist von Febraro et al. (2012), die sich mit nutzerbasierter Relokalisierung auseinandersetzen. Die Autoren testen mit einer Simulation ein zweistufiges Optimierungsverfahren, in dem für eine Reservierung, dessen Zielort bekannt ist, in der ersten Stufe der optimale Abstellort aus Sicht des Unternehmens bestimmt wird und in der zweiten Stufe ein Anreiz für den Nutzer gesetzt wird, sein Fahrzeug an dem ermittelten Ort anstatt seinem ursprünglich geplanten Zielort abzustellen (Febraro et al., 2012). Das Ziel des Verfahrens liegt darin, die Ablehnung von Mobilitätsbedarfen zu minimieren. Die Studie berücksichtigt zusätzlich die im praktischen Fall auftretenden Absagen und Modifizierungen von Reservierungen. Der Mehrwert einer Optimierung kann nachträglich reduziert werden, wenn die in der Planung berücksichtigten Ereignisse letztendlich anders oder nicht eintreten. In der Studie wird daher eine „Rolling Horizon Optimization“ angewandt, in der die Optimierung kontinuierlich bei bestimmten Ereignissen wie einer abgeschlossenen Reservierung angestoßen wird. In der vorliegenden Studie erhalten die Kunden einen Rabatt auf ihre Reservierung als Anreiz für eine Relokalisierung, welcher davon abhängig ist, wie weit der optimale Abstellort vom eigentlichen Zielort des Kunden entfernt ist. Für die Bewertung der Methode wird eine Simulation am Beispiel von Turin verwendet, jedoch sind die Daten stochastisch generiert und nur ein kleiner Teil der Stadt wurde berücksichtigt. Die Simulation basiert auf Annahmen zur Wahrscheinlichkeit, dass Kunden den Anreiz annehmen und wie viele Fahrzeuge den Bereich bedienen. Wenig überraschend werden nahezu alle Mobilitätsbedarfe bedient, wenn die Wahrscheinlichkeit der Relokalisierung durch Kunden hoch ist und der Bereich mit Fahrzeugen als gesättigt betrachtet werden kann. Dabei berücksichtigen die Autoren jedoch keine Kosten bzw. welche Umsatzreduzierung durch die Anreize entstehen. Des Weiteren sind die Wahrscheinlichkeiten zur Annahme der Anreize durch die Kunden rein Szenarienbasiert und losgelöst von beobachtetem bzw. erforschtem Kundenverhalten oder den notwendigen Rabatten, um die tatsächliche Relokalisierungswahrscheinlichkeit zu erreichen. Daher ist die Bewertung nicht nützlich für die Abschätzung des Effekts im praktischen Einsatz.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Überlegungen zur praktischen Umsetzung von nutzerbasierten Relokalisierungsstrategien stellen Brendel et al. (2016) auf, die den Prozess der nutzerbasierten Relokalisierung einschließlich der Ermittlung von Handlungsbedarfen und der Kommunikation mit dem Kunden in ein Informationssystem einbinden. Das in mehreren Schritten arbeitende Informationssystem bestimmt im ersten Schritt den Handlungsbedarf nach Relokalisierungen von Fahrzeugen hinzu Stationen basierend auf einer Art Nachfragevorhersage (Brendel et al., 2016). Im darauffolgenden Schritt werden den Kunden Anreize gegeben, ein Fahrzeug zu relokalisieren. Dabei werden Kunden mit einer aktiven Reservierung angefragt, ihre Zielstation zu ändern. Dementsprechend setzt das System Kenntnis über die Zielstation der Kunden voraus. Im dritten Schritt kann der Kunde annehmen oder ablehnen. Folglich berücksichtigen die Autoren, dass in die Interaktion mit den Kunden getreten werden muss, um die Anreize zu geben und gestalten dies von vornherein als Teil des Prozesses und des daraus resultierenden Informationssystems. Dabei fällt auf, dass die Autoren in ihrem System jedoch kein klar formuliertes Vorgehen für den Fall haben, dass Kunden die Relokalisierungsanfrage nicht bemerken. Da die Kunden sich während der Fahrt auf kein Informationssystem konzentrieren sollten (z.B. das eigene Smartphone), ist dies jedoch ein durchaus relevantes Stör-Ereignis. Um zudem den notwendigen Anreiz für den Kunden für die Relokalisierungsdurchführung zu bestimmen, führen die Autoren eine Umfrage durch. Mit Hilfe der Umfrage soll sich ein notwendiger monetärer Anreiz in Abhängigkeit von der verlängerten Reisezeit der Kunden von der veränderten Abstellstation zum Ziel bestimmen lassen. Der Anreiz ist dabei etwa 1,08 € für 10 Minuten Umweg, steigt aber exponentiell mit der Reisezeit. Die Teilnehmerzahl von 26 reduziert die Verlässlichkeit dieser Information. Das Informationssystem wird von den Autoren anhand generierter Daten evaluiert und berücksichtigt dank Schätzungen und Recherchen diverse für den praktischen Anwendungsfall relevanter Kosten. Basierend auf ihren Forschungsergebnissen zeigen die Autoren die Vorteile der nutzerbasierten Relokalisierung auf, die für den Betreiber in Form von eingesparten Kosten, erhöhter Auslastung der Fahrzeuge und höheren Reservierungszahlen sowie für die Kunden in Form von gesteigerter Fahrzeugverfügbarkeit liegen. Im Zusammenhang ihres Vorgehens betonen die Autoren außerdem, dass FFSS eigentlich als stationsbasierte Car-Sharing-Systeme mit unendlich vielen Stationen verstanden werden können, wodurch die Relokalisierungsansätze vergleichbar sind aber nur eingeschränkt übertragbar. Die Autoren gehen auf diesen Punkt ein, da sie Ansätze für FFSS, wie sie im nachfolgenden Text besprochenen werden, auf ein stationsbasiertes Car-Sharing-System übertragen.

Ansätze für FFSS

Im Gegensatz zur stationsbasierten Optimierung der Relokalisierung hat die Forschung zu FFSS Car-Sharing erst ein paar Jahre später zugenommen. Ein praxis-orientiertes Beispiel stellt die Studie von Weikl und Bogenberger (Weikl & Bogenberger, 2015) dar. Die Autoren merken an, dass die Modelle und Ansätze von stationsbasierten Car-Sharing-Systemen auf FFSS übertragen werden können, insofern Geschäftsgebiets-Zonen gebildet werden und diese wie Stationen behandelt werden. Die Übertragbarkeit ist jedoch nicht vollständig möglich, da stationsbasierte Ansätze teilweise eine vorherige Reservierung und somit keine spontane Veränderung der Angebotssituation annehmen sowie das Festlegen eines Fahrtziels erwarten. In der Studie wird ein sechs-stufiger Prozess zur Relokalisierungsoptimierung vorgestellt (Weikl & Bogenberger, 2015). Kernelemente davon sind

Wissenschaftlicher und technischer Stand

einerseits die Unterteilung des Geschäftsgebiets zunächst in Makrozonen und diese wiederum in kleinere Mikrozonen, um die Berechnung des MIP-Modells mit einem Branch-and-Cut-Algorithmus zu beschleunigen. Andererseits werden für die Zonen Nachfrageprofile basierend auf historischen Daten aufgestellt, deren zu erwartender Nachfrage durch zusätzliches Angebot resultierend aus der Relokalisierung ausgeglichen werden soll. Das Modell wurde an einem Praxisfall in München getestet und in mehreren Phasen iterative weiterentwickelt. Aufgrund des starken Praxisbezugs werden multiple Anforderungen für den praktischen Einsatz berücksichtigt. Insbesondere wird bedacht, dass Kunden maximal 500 Meter zu einem Fahrzeug zu laufen bereit sind. Ebenso wird mit einbezogen, dass Zonen aufgrund von Events oder Bauarbeiten nicht genutzt werden können. Hervorzuheben ist außerdem der Bezug auf Mitarbeiter bei der Relokalisierung anstatt auf Aufsummierung von Zeitstunden. Während andere Studien an dieser Stelle Ungenauigkeiten aufweisen, kann es somit nicht zu einem hypothetischen Fall kommen, in dem beispielsweise vier Mitarbeiter mit insgesamt 32 Arbeitsstunden im optimalen Ergebnis gleichzeitig 32 Fahrzeuge für jeweils eine Stunde relokalisieren.

In der Forschung sind vorrangig Ansätze der betreiberbasierten Relokalisierung vorzufinden. Ein Beispiel für nutzerbasierte Relokalisierung ist die Studie von Herrmann et al. (2014). Die Studie zielt darauf ab, Relokalisierungsstrategien zu entwerfen und zu bewerten. Die Autoren stellen vier Strategien vor (Herrmann et al., 2014):

- (1) Preisanreize für die Kunden, damit diese weiter entfernt stehende Fahrzeuge anmieten;
- (2) Preisanreize für die Kunden, damit diese die gemieteten Fahrzeuge in einer Region mit höherer Nachfrage abstellen;
- (3) Kunden werden für die Relokalisierung bezahlt (z.B. auch in Freiminuten für den Car-Sharing-Service);
- (4) Kostenaufteilung auf mehrere Kunden, wenn diese ein Fahrzeug teilen, um an ihr gemeinsames Ziel zu gelangen.

Die Bewertung der Strategien soll laut der Studie unter Verwendung einer Simulation erfolgen, deren konzeptionelles Modell vorgestellt wird. Die Simulationsergebnisse werden in der Studie jedoch nicht weiter ausgeführt. Weiterhin werden Umfrageergebnisse vorgestellt, welche für die Strategieentwicklung durchgeführt wurden. Dabei wird auf relevante Folgen der fehlenden Verfügbarkeit in FFSS eingegangen, welche die Relokalisierung notwendig machen: Mit zunehmender Entfernung zum nächstgelegenen Fahrzeug sinkt die Bereitschaft der Kunden, den Car-Sharing-Service zu nutzen; Kunden haben eine begrenzte Bereitschaft für Wartezeit auf ein verfügbares Fahrzeug; Kunden sind tendenziell bereit ihr Fahrtziel anzugeben und für einen Preisanreiz das Fahrtziel anzupassen. Dabei lässt die Art der Befragung jedoch Potential für „Response Bias“ (die Antwort der befragten Teilnehmer können von den tatsächlichen Affekthandlung in realen Situationen abweichen), sodass die Ergebnisse hier nicht dargestellt werden.

Eine hervorzuhebende Studie für FFSS im Bereich des Car-Sharings ist von Albinski (2015). Während die Studie sich vorrangig mit der Erweiterung eines Modells und der Beschleunigung der Berechnung durch die Entwicklung kombinierter Algorithmen beschäftigt (mehrere Branch-and-Cut-Verfahren), hebt sie einige relevante operative Punkte hervor, die für das vorliegende Forschungsvorhaben von Bedeutung sind. Das betrachtete Relokalisierungsproblem, bei dem der Operateur die Relokalisierung

Wissenschaftlicher und technischer Stand

übernimmt, ist von der Komplexitätsklasse NP-schwer (Albinski, 2015). Entsprechend ergeben sich für die „online“-Lösung des Problems (d.h. die Lösung des Problems im praktischen Einsatz, in dem die Lösung in kurzer Zeit zur Verfügung stehen muss) deutliche Einschränkungen in der Nutzbarkeit, wenn ein nicht-heuristischer Algorithmus verwendet wird, da die Berechnung nicht in der notwendigen Zeit zur Verfügung stehen würde. Der praktische Einsatz, in dem sich die Mobilitätsnachfrage- und Mobilitätsangebotssituation stetig ändern, verlangt jedoch eine regelmäßige Neuberechnung des optimalen Ergebnisses, da das mathematische Modell auf der Annahme basiert, dass die Fahrzeuge gesperrt sind und sich nicht bewegen. Jedoch werden zur Relokalisierung ausgewählte Fahrzeuge sowohl gemietet und „verschwinden“ aus der Kandidatenliste für eine Relokalisierung als auch nach beendeten Mieten abgestellt und „erscheinen“ zum Zweck der Relokalisierung. Die Studie berücksichtigt weiter, dass die Zonen mit geringer Nachfrage, in denen sich Fahrzeuge sammeln, weiter auseinander liegen. Somit müssen die Fahrer an eine Vielzahl getrennter Orte gebracht werden. Außerdem wird angenommen, dass zwischen den Zonen mit hoher Nachfrage keine Balance der Verfügbarkeit von Fahrzeugen herrschen muss. Die Maximierung des Nutzens der Relokalisierung steht im Vordergrund, wodurch ein Ungleichgewicht zwischen den bevorzugten Ergebnissen möglichst effizienter Relokalisierung von Fahrzeugen oder tendenziell hoher Nachfrage in der Optimierung auftreten kann.

Die deutlich relevanteste Studie für das vorliegende Forschungsvorhaben kommt von den Autoren Schulte und Voß (2015), welche die nutzerbasierten Relokalisierungsstrategien von Herrmann et al. (2014) mit anwendungsnahen Methoden evaluieren. Grundsätzlich hervorzuheben ist die Studie zudem aufgrund des starken Fokus auf die Nachfragevorhersage bzw. die Relevanz der Qualität der Nachfragevorhersage auf die Effektivität der Relokalisierungsstrategien. Die Autoren unterstreichen, dass durch eine hoch-akkurate und kurzfristige Nachfragevorhersage das Auftreten eines Angebotsmangels an Fahrzeugen ebenso hoch-akkurat bestimmt werden kann, wodurch die Anreize zur Fahrzeugrelokalisierung zu Orten des bevorstehenden Mangels präziser gesetzt werden können. In ihrer Studie verwenden die Autoren zur Mobilitätsnachfragevorhersage ein Regressionsmodell sowie ein Künstliches Neuronales Netzwerk (Schulte & Voß, 2015). Zur Bewertung der Relokalisierungsstrategien und der Nachfragevorhersage nutzten Autoren Echtzeitdaten von car2go aus Hamburg (insb. Reservierungen und Verfügbarkeit von Fahrzeugen), welche die Grundlage für die Simulation bilden. Auch im Vergleich zu Febraro et al. (2012) ist dabei festzustellen, dass die Bewertung des aktuellen Status des Car-Sharing-Systems in Bezug auf Relokalisierungsbedarfe deutlich frequenter vorgenommen wird, wenn nutzerbasierte Relokalisierungsstrategien verfolgt werden. Die Relokalisierungsstrategien werden in der Simulation – im Vergleich zu anderen hier betrachteten Studien – anhand von Kosten überprüft, die aus Sicht des vorliegenden Forschungsvorhabens als realistisch eingeschätzt werden können. Die Autoren kommen anhand ihrer Forschung zu dem Ergebnis, dass die nutzerbasierten Relokalisierungsstrategien den betreiberbasierten Strategien deutlich in den Bereichen Kosten, Emissionen, und Fahrtaufwand überlegen sind. Das plakative Ergebnis der Studie suggeriert ein Verhältnis der Kosten von eins zu acht im Vergleich von nutzerbasierter zu betreiberbasierter Relokalisierung.

Ein weiteres bestechendes Forschungsbeispiel, das die Komplexität der praxisnahen Lösung des vorliegenden „demand-offer asymmetric problem“ bei FFSS aufzeigt, ist die frühere Studie von Weikl

Wissenschaftlicher und technischer Stand

und Bogenberger (2013). In der Studie wird ein Vorgehen zur optimalen Relokalisierung basierend auf sowohl betreiberbasierten als auch nutzerbasierten Relokalisierungsstrategien vorgestellt. Diese gehen zudem mit einer umfangreichen Analyse des Nachfrageverhaltens einher, um eine hoch-akkurate Mobilitätsnachfragevorhersage zu machen und damit die Leistung der Optimierung zu stärken (Weigl & Bogenberger, 2013). Das Vorgehen besteht aus zwei Modulen. Im Ersten Modul werden zunächst übergeordnete Nachfragemuster mit der Methode der Prinzipal-Komponenten-Analyse ermittelt. Das Modul soll in größeren zeitlichen Abständen (z.B. einmal pro Jahr) angewandt werden („offline“). Dabei heben die Autoren ebenso hervor, dass die Nachfragevorhersage höchste Relevanz für das vorliegende Problem hat und zeitgleich in der Regel in Forschungsstudien zur Relokalisierung vernachlässigt bzw. Annahmen-basiert substituiert wird. Neben den getätigten Mieten wird in diesem Modul bzw. analytischen Schritt auch die unerfüllte Nachfrage berücksichtigt. Im zweiten Modul, das mehrfach am Tag (also im „Online“-Betrieb) verwendet werden soll, wird basierend auf der aktuellen Nachfrage und den übergeordneten Mustern aus dem ersten Modul eine kurzfristige Nachfragevorhersage getätigt. Auch in dieser Studie wird der Unterschied zwischen der optimalen Verteilung von Fahrzeugen für die zu erwartende Mobilitätsnachfrage und dem aktuellen Zustand des Car-Sharing-Systems ermittelt. Anschließend werden zunächst betreiberbasierte Relokalisierungsstrategien („Interventionen“) identifiziert, die kostenminimal den optimalen Zustand herstellen, um im darauffolgenden Schritt die Substituierbarkeit der betreiberbasierten Strategien durch nutzerbasierte Strategien zu evaluieren. Durch die Berücksichtigung von einer Vielfalt von Kosten des praktischen Betriebs (z.B. Benzin, Personalkosten), Strafkosten für nicht-erfüllte Nachfrage (für die Wirtschaftlichkeitsrechnung relevante Opportunitätskosten) sowie der Verwendung der Daten von car2go in München ist der Anwendungsbezug dieser Studie ebenso von hoher Relevanz für das vorliegende Forschungsvorhaben.

Ein Alternativer Ansatz zur Relokalisierung im Car-Sharing

Ungeachtet davon, ob die Relokalisierung nutzerbasiert oder betreiberbasiert durchgeführt wird, ist in der Regel mindestens eine Person für die Relokalisierung von einem Fahrzeug im Bereich des Car-Sharing notwendig. In Anbetracht des Aufwands an personellen und finanziellen Ressourcen für die Relokalisierung sind daher auch Konzepte entstanden, die darauf abzielen, die Anzahl an benötigten Personen je relokalisiertem Fahrzeug zu senken. Boldrini et al. (2017) untersuchen einen Ansatz von „Stackable Vehicles“ für das Car-Sharing. Dabei werden die Fahrzeuge zu einem Zug verbunden. Das erste Fahrzeug wird von einem Fahrer besetzt und gesteuert und dient als Zugmaschine für die angehängten Fahrzeuge, die keinen weiteren Fahrer benötigen. Ein Bild der prototypischen Stapelung der Fahrzeuge, die speziell mit dem Hintergrund der Relokalisierung im Car-Sharing entwickelt wurden, ist in Boldrini et al. (2017) zu finden. In dem in der Forschung vorgestellten Car-Sharing System sollen bis zu acht Fahrzeuge gleichzeitig von einem Fahrer des Anbieters sowie bis zu zwei von einem Kunden relokalisiert werden können. In der vorgestellten Forschung wird dabei nicht darauf eingegangen, ob dem Kunden ein Anreiz für die Relokalisierung eines zweiten Fahrzeugs geboten wird oder welcher Aufwand für den Kunden durch die Fahrzeugstapelung entsteht. Inhaltlich fokussiert sich die Studie auf die Modellierung von Car-Sharing-Netzwerken, um das Verhalten innerhalb des Netzwerks abzuschätzen, wenn Veränderungen vorgenommen werden. Die Modellierung erfolgt dabei auf Basis der Warteschlangen-Theorie und fokussiert sich auf one-way Car-Sharing-Systeme. Das Modell wird

Wissenschaftlicher und technischer Stand

anhand eines Datensatzes eines Niederländischen FFSS mit einer Flotte von ca. 350 Fahrzeugen validiert.

3.2.1.2 Relokalisierung von Bike-Sharing Flotten

Bike-Sharing-Systeme können auf ein initiales System in Amsterdam bis in die Mitte der 1960er-Jahre zurückverfolgt werden (Frade & Ribeiro, 2015) – eine Stadt, die auch heute noch für ihre hohe Dichte an Fahrräder und die hohe Anzahl an Fahrradfahrern bekannt ist. Entsprechend ist es wenig überraschend, dass Bike-Sharing nach dem Car-Sharing den nächststärksten Forschungszweig im Bereich des Mobilitäts-Sharing darstellt. Während des Forschungszeitraums des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden vielzählige FFSS Geschäftsmodelle für Fahrräder gestartet. In der Literatur vor Beginn des vorliegenden Forschungsvorhabens gab es aber kaum Untersuchungen zu derartigen FFSS, die für das vorliegende Projekt aufgrund des Untersuchungsgegenstands eine hohe Bedeutung gehabt hätten bzw. die Notwendigkeit des vorliegenden Projekts unterstreichen. Dabei wäre jedoch grundsätzlich zu beachten, dass Varianten des Pickup-and-Delivery mit Lkws in großzahligen Mengen auf das Scooter-Sharing nur begrenzt übertragbar sind. Umfassende Literaturübersichten sind zu finden in Raviv et al. (2013), Pal und Zhang (2017), und Brinkmann et al. (2016). Auch dieser Abschnitt stellt zunächst Ansätze für stationsbasierte Systeme und anschließend FFSS vor. Die Absätze stellen jeweils zunächst eine Studie kurz vor und gehen darauffolgend auf die Besonderheiten ein, aufgrund derer sie für die Literaturübersicht ausgewählt wurden.

Ansätze für stationsbasierte Systeme

Einen Vorreiter im Bereich der Relokalisierungsoptimierung von Fahrrädern in stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen stellen Contardo et al. (2012) dar. Die Autoren formulieren die Relokalisierung als Pickup-and-Delivery Problem, welches einer Abwandlung des klassischen Travelling-Salesman-Problems entspricht (Contardo et al., 2012). In der grundsätzlichen Aufstellung der Modellierung wird von einem Lkw ausgegangen, der eine optimale Route zur Aufnahme und Abstellung von Fahrrädern an Stationen abfahren soll, sodass die zu erwartende ungedeckte Mobilitätsnachfrage an Stationen minimiert wird. In dieser Problemformulierung wird ähnlich zu Zakaria et al. (2014) unter der ungedeckte Nachfrage insbesondere auch das nicht mögliche Abstellen eines Fahrrads verstanden. Während das Problem explizit für den dynamischen Fall aufgestellt ist, also der Nachversorgung der Stationen während sich das Angebot an den Stationen aufgrund der hohen Nachfrage kontinuierlich ändert, gehen die Autoren in realen Situationen von der Bildung von Nachfrage-Clustern aus. Dies hat zur Folge, dass die Route des Lkws unidirektional ist und der Lkw Fahrräder zunächst in einer Zone mit vielen schwach-nachgefragten Stationen einsammelt und anschließend zu einer Zone mit starker Nachfrage befördert. Die Leistung der Optimierungsmodelle im praktischen Fall wurde nicht getestet.

In einer vergleichbaren Form nutzen Raviv et al. (2013) die ungedeckte Mobilitätsnachfrage in Form von fehlenden verfügbaren Fahrrädern am Startort und fehlenden Abstellmöglichkeiten am Zielort in der Zielfunktion ihres Optimierungsmodells. Im Modell für die Relokalisierungsoptimierung von stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen bezeichnen die Autoren diese kombinierte ungedeckte Nachfrage als Nachfrageunzufriedenheit. Zusätzlich führen sie aber einen Gewichtungsfaktor ein, der diese Nachfrage mit den operativen Kosten vergleichbar macht (Raviv et al., 2013). Die Integration eines solchen Ausgleichs ist aus der Perspektive der praktischen Einsetzbarkeit der Modelle ein

Wissenschaftlicher und technischer Stand

wichtiger Bestandteil, jedoch testen die Autoren lediglich verschiedene Werte auf deren Auswirkung und zeigen keine Berechnungsmöglichkeit für die Faktoren auf. Das Modell ist ausgelegt auf das statische Relokalisierungsproblem und kann, wie von den Autoren selbst angemerkt, nur mit umfassenden Änderungen auf das dynamische Problem übertragen werden. Dementsprechend werden vom Modell die Angebotsausgangssituationen zu Beginn des Tages optimiert. Die Autoren behandeln jedoch eine Vielzahl neuer praktischer Überlegungen. Zum Ersten gehen Sie konkret darauf ein, dass der operative Prozess der Relokalisierung Entlade- und Beladezeiten für die Handhabung der Fahrräder an den Stationen verlangt. Außerdem simplifiziert das Modell die Realität an vereinzelt Stellen absichtlich, um die Rechenzeit für den realen Anwendungsfall zu reduzieren und damit die Nutzbarkeit zu erhöhen. Zum Dritten folgt aus dem Zielkonflikt der Minimierung von den operativen Kosten und der Nachfrageunzufriedenheit, dass Stationen aufgrund von Kosteneinsparungen nicht mit der idealen Anzahl an Fahrrädern versorgt werden. Zuletzt betonen die Autoren, dass es in der Modellierung zum Transshipment kommen kann. In diesem Fall wird eine Lösung erstellt, in der Fahrräder an einer Station abgestellt werden, die erst bei Besuchen späterer Stationen aufgesammelt werden, während Zuladung und Abladung der verteilenden Lkws in der Summe zueinander passen. Das vorgeschlagene Modell und dessen Optimierung wurde an Testdatensätzen überprüft und die Leistung der Lösung im praktischen Fall kann nicht bewertet werden.

Ebenso im Kontext von stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen entwickeln Caggiani und Ottomanelli (2012) in ihrer Forschung ein Entscheidungsunterstützungssystem zur Relokalisierung von Fahrrädern. Kernbestandteil des Entscheidungsunterstützungssystems ist ein Optimierungsmodell zur Minimierung der Kosten der betreiberbasierten Relokalisierung (Caggiani & Ottomanelli, 2012). Zusätzlich wird dabei die konkrete Route des Relokalisierungs-Lkws ebenso optimiert, um die Reihenfolge der Relokalisierung und die damit verbundene zeitliche Abfolge der Verfügbarkeits-erhöhung von Fahrrädern an Stationen bei der Optimierung zu integrieren. Ein weiterer Kernbestandteil des Systems ist eine Nachfragevorhersage mit einem künstlichen Neuronalen Netzwerk. Die Autoren betonen als Vorteil dieser selbstlernenden, datengetriebenen Methode insbesondere die Freiheit von einschränkenden Annahmen von Linearität oder expliziter Funktionen zwischen Einflussfaktoren und vorhergesagter Nachfrage, welche sie in anderen Studien beobachtet haben. Das Entscheidungsunterstützungssystem wird von den Autoren anhand einer Teil-Simulation eines Bike-Sharing-Systems bewertet. Daher sind die Praxistauglichkeit und die Skalierbarkeit schwerlich einschätzbar. Dies gilt ebenso für die Weiterentwicklung des Modells der Autoren (Caggiani & Ottomanelli, 2013). Hervorzuheben aus der Weiterentwicklungsstudie ist der Hinweis der Autoren, dass die monetäre Bewertung einer unbefriedigten Mobilitätsnachfrage nicht nur den entbliebenen Umsatz berücksichtigen sollte. Ebenso müssten in diesem Fall die ökologischen Auswirkungen berücksichtigt werden, welche entstehen, wenn Kunden eine nicht-umweltfreundliche Mobilitätsalternative wählen.

In der Studie von Brinkmann et al. (2015) wird ebenso ein Fokus auf die Deckung der Mobilitätsnachfrage in stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen in Form von verfügbaren Fahrrädern am Startort und verfügbaren Abstellplätzen am Zielort gelegt. Die Autoren erweitern diesen Fokus um die Dimension der Priorität, indem sie für beide Formen der Mobilitätsnachfrage (Antritt und Abstellen) einen Fälligkeitstermin der Angebotsbereitstellung definieren und die Relokalisierung

Wissenschaftlicher und technischer Stand

anhand der sich daraus ergebenden Priorität optimieren (Brinkmann et al., 2015). Das Ziel des von den Autoren aufgestellten Optimierungsmodells liegt dabei in der Verletzungsminimierung der Fälligkeitstermine unter der Prämisse, dass die Fälligkeitstermine aufgrund der Nachfrageunsicherheit ebenso einer Unsicherheit unterliegen. Das Optimierungsmodell verbindet dabei die kurzfristige dringlichkeitsbasierte Strategie der Relokalisierung von Fahrrädern hinzu ungefüllten Stationen bzw. weg von überfüllten Stationen mit einer langfristigen Strategie. In der langfristigen Strategie werden Pufferwerte für verfügbare Fahrräder sowie verfügbare Stellplätze ermittelt, welche sich an den Mobilitätsnachfragemustern an den jeweiligen Stationen orientieren. Stationen, die in der Regel Startpunkte von Mieten darstellen, haben entsprechend einen höheren Pufferwert an verfügbaren Fahrrädern als umgekehrt Stationen, die häufig als Endpunkt von Mieten dienen. Ist einer der beiden Pufferwerte einer Station unterschritten, so gilt diese Station als unausgeglichen. Aus diesen Pufferwerten und der sich daraus ergebenden Unausgewogenheit an Stationen werden die Dringlichkeiten für die kurzfristige Strategie ermittelt, sodass die Stationen wieder in einen ausgeglichenen Zustand gebracht werden. Erneut wurde die Leistung des Modells nicht am praktischen Anwendungsfall getestet, sondern an einem Testdatensatz, wodurch die Übertragbarkeit der berichteten Vorteile entsprechend der Testergebnisse auf den realen Fall schwer einschätzbar ist. Obgleich es nicht von den Autoren berücksichtigt wurde, wirkt der grundsätzliche Ansatz übertragbar auf FFSS.

In der nachfolgenden Studie von Brinkmann et al. (2016), in der ebenso die betreiberbasierte Relokalisierung in stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen untersucht wird, gehen die Autoren von idealen Füllwerten der Stationen aus, die erreicht werden sollen. Hier formulieren sie das Problem so, dass der Quadratische Unterschied zwischen den tatsächlichen und idealen Füllwerten der Stationen minimiert wird (Brinkmann et al., 2016). Von daher werden große Unterschiede, die im realen System tendenziell zu größeren Problemen führen, stärker gewichtet als viele kleine Unterschiede. Zur Optimierung wird ein rollierendes Modell formuliert, das zeitabhängige Intervalle voneinander unterscheidet. Unter Berücksichtigung begrenzter Zeit und Ressourcen ist die Erreichung aller idealen Füllwerte nicht möglich. Im rollierenden Fall werden somit die Unterschiede zwischen tatsächlichen Füllwerten und idealen Füllwerten von einem Intervall zum nächsten gegeben und dort als statische Eingangsgrößen verwendet. Im nächsten Intervall werden sie erneut mit den restlichen Unterschieden im Netzwerk verglichen und dementsprechend in der Optimierung für den Ausgleich des Unterschieds berücksichtigt. Die Einteilung in mehrere Intervalle bzw. Perioden in dieser Form ermöglicht es, das Optimierungsproblem zu verkleinern. Das Lösungsverfahren wird anhand von Testdaten eines Bike-Sharing-Anbieters aus Wien geprüft und verfeinert. Ein Feldtest wurde nicht durchgeführt.

Frade und Ribeiro (2015) entwickeln ein Modell zur strategischen Auslegung von stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen und berücksichtigen in ihrem Optimierungsmodell für die Lokalisierung der Stationen unter anderem die Relokalisierung der Fahrräder. Unter der Prämisse, dass das Modell von öffentlichen Stellen eingesetzt wird, deren Ziel in der Maximierung der Mobilitätsbedarfsdeckung liegt, stellt die Relokalisierung einen Schlüsselprozess dar. Dieser sollte dabei so effizient wie möglich ausgeführt werden, um das Ziel des öffentlichen Betreibers unter Einsatz möglichst geringer Kosten zu erreichen (Frade & Ribeiro, 2015). Dementsprechend wird der eigentlich operative Prozess der Relokalisierung in dieser strategischen Optimierung berücksichtigt, welche ansonsten strategische

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Entscheidungen wie der Flottengröße, Stationskapazität und die Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen an den Stationen abwägt. Als Fallstudie für die Validierung des praktischen Einsatzes des Modells wird das Bike-Sharing-System der Stadt Coimbra, Portugal, betrachtet. Insbesondere hervorzuheben im Vergleich zu Car-Sharing-Systemen ist die sehr kurze Distanz zwischen den Stationen von wenigen hundert Metern. Diese kurzen Wege ermöglichen es, die Stationen in Zonen zusammenzufassen und den optimalen Relokalisierungsstrom von Fahrzeugen zwischen den Zonen, anstatt zwischen allen Stationen zu optimieren. Die Ausmaße einer Zone sollen dabei die Laufweite von 500m nicht überschreiten. Während die Autoren auf die Nutzung der Zonen nicht weiter eingehen, kann angenommen werden, dass die dicht aneinanderlegenden Stationen die Bedarfsdeckung vereinfachen. Kunden haben mehr Stationen zur Auswahl, um ein Fahrrad zu leihen, und in Anbetracht der bisherigen Erkenntnisse auch mehr Auswahl, Fahrräder zurückzugeben. Außerdem gibt es ebenso mehrere Stationen für eine Relokalisierung zur Auswahl. Der Gestaltungsunterschied liegt in diesem Fall jedoch auch darin, dass die Stationen mit Kapazitäten von bis zu 25 Fahrrädern geschaffen werden und Abschätzungen von 0.10 € fixen und 0.01 € variablen Relokalisierungskosten aufgestellt werden (Frade & Ribeiro, 2015). Diese Werte sind mit Car-Sharing-Systemen kaum vergleichbar.

Die strategische Auslegung liegt auch im Fokus von Neumann-Saavedra et al. (2015). Die Autoren bemängeln, dass die Relokalisierung in der strategischen Netzwerkplanung von stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen die Notwendigkeit der Tourenplanung der Lkw außer Acht lässt, die zur Relokalisierung eingesetzt werden (Neumann-Saavedra et al., 2015). Somit wäre ein entscheidender limitierender operativer Prozess nicht berücksichtigt, wodurch die Umsetzbarkeit optimaler Lösungen von strategischen Netzwerkplanungsmodellen deutlich eingeschränkt werden könnte. In einem solchen Fall wären die zu erwartenden operativen Entscheidungen nur in einem schwachen Maße berücksichtigt. Darüber hinaus gehen die Autoren im weiteren Verlauf auf typisiertes Nachfrageverhalten an Orten unterschiedlicher Charakteristika ein, welche im Rahmen der Optimierung des Modelldatensatzes beobachtet wurde. Insbesondere vergleichen die Autoren Zonen mit Arbeitsstätten und mit Wohngebieten, welche ein gegensätzliches Nachfrageverhalten und dementsprechend Stationsfüllgrade aufweisen. Während Zonen in der Nähe von Arbeitsstätten in den Morgenstunden leer und am Nachmittag stark gefüllt sind, verhält es sich in Wohngebieten umgekehrt. Die Autoren weisen des Weiteren darauf hin, dass sich die Füllgrade jedoch im Mittelwert und Median gleichen. Das somit in der Studie besprochene Verhalten lässt damit den Schluss zu, dass eine statische Relokalisierungsstrategie, die auf der Deckung der mittleren Nachfrage basierend auf einem mittleren Füllgrad beruht, das dynamische Nachfrageverhalten nur schwerlich decken kann und die Tendenz besitzt, Kunden zurückzuweisen. Neben Zonen mit Arbeitsstätten und Wohngebieten gehen die Autoren außerdem auf Freizeit- und Erholungsgebiete, touristisch geprägte Gebiete und Mischgebiete ein, welche ein deutlich unterschiedliches und teilweise hochvolatiles Mobilitätsnachfrageverhalten aufweisen.

Studien zu nutzerbasierter Relokalisierung in Bike-Sharing-Systemen sind ähnlich selten wie in Car-Sharing-Systemen. Eine Ausnahme bildet die Studie von Aeschbach et al. (2015), die den Einsatz von nutzerbasierter Relokalisierung ohne Anreize für die Nutzer untersuchen. Grundsätzliche Prämisse hinter der Forschung ist eine Kooperationsbereitschaft der Kunden geringfügige Änderungen ihrer Start- oder Zielorte vorzunehmen. Die Untersuchung konzentriert sich dabei auf stationsbasierte Bike-

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Sharing-Systeme und setzt vorrangig auf die Kommunikation mit dem Kunden in reaktiver und präventiver Form (Aeschbach et al., 2015). Die Autoren gehen von vornherein davon aus, dass nur ein gewisser Prozentsatz der Kunden tatsächlich kooperiert. Im Simulationsexperiment basierend auf einem Bike-Sharing-System in London testen sie jedoch eine Bandbreite von Prozentsätzen einschließlich 100 % kooperativer Kunden. Die Autoren stellen vier Strategien vor und vergleichen diese mit dem Kontrollfall ohne Strategie:

- Im Fall der minimalen Intervention werden Kunden an Stationen je nach Bedarf auf die nächstgelegene Station hingewiesen, die ein verfügbares Fahrrad oder einen freien Abstellplatz hat. Ein Interface für die Kunden an jeder Station soll dies ermöglichen.
- Im Fall der minimalen Prävention geben Kunden am beschriebenen Interface ihr Ziel ein und werden bei Start der Miete gegebenenfalls zu einer anderen Station geleitet. Diese Strategie sieht ebenso vor, dass Kunden am Ende einer Miete in einer kooperativen Weise prüfen, ob es einen besseren Abstellplatz gäbe. Wie die Autoren selbst feststellen, kann dieser Fall auf die Kunden sehr unkomfortabel wirken, wenn an der Station noch ein Abstellplatz vorhanden wäre.
- Als Alternative zur Kommunikation an der Station stellen die Autoren die Kommunikation über eine mobile App vor, in der Kunden zuvor beabsichtigten Start und Ziel eingeben und gegebenenfalls umgeleitet werden. In der ersten Variante würde das dahinterliegende Informationssystem das Bike-Sharing-System auf die maximale Verfügbarkeit optimieren, was bereits in der Simulation sehr häufige Umleitungen der Kunden mit teilweise beachtlichen Weglängen zur Folge hat.
- Als zweite Alternative bei der Nutzung der mobilen App erfolgt die Umleitung der Kunden nur, wenn gewisse Grenzen beim Füllgrad der Stationen nicht über- oder unterschritten sind.

In den Simulationsexperimenten werden deutlich mehr Kunden mit einem verfügbaren Fahrrad zusammengebracht, wenn die Strategien angewandt werden, als ohne diese. Als interessante Konsequenz haben die Autoren zudem beobachtet, dass bereits ein Teil der kooperativen Nutzer einen deutlichen Einfluss auf das Bike-Sharing-System hat und es soweit entspannen kann, dass die Verfügbarkeit von Fahrzeugen für nicht-kooperative Nutzer ebenso steigt. Jedoch muss kritisch betrachtet werden, dass die Autoren die Vorzüge der Strategien keinen Kosten für App-Entwicklung oder das Aufstellen von Interfaces entgegengestellt haben. In Anbetracht der Marktveränderungen in den letzten Jahren und den zahlreichen Anbieter von App-basierten FFSS für Bike-Sharing sind die Strategien mit hoher Wahrscheinlichkeit teilweise schnell obsolet geworden.

Ansätze für FFSS

Als eine der seltenen Studien zu FFSS für Fahrräder orientieren sich Pal und Zhang (2017) an Bike-Sharing-Systemen, die noch auf das Anschließen der Fahrrädern an Fahrradständern angewiesen und mit einem dafür notwendigen Schloss ausgestattet sind. Die ebenso davon freien Bike-Sharing-Systeme, wie sie während der Bearbeitung des vorliegenden Forschungsvorhabens in einigen Städten weltweit entstanden sind, haben dementsprechend im theoretischen Fall die Freiheit von Parkplätzen – in dem Fall Fahrradständern – voraus. Diese Einschränkung ist jedoch im Fall des Bike-Sharing nicht in der Art relevant wie bei Autos, da Fahrradständer und behelfsmäßige Ersatzabstellmöglichkeiten

Wissenschaftlicher und technischer Stand

einfacher und flexibler zu finden sind als Parkplätze für Autos. Des Weiteren wird diese Limitierung von den Autoren nicht in der Modellierung berücksichtigt. Die Autoren fokussieren sich in ihrer Forschung vorrangig auf die algorithmische Lösung des Problems und präsentieren diese umfassend. Die Modellierung der Relokalisierung bezieht sich dabei auf den statischen Fall und entwickelt stationsbasierte Ansätze weiter. Außerdem diskutieren sie die experimentellen Ergebnisse der Anwendung des vorgestellten Lösungsverfahrens anhand von Testfällen, unter anderem auch von real existierenden Bike-Sharing-Systemen. Die Autoren weisen einleitend darauf hin, dass der Vorteil von FFSS für Fahrräder in den durchschnittlich kürzeren Wegen für den Nutzer besteht sowie der fehlenden Limitierung von notwendigen verfügbaren Abstellplätzen am Zielort. In Anbetracht der oben vorgestellten Studien muss jedoch aus Sicht des Betreibers darauf eingegangen werden, dass es im FFSS keinen „voll“ Zustand mehr gibt. In stationsbasierten Bike-Sharing-Systemen würden die Kunden tendenziell eine andere Station anfahren, wodurch sich bei hoher Nachfrage der Senke in einem gewissen Maße noch eine selbstorganisierte Verteilung der Fahrzeuge ergibt. Im FFSS würden in diesem Fall alle Kunden die Senke anfahren und dort auch das Fahrzeug abstellen, wodurch sich dort eine sehr hohe Konzentration an Fahrzeugen ergeben kann, während die Fahrzeugdichte im übrigen Netzwerk sinkt.

Eine weitere Studie, die sich mit FFSS des Typs Bike-Sharing befasst, stammt von Reiss und Bogenberger (2017). Während die Autoren kein konkretes Optimierungsmodell vorstellen oder den klaren Weg aufzeigen, wie die vorgestellten Strategien angewandt werden können, diskutieren sie relevante Aspekte der Relokalisierung, die auf das vorliegende Forschungsvorhaben übertragen werden können. Innerhalb der Studie stellen die Autoren eine Strategie vor, um nutzerbasierte und betreiberbasierte Relokalisierung unter Verwendung von Daten des Münchner Bike-Sharing-Anbieters „Call a Bike“ zu verbinden (Reiss & Bogenberger, 2017). Um die Mobilitätsnachfrage des FFSS von theoretisch unendlich vielen möglichen Nachfragepunkten auf ein beherrschbares Maß zu reduzieren, bilden die Autoren Bedarfszonen. Dabei sind die Zonen nicht von der gleichen Größe, sondern die Größe der Zonen orientiert sich an der Nachfragedichte, sodass bei einer höheren Dichte kleinere Zonen gebildet werden. Anhand der Nutzungsverhaltensmuster innerhalb der Zonen wird der typische Mobilitätsbedarf abgeschätzt. Dieser typische Bedarf wird im Vergleich zum aktuellen Bestand an Fahrrädern in den Zonen genutzt, um die Zonen mit zu vielen oder zu wenigen Fahrrädern und entsprechende Relokalisierungsbedarfe zu ermitteln. Nutzerbasierte Relokalisierung benötigt in der Regel mehr Zeit, um eine bessere Verteilung zu erreichen. Wie die Autoren anhand eines Beispiels aufzeigen, können nutzerbasierte Strategien auch zu einer Verschlechterung der Verteilung führen, wenn ein Anreiz zur Relokalisierung eines Fahrrads in einer Zone mit geringer Nachfrage gesetzt wird und das Fahrrad in eine Zone mit noch weniger Nachfrage gefahren wird. Auf der anderen Seite ist die nutzerbasierte Relokalisierung mit geringeren Personalkosten beim Betreiber verbunden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte gestalten die Autoren eine Strategie, nach der die nutzerbasierte Relokalisierung die betreiberbasierte Relokalisierung vollständig substituiert, wenn weniger als 15 % der Flotte zur optimalen Verteilung relokalisiert werden müsste. Wird diese Schwelle überschritten, so würde die Strategie die Ergänzung der nutzerbasierten Relokalisierung durch eine betreiberbasierte Relokalisierung vorsehen. Bei der Setzung von Anreizen für die nutzerbasierte Relokalisierung schlagen die Autoren des Weiteren vor, den Kunden dedizierte Preisnachlässe je möglicher Zielort-Zone zu bieten, um die Fahrräder in die Zonen mit hohem Bedarf zu lenken. Umgesetzt würde die

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Anreizsetzung mit Hilfe von mobilen Apps. Die Autoren präsentieren keinen Test, ob die Kunden eine derartige Strategie akzeptieren würden, wodurch die Bewertung der Leistung bzw. Auswirkungen der Strategien auf den Anwendungsfall unklar bleiben. Die Autoren gehen nicht weiter darauf ein, dass Kunden einen eigentlichen Zielort haben und die Mobilitätsnachfrage damit verbunden ist, diesen Zielort zu erreichen. Die Autoren gehen weiterhin nicht darauf ein, dass die Notwendigkeit nach betreiberbasierter Relokalisierung mit dieser Strategie zu unregelmäßigen Zeitpunkten auftreten wird und dies einen flexiblen Personaleinsatz verlangt, der real tendenziell nicht abgebildet werden kann.

3.2.1.3 Relokalisierung von Roller-Sharing Flotten

Die Relokalisierung von Fahrzeugen im Roller-Sharing ist bis zum Jahr 2019 von der Forschung nahezu unbeachtet. Gerade unter den Gesichtspunkten, dass elektrische Roller einen Beitrag zur Reduktion von Emissionen und Platzbedarf von Fahrzeugen in Städten gegenüber Autos mit sich bringen, während sie im Gegensatz zu Fahrrädern eine schnelle innerstädtische Mobilität erzielen, bilden sie einen eigentlich interessanten Untersuchungsgegenstand. Shaheen und Chan (2016) weisen darauf hin, dass es sich bei Roller-Sharing um ein sehr neues Geschäftsmodell handelt. Im September 2015, dem Untersuchungszeitpunkt ihrer Analyse, benennen sie jeweils zwei Roller-Sharing-Anbieter in Europa und Nordamerika sowie eine Handvoll Anbietern in der Entwicklung einschließlich emmy (unter dem früheren Markennamen eMio) (S. Shaheen & Chan, 2016). Wird die notwendige Zeit für Datenerhebung, Analyse und Veröffentlichung berücksichtigt, so trägt die Neuheit des Roller-Sharing-Geschäftsmodells mit dazu bei, dass wenig Forschung in dem Bereich existiert. Die Fehlende Forschung zu Kundenaktivitäten im Roller-Sharing wurde auch von Degele et al. (2018) angemerkt, die in ihrer Forschung Kunden eines Roller-Sharing-Anbieters in Deutschland clustern.

Ein Ansatz, der für die Relokalisierung im Roller-Sharing angewandt werden kann, stammt von Fanti et al. (2019). Dies ist jedoch dem geschuldet, dass die Autoren eine Art Allzweck-Optimierungsmodell für Relokalisierung von Elektro-Fahrzeugen entwickeln, dass nach ihren Aussagen auf die Elektro-Autos, Elektro-Roller, Elektro-Fahrräder und alle möglichen anderen Klassen von Elektro-Kleinfahrzeugen angewandt werden kann (Fanti et al., 2019). In ihrer Studie verbinden die Autoren nutzerbasierte mit betreiberbasierter Relokalisierung, indem im Falle einer notwendigen Relokalisierung von einer Station zu einer anderen Station ein Anreiz für die Kunden gesetzt wird, das Fahrzeug zu relokalisieren. Reagiert kein Kunde auf den Anreiz, wird anschließend die Relokalisierung durch den Betreiber durchgeführt. Getestet wird das Modell dabei am simulierten Beispiel von Car-Sharing und Bike-Sharing Fallstudien. Anhand der Beschreibung der Autoren wird die Flexibilität des Modells für die verschiedenen Fahrzeugklassen daraus gewonnen, dass die Bedingung des Mindest-Batteriestandes für die Relokalisierung des Fahrzeugs dann entspannt wird, wenn kleinere Fahrzeuge – einschließlich Roller – zusammen in einem Lkw relokalisiert werden. In einem solchen Fall wäre dann kein Mindest-Batteriestand notwendig. Eine Einschränkung der Kapazität eines derartigen Lkws ist jedoch in der Studie nicht zu finden, wodurch das Problem der Individualisierung der Relokalisierung auf die Eigenschaften und Limitierungen einer konkreten Fahrzeugklasse dem operativen Betrieb überlassen wird.

Eine Studie, die zumindest über Relokalisierung im Roller-Sharing berichtet, stammt von Cavanagh (2017). Die Fallstudie gibt einen historischen Überblick über den Sharing Dienst Scootaway, dessen Ausgangspunkt das Roller-Sharing an mehreren Universitäts-Campi in den USA war (Cavanagh, 2017).

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der Autor berichtet davon, dass die Relokalisierungsstrategie des Roller-Sharing-Anbieters stufenweise von nutzerbasiert zu betreiberbasiert wechselt. Zunächst wird für die Stationen, an denen die Roller stehen, ein passender Bestand aus den historischen Daten ermittelt. Ist dieser in einem nicht weiter spezifizierten Maße unterschritten, wird eine Relokalisierung veranlasst. Zunächst werden den Kunden diese unterversorgten Stationen mit einem Anreiz als Zielort für ihre Fahrten angeboten. Bei dem Anreiz für die Kunden handelt es sich um Freiminuten. Führt dies nicht zu dem gewünschten Ausgleich von Rollern im Netzwerk, dann nutzt der Anbieter eine Liste von registrierten Freelancern, die über eine Art Basar-System für die Relokalisierung von Rollern angeworben werden. Erst wenn diese Maßnahme nicht den gewünschten Effekt erzielt, führt der Sharing-Anbieter selbst die Relokalisierung durch. Der Autor weist darauf hin, dass zwischen den Stufen eine gewisse Zeit vergehen muss, damit die Nicht-Wirkung der Strategie auf der jeweiligen Stufe erkenntlich wird. Folglich kann längere Zeit vergehen, bis die Balance im Netzwerk wiederhergestellt ist. In der Zwischenzeit kann es daher durchaus zu unbefriedigter Nachfrage kommen, obwohl das System darauf ausgelegt ist, eine Imbalance sehr schnell zu erkennen.

3.2.1.4 Nachfragevorhersagen und Standzeitanalysen als Voraussetzung von Relokalisierungsentscheidungen

Die Vorhersage von Nachfrage oder deren Inversion der Analyse von Standzeiten, die in diesem Forschungsvorhaben in den Fokus genommen wurde, wird in der Optimierung von Relokalisierungsentscheidungen vielfach vereinfacht. Einerseits werden beispielsweise Vergangenheitsdaten direkt als Vorhersage für die Nachfrage der Zukunft verwendet (Boyacı et al., 2015; Weikl & Bogenberger, 2015). Somit wird keine Vorhersage zur zukünftigen Mobilitätsnachfrage aufgestellt und die daraus resultierenden größeren Unsicherheiten und Fehler schränken die Anwendbarkeit des Optimierungsergebnisses ein. Andererseits werden solche Nachfragevorhersagemodelle genutzt, deren Vorhersagen auf statistischen Verteilungen beruhen oder deren Funktionsweise nicht näher erklärt wird (Brendel et al., 2016; Febbraro et al., 2012; Herrmann et al., 2014; Zakaria et al., 2014). Derartige Modellierungen vereinfachen oder ignorieren die Relevanz von genauen Vorhersagen für die Relokalisierung. Eine Verwendung von Vorhersagemodellen für die Nachfrage oder die Standzeit von Fahrzeugen wird daher von Forschern als Forschungslücke wahrgenommen und die Notwendigkeit hochwertiger Modelle betont (Boyacı et al., 2015; Caggiani & Ottomanelli, 2012; Herrmann et al., 2014; Schulte & Voß, 2015; Weikl & Bogenberger, 2013). In diesem Abschnitt werden zunächst übergeordnete Themen betrachtet. Anschließend werden die wenigen relevanten Car-Sharing Studien sowie die Bike-Sharing Studien dargestellt. Erneut werden in den Absätzen die Studien selbst kurz erläutert und ihre Besonderheiten hervorgehoben.

Übergeordnete Themen

Autoren haben insbesondere eine Vielfalt von externen Einflüssen benannt, die für die Vorhersage der Nachfrage von Mobilitäts-Sharing-Diensten eine Rolle spielen können (Cavanagh, 2017; Reiss & Bogenberger, 2017; Rudloff & Lackner, 2013; Weikl & Bogenberger, 2013). Dazu zählen beispielsweise einfache Variablen, die direkt aus den Nachfragedaten abgeleitet werden können, wie die Uhrzeit, der Wochentag oder die Jahreszeit. Weiterhin können zusätzliche Daten mit Bezug zum Kalender eine Rolle spielen, wie z.B. Feiertage. Außerdem benennen Autoren Veranstaltungen einschließlich Konzerte, Fußballspiele (oder andere Sportereignisse) und Festivals. Geplante und nicht geplante Störungen

Wissenschaftlicher und technischer Stand

alternativer Verkehrsmodalitäten können über dies hinaus einen entscheidenden Einfluss auf die Nachfrage eines Mobilitäts-Sharing-Dienstes haben. Nicht zu verachten ist außerdem die Witterung in einer Vielfalt von Ausprägungen, deren Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten sich in komplexen Kombinationen unterschiedlich verhalten. Zusätzlich können sich die Witterungsbedingungen auch sehr spontan verändern. Die Beweggründe der Mobilität müssten zudem berücksichtigt und daher die Points-of-Interest wie Restaurants oder Haltestellen des ÖPNV betrachtet werden. Darüber hinaus gibt es weitere Effekte, welche speziell die Volatilität der Nachfrage zusätzlich beeinflussen (Reiss & Bogenberger, 2017).

In der Abschätzung der Nachfragevorhersage muss jedoch auch mit Herausforderungen bezüglich der Datenqualität umgegangen werden. Zunächst ist die aufgetretene Mobilitätsnachfrage nach einem Sharing-Fahrzeug in der Regel dann nicht vollständig erfasst, wenn kein passendes Angebot vorhanden war. Ist eine Station oder ein Gebiet eines FFSS Sharing-Anbieters unterversorgt, so gibt es für den Anbieter kein Nachfragesignal von Kunden, die kein Fahrzeug bekommen haben (Rudloff & Lackner, 2013; Weigl & Bogenberger, 2015). Speziell für FFSS muss ferner berücksichtigt werden, dass die Nachfrage an unendlich vielen Orten innerhalb des Geschäftsgebiets im Vergleich zu der limitierten Anzahl an Stationen in einem stationsbasierten System auftreten könnte (Frade & Ribeiro, 2015; Reiss & Bogenberger, 2017). Entsprechend müssen die Startpunkte der Kundenfahrten in Zonen unterteilt werden. Daraus ergibt sich die Entscheidung darüber, ob die Zonen einheitlich oder uneinheitlich gebildet werden. Falls sie einheitlich gebildet werden, stellt sich die Frage nach welchem Kriterium dies geschieht (z.B. räumliche Größe, Reservierungen, Einwohnerdichte). Des Weiteren kommt es in FFSS aufgrund der Unendlichkeit möglicher Abstellorte auch zu Problemen bei der Ortung der Fahrzeuge (Reiss & Bogenberger, 2017). Stehen diese zum Beispiel unter Brücken oder in Parkhäusern, so erschwert sich die Lokalisierung der aufgetretenen Kundennachfrage. Zusätzlich kommt es zu zeitweisem technischen Versagen der Ortung von Sensoren, sodass neben fehlender oder falscher Geokoordinaten mitunter auch Kilometerstände, Batterie-/Benzintankfüllstände oder Geschwindigkeiten falsch erfasst werden (Schmöller et al., 2015).

In der Recherche für die Standzeitanalyse im Mobilitäts-Sharing lassen sich vorrangig Verfahren für das Bike-Sharing finden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Relokalisierung von Fahrrädern im Bike-Sharing deutlich einfacher ist und die Relokalisierung damit deutlich mehr Auswirkungen auf die Effizienz hat. Eine treffgenaue Vorhersage zur Nachfrage und damit zur optimalen Verteilung der Fahrzeuge kann dann die Effizienz zusätzlich erhöhen. Im Car-Sharing sind die Kosten der Relokalisierung dagegen derart hoch, dass nur wenige Relokalisierungsvorgänge durchgeführt werden können und dies durch einzelne Relokalisierung von Fahrzeugen auch lediglich mit Verzögerung. Unter Berücksichtigung dieser Limitierungen ist der zusätzliche Gewinn zwischen einer Relokalisierung ohne Nachfragevorhersage von Cold Spots zu Hot Spots hin zu einer Relokalisierung basierend auf treffgenauen Nachfragevorhersagen tendenziell gering. Letztendlich sind in den unten beschriebenen Studien viele interessante Ideen für das vorliegende Forschungsvorhaben vorhanden. Jedoch konnte kein Ansatz explizit übernommen werden.

Ansätze im Car-Sharing

Unter den wenigen vorhandenen Studien zum Thema der Nachfrage von Car-Sharing-Diensten findet sich die Studie von Schmöller et al. (2015), welche jedoch kein Nachfragemodell aufstellt, sondern das Nachfrageverhalten eines Car-Sharing-Dienstes ausführlich analysiert. Ausgangspunkt ist ein FFSS Car-Sharing-Anbieter, der in München und Berlin aktiv ist, dessen Nutzungsdaten in Verbindung mit externen Faktoren untersucht wurden (Schmöller et al., 2015). Die Autoren führen eine grundsätzliche Analyse der beobachteten zeitlichen und räumlichen Mobilitätsnachfrage durch, welche in Verbindungen mit demographischen Daten (Altersstruktur und Einkommen) und Wetterdaten gesetzt werden. Die Autoren heben hervor, dass die stärksten Nutzungstage Freitag und Samstag sind. Die Tage des Wochenendes weisen dabei eine deutlich andere Kurve als die der Wochentage auf, wobei das Nachfragenvolumen von Sonntag sich auf einem ähnlichen Niveau wie Montag bis Donnerstag befindet. Für das FFSS, welche explizit den Vorteil der Flexibilität zu One-Way-Trips einräumt, wurde von den Autoren ebenfalls darauf geprüft, welcher Anteil One-Way-Trips tatsächlich ausmachen. Die Autoren stellen dabei fest, dass 70 % der Trips mit sehr hoher Sicherheit One-Way-Trips sind und nur wenige Fahrten (11 % in München, 8 % in Berlin) mit hoher Sicherheit Round-Trips darstellen. Im Gegensatz zu den Bike-Sharing fokussierten Studien, die unten besprochen werden, weisen die Autoren darauf hin, dass der Einfluss des Wetters auf die Mobilitätsnachfrage im Car-Sharing vernachlässigbar ist. Im Gegensatz zu Bike-Sharing steigt die Nachfrage bei Regen sogar. Aus demographischer Perspektive tritt eine höhere Mobilitätsnachfrage tendenziell in Gebieten mit Gewerben auf (Sitz von Arbeitgebern, Einkaufspassagen, Restaurants und Bars) sowie in Bereichen mit höheren Mieten. Aus technischen Gesichtspunkten der Analyse des Mobilitätsnachfrageverhaltens weisen die Autoren außerdem darauf hin, dass eine Unterteilung des untersuchten räumlichen Gebiets in Quadrate ungeeignet sei. Sie raten daher zu einer Unterteilung in Hexagone.

Die zweite Studie zur Problematik des Mobilitätsnachfrageverhaltens von Car-Sharing-Diensten von De Lorimier und El-Geneidy (2013) ist ebenso eine Untersuchung der Haupteinflussfaktoren auf die Nachfrage ohne dabei ein Vorhersagemodell zu entwickeln. Die Autoren führen ihre Untersuchung an einem stationsbasierten Car-Sharing-System in Montreal durch und zeigen dabei interessante Unterschiede zu den Erkenntnissen der deutschen FFSS auf (De Lorimier & El-Geneidy, 2013). Bei dem stationsbasierten Car-Sharing-System hat laut den Autoren die Größe der Station und die damit verbundene Anzahl an Fahrzeugen an einer Station eine positive Wirkung darauf, wie oft ein einzelnes Fahrzeug gefahren wird. Die Autoren nehmen an, dass die größeren Stationen attraktiver auf die Kunden wirken und stärker frequentiert werden, da dort mehr verfügbare Fahrzeuge zu erwarten sind. Des Weiteren hat das Fahrzeugalter einen negativen Effekt auf die Nutzung von Fahrzeugen. Dabei stellt sich die Frage, ob die Pflege der Fahrzeuge und die damit verbundene Sichtbarkeit des Alters ein ausbaufähiges Handlungsfeld des Car-Sharing-Anbieters sein sollte. Über dies hinaus sinkt mit der Dichte an Stationen die Nutzung je Fahrzeug, da die Stationen miteinander konkurrieren. Ferner hat der Zugang zu ÖPNV einen positiven Effekt auf die Nutzung. Auch die Dichte von in der Nähe der Station wohnenden Kunden, die einen positiven Effekt auf die Nutzung je Fahrzeug einer Station hat, konnte in der oben genannten Studie nicht untersucht werden. Die lokale Einschränkung auf eine spezifische Station erleichtert dabei die Untersuchung dieser Aspekte enorm. Gegensätzlich verhalten sich jedoch die Erkenntnisse zu den demographischen Faktoren, was gegebenenfalls auf die regionalen

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Unterschiede zurückzuführen ist. Das Einkommensniveau in der Umgebung einer Station hat in Kanada einen negativen Einfluss auf die Nutzung. Die Autoren treffen dabei jedoch keine Annahmen darüber, ob dies mit dem Besitz eines Fahrzeugs zusammenhängen könnte. Die Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen in der Umgebung einer Station hat ebenso negative Einflüsse auf die Nutzung. Die Autoren nehmen dabei an, dass dies auf Alternativen für die Angestellten (z.B. Firmenwagen) zurückzuführen ist. Zuletzt kann nur ein geringer Effekt von Einkaufsmöglichkeiten auf die Nutzung von Stationen nachgewiesen werden. Der Vergleich zeigt auch auf, dass sich die Einflüsse auf das Mobilitätsnachfrageverhalten von Car-Sharing-Diensten zwischen Geschäftsgebieten stark ändern können, sodass die Einflüsse an den jeweiligen Geschäftsgebieten von den Anbietern überprüft werden müssen, um daraus operative, allgemeingültige Entscheidungen zu treffen.

Ansätze im Bike-Sharing

Ein früher datenbasierter Ansatz für die Vorhersage der Mobilitätsnachfrage mit dem expliziten Zweck, diese in der operativen Planung für die Relokalisierung von Fahrrädern in einem stationsbasierten Bike-Sharing-System zu nutzen, stammt von Vogel und Mattfeld (2011). Die Autoren entwickeln dafür einen Gestaltungsrahmen, der Methoden des Data Mining mit Operations Research verbindet, um damit strategische und operative Aufgaben zu lösen (Vogel & Mattfeld, 2011). Die Autoren nutzen Zeitreihenmodelle, um die Nachfrage nach Fahrrädern unter verschiedenen Wetterbedingungen auf Stundenbasis vorherzusagen. Die Wetterbedingungen haben einen deutlichen Einfluss auf die Mobilitätsnachfrage des Verkehrsträgers Fahrrad, da dieser nicht von unkomfortablen Witterungsbedingungen geschützt ist. Zu den betrachteten Wetterbedingungen zählen dabei unter anderem Temperatur, Temperaturschwankungen, saisonaler Temperaturverlauf, Niederschlag, Bewölkung und Sonnenschein. Die Autoren zeigen zudem den Einfluss von Werktagen im Vergleich zu Wochenenden auf. Ebenso beobachten sie anhand des vorliegenden Datensatzes eines Bike-Sharing-Anbieters in Wien den Einfluss des Betriebsendes der U-Bahn, welches neben der morgendlichen und nachmittäglichen eine dritte Nachfragespitze in der Mitte der Nacht erzeugt. Die Autoren zeigen in ihrer Untersuchung insbesondere auch auf, dass in den für die Nachfragevorhersage genutzten Daten Probleme auftreten können, welche die Nutzbarkeit deutlich einschränken. So können Fahrräder bei einer Fahrt beschädigt oder gestohlen worden sein. Des Weiteren treten Fehler beim Schreiben der Daten auf, sodass beispielsweise die erfassten Mietlängen negativ oder Mieten sehr kurz sind und am Startort auch wieder enden, weil ein Problem am Fahrrad vorliegt. Zuletzt gibt es Daten, die vom Betreiber erzeugt wurden und dementsprechend keine reale Nachfrage von Kunden abbilden. In der Modellierung der Nachfrage verwenden die Autoren autoregressive Verfahren, da die Nachfrage insbesondere auch vom Nachfrageverhalten in den vorherigen Stunden abhängt. Zusammengefasst wird in der Studie ein Zeitreihenmodell entwickelt, das externe Faktoren (Wetter), Saisonalitäten (Tagesverlauf, Wochenverlauf, Jahresverlauf) und die vorherige Nachfrage integriert.

Aus den wenigen Studien zur Mobilitätsnachfrage von Mobilitäts-Sharing-Diensten soll stellvertretend für vergleichbare kleinere und geradlinige Studien die Arbeit von Feng und Wang (2017) benannt sein. Mit wenigen Ausschweifungen zeigen die Autoren anhand des öffentlichen Beispieldatensatzes des Bike-Sharing-Dienstes in Washington D.C. auf, wie ein Random Forest Verfahren kombiniert mit einer Gradient Boosting Machine mehrere Variablen nutzt, um die Mobilitätsnachfrage vorherzusagen.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Dabei werden unter anderem externe Faktoren des Wetters verwendet, die bereits Teil des öffentlichen Datensatzes sind. Der Erkenntnisgewinn aus solchen Studien ist jedoch tendenziell gering.

Eine hervorzuhebende Studie für stationsbasiertes Bike-Sharing stammt von Thu et al. (2017), die in ihrer Modellierung der Nachfrage einerseits verschiedene Datenquellen nutzen, sowie mehrere Modellierungsansätze einschließlich Neuronaler Netzwerke wählen. Die Autoren heben hervor, dass für eine Optimierung der Relokalisierung zum Einen die Vorhersage der Mobilitätsnachfrage an einer Station aber zum Anderen auch die Vorhersage der Zugänge nach Stationen notwendig ist (Thu et al., 2017). Die Autoren fokussieren sich in ihrer Studie auf die Vorhersage der Mobilitätsnachfrage bezogen auf Abgänge von Stationen. Die Autoren nutzten letztendlich historische Mobilitätsnachfrage an Stationen, Wetterdaten und Taxi-Nutzungsdaten, um ihre Vorhersagemodelle aufzustellen. Sie betonen jedoch, dass eine Vielzahl weiterer Einflüsse die Mobilitätsnachfrage beeinflussen und benennen dabei Tageszeit, Wochentag, Veranstaltungen, demographische Faktoren, sowie die Korrelation zwischen einzelnen Stationen. Diese Einflüsse bringen die Autoren indirekt in die Modelle ein. Die zeitlichen Aspekte werden durch Zeitreihen-Variablen in den Modellen berücksichtigt. Die Korrelation zwischen Stationen wird dadurch berücksichtigt, dass die Stationen von den Autoren in Cluster aufgeteilt werden. Die Autoren begründen dabei auch, dass die Dichte an Bike-Sharing Stationen dazu führt, dass Kunden einerseits mehrere Stationen zur Wahl haben und sich zufällig für eine Station entscheiden. Andererseits hat eine Veranstaltung auf mehrere Stationen in ihrer Nähe einen vergleichbaren Einfluss. Bezogen auf die historische Nachfrage ist hervorzuheben, dass die Autoren diese von Tagen mit vergleichbarer Wettersituation für die Vorhersage nutzen. Dazu stellen sie einen Vergleichsfaktor auf, der die Ähnlichkeit der Wettersituation berechnet. Bezogen auf die Daten sind insbesondere die Taxi-Daten hervorzuheben, da diese sich nach Erklärung der Autoren komplementär verhalten, sodass Kunden bei innerstädtischen Stausituationen von einem Taxi auf ein Fahrrad wechseln und bei Regen von einem Fahrrad auf ein Taxi. Ob diese Daten zu einer kurzfristigen Nachfragevorhersage zur Verfügung stehen würden, wird von den Autoren nicht kommentiert. Für die Vorhersage der Nachfrage stellen die Autoren mehrere Regressionsmodelle und Neuronale Netzwerke auf, die sie miteinander vergleichen. Die Regressionsmodelle basieren dabei auf anderen Studien, welche durch die Integration weiterer Daten sowie den komplexen Variablen einschließlich des Clustering bessere Ergebnisse als das Ausgangsmodell erzielen können. Die Regressionen werden aber in Genauigkeit in allen Fällen von den Neuronalen Netzwerken übertroffen. Angewandt und getestet werden die Modelle auf die Daten vom Anbieter Citi Bike in New York, um die stündliche Nachfrage nach Fahrrädern vorherzusagen.

Eine weitere Studie, die explizit auf die Relevanz von externen Faktoren hinweist, stammt von Chen et al. (2013). Die Autoren erarbeiten ein Verfahren zur Vorhersage der Verfügbarkeit von Fahrrädern an Bike-Sharing-Stationen, um die daraus resultierenden Informationen in Reiseplaner für kombinierte Verkehre einzubinden (Chen et al., 2013). Diese Reiseplaner unterstellen die allzeitliche Verfügbarkeit von Fahrrädern an den Stationen. Dazu bauen sie ein zweistufiges Verfahren auf, indem zunächst die Verfügbarkeit von Fahrrädern vorhergesagt und im Anschluss bei einer Nichtverfügbarkeit von Fahrrädern die Wartezeit bis zum Eintreffen des nächsten Fahrrads abgeschätzt wird. Die berücksichtigten externen Faktoren sind tägliche, wöchentliche und saisonale Nachfragemuster, Feiertage sowie das Wetter. Im Gegensatz zu anderen Studien stellen sie dabei auch fest, dass der

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Effekt des Wetters abgeschwächt werden kann. In ihrer Analyse führt der Einkaufszeitraum vor Weihnachten zu derart hoher Nachfrage, dass diese von schlechtem Wetter (Regen, Nebel) nicht beeinflusst wird. Für die Modellierung der Nachfrage bzw. der Verfügbarkeit von Fahrrädern an den Stationen nutzen sie ein generalisiertes additives Modell, das die entsprechenden externen Faktoren sowie Zeitreihen-Variablen berücksichtigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Autoren mehrere verschiedene Modelle für kurzfristige (5 Minuten), mittelfristige (2 Stunden) und langfristige Verfügbarkeit (24 Stunden) von Fahrrädern aufstellen. Innerhalb der Modelle werden die externen Faktoren in unterschiedlichem Ausmaß eingebunden, sodass beispielsweise das Wetter im langfristigen Modell nicht berücksichtigt wird. Getestet werden die Modelle an Daten eines Bike-Sharing-Anbieters in Dublin, die über Webcrawling von den Autoren beschafft wurden. Ziel ist die Bereitstellung der Informationen, sodass die Kunden der Reiseplaner ihre Routen planen können. Die Autoren gehen jedoch nicht darauf ein, dass die Bereitstellung der Information das Nachfrageverhalten des nächsten Tages maßgeblich beeinflussen wird. Wird für Stationen langfristig die Nicht-Verfügbarkeit von Fahrrädern vorhergesagt, so werden die Kunden diese Stationen meiden. Dies findet umgekehrt für Stationen mit einer hohen vorhergesagten Verfügbarkeit statt. Damit verschieben sich durch die bereitgestellten Informationen die Mobilitätsnachfragemuster und reduzieren damit die Treffgenauigkeit der Vorhersagemodelle.

Eine Studie, die insbesondere dadurch auffällt, dass sie zu gegensätzlichen Annahmen und Schlussfolgerungen in der Modellierung der Nachfrage kommt, stammt von Rudloff und Lackner (2013). Vorweggenommen basieren die gewählten Modellierungsansätze auf Poisson-Modellen, negativen Binomial-Modellen sowie Hurdle-Modellen, welche in den sonst betrachteten Studien seltener verwendet werden (Rudloff & Lackner, 2013). Die Gegensätzlichkeiten ergeben sich jedoch vorrangig aus dem Verständnis des Nachfrageverhaltens. Die Autoren betonen, dass aufeinanderfolgende Mieten an Stationen als unabhängig betrachtet werden. Während dies eine durchaus legitime Annahme für einzelne Fahrten ist, so wurde in anderen Studien wiederholt eine Abhängigkeit unterstellt, die mit Zeitreihen-Variablen ausgenutzt wird. Des Weiteren wird in dieser Studie die Zusammenfassung von Stationen zu Clustern explizit ausgeschlossen und jede Station einzeln betrachtet. Die Autoren begründen ihre Entscheidung mit den leicht besseren Ergebnissen in der Vorhersage und für vereinzelt Aspekte werden die benachbarten Stationen in der Modellierung auch indirekt berücksichtigt. Die Zusammenfassung der Stationen unter anderem aufgrund der hohen Dichte an Stationen im Bike-Sharing kann jedoch als wiederkehrendes Element in der Nachfragevorhersage von Bike-Sharing erkannt werden. Dafür gehen die Autoren im Gegensatz zu anderen Studien aber auch darauf ein, dass die Nachfrage aufgrund leerer Stationen nicht vollständig bekannt ist. Die Autoren wählen für die Modellierung einen einfachen Modellierungsansatz, indem sie eine erklärende Variable für Nicht-Verfügbarkeit von Fahrrädern miteinbeziehen. Da die Nicht-Verfügbarkeit von Fahrrädern die Nachfrage an anderen Stationen beeinflussen kann, beziehen sie diese Variable zusätzlich für die drei nächstgelegenen Nachbarstationen ebenso mit ein. Zuletzt behandeln die Autoren den Einfluss von Wetter deutlich anders als in anderen Studien beobachtet. Die Autoren berücksichtigen Wetter nicht in den linearen Formen wie beispielsweise die Temperatur in Grad Celsius oder den Niederschlag in Millimetern je Quadratmeter, da sie unterstellen, dass die Wirkung des Wetters nicht linear ist. Zudem unterstellen sie, dass die gleiche Wettersituation zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahr auch unterschiedlich wirkt und diese Wirkung von der

Wissenschaftlicher und technischer Stand

saisonalen Wettersituation abhängig ist. Daher teilen sie die Daten über das Wetter in Kategorien abhängig von der Wettersituation der Jahreszeit. Getestet werden die Modelle anhand von Datensätzen eines Bike-Sharing-Dienst in Wien.

Über dies hinaus ist die Nachfragevorhersage im Bike-Sharing nicht nur begrenzt auf die Unterstützung von Relokalisierungsaktivitäten, wie die Studie von Liu et al. zeigt (2017). Die Autoren untersuchen die Nachfragevorhersage für die Expansion von Bike-Sharing-Geschäftsgebieten (Liu et al., 2017). In diesem Fall gibt es für die geplanten Stationen noch keine historischen Mobilitätsnachfragedaten und daher kann auf einige existierende Verfahren nicht zurückgegriffen werden. Die Autoren nutzen demzufolge die historischen Daten anderer Stationen, deren Nutzbarkeit zur Extrapolation auf die neuen Stationen über Daten zur Taxi-Nutzung und Points-of-Interests abgeschätzt wird. Dazu werden die existierenden Stationen zunächst mit einem Clustering Verfahren in Zonen mit ähnlichem Mobilitätsnachfrageverhalten und ähnlicher Point-of-Interest-Struktur aufgeteilt. Dann werden die Zugänge zu und Abgänge von diesen Zonen sowie die präferierte gefahrene Distanz ermittelt, welche beispielsweise auch von den Zugängen zum ÖPNV abhängen kann. Anschließend werden die Eigenschaften der neuen geplanten Stationen ermittelt und das Nachfrageverhalten dieser Stationen stützend auf den Erkenntnissen der existierenden Stationen abgeschätzt. Die Vorhersage wird basierend auf einem Random Forest Regressionsverfahren berechnet. Getestet wurde das Verfahren am Beispiel eines Bike-Sharing-Dienstes in New York.

3.2.2 Optimierung von Versorgungsfahrten

Im Gegensatz zur Relokalisierung findet die Optimierung der Versorgungsfahrten, zu denen auch der Akku-Tausch zählt, nahezu keine Beachtung. Wie Schnieder und West (2019) anmerken, liegt die Aufmerksamkeit im Mobilitäts-Sharing auf den Themen Relokalisierung und optimale Lokationen für Ladestationen. Mit dem jungen Geschäftsmodell des FFSS und der damit verbundenen Trennung der Fahrzeuge von den Stationen, an denen alternativ die Versorgung und Instandhaltung durchgeführt werden könnten, ist das wissenschaftliche Problem relativ neu. Im Car-Sharing tritt das Problem zudem seltener in Verbindung mit dem Akku-Tausch auf, da dieser von elektrischen Autos eine Seltenheit darstellt und vorrangig Ladestationen für das Laden der Autos genutzt werden. Die Verbindung aus einem FFSS mit E-Fahrrädern ist dazu ebenfalls eher selten anzutreffen und die im Abschnitt 3.2.2.2 betrachtete Studie gibt Aufschlüsse darüber, welche Gründe dies haben könnte. Folglich gab es für die Optimierungsmodelle von Versorgungsfahrten mit Batterie-Tausch auch nur wenige Anwender bzw. Interessenten. Im Speziellen ist der Anwendungsfall des Batterietauschs vorrangig für Roller-Sharing relevant gewesen, für das aufgrund des ebenso jungen Geschäftsmodells (der erste stationsbasierte Roller-Sharing Anbieter war 2012 Scoot Networks in San Francisco, seit 2015 gibt es die ersten FFSS und seit 2016 elektrische FFSS) bis einschließlich 2019 keine relevanten Studien gefunden werden konnten. Nichtsdestotrotz sollte es Service-Fahrten zu den Fahrzeugen geben, aufgrund von Instandhaltungen, Säuberungen, Reparaturen von Beschädigungen oder um elektrische Fahrzeuge mit geringen Ladeständen betreiberbasiert zu Ladestationen zu bringen. Ein Hinweis dafür ist ebenso in der Studie von Schnieder und West (2019) zu finden, die anmerken, dass Daten zur Instandhaltung in der Regel nicht zur Verfügung stehen. In der Tat nutzen einige Forschungen in den oben als populär benannten Themen entweder simulierte Daten oder öffentliche Datensätze zum Nutzungsverhalten.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der Zugang zu den operativen Daten ist deutlich schwerer für Forscher zugänglich und dies könnte ein Grund für die fehlenden Arbeiten in dem Bereich sein.

Im Folgenden werden wenige Studien betrachtet, die mit der Thematik der Versorgungsfahrten-Optimierung im Zusammenhang stehen. Jedoch fehlt es an umfassender Forschung in dem Bereich.

3.2.2.1 *Versorgungsfahrten-Optimierung im Car-Sharing*

In diesem Abschnitt werden naheliegende und verwandte Ansätze zur Optimierung von Versorgungsfahrten und des Batterie-Tauschs von Car-Sharing Flotten betrachtet. Für die Thematik der Versorgungsfahrten-Optimierung im Car-Sharing konnten keine relevanten Ansätze gefunden werden. Die Betrachtung soll den aktuellen Diskurs in dem Bereich aufzeigen und die damit fehlenden Arbeiten deutlich machen, auf die hätte aufgebaut werden können. Beispielsweise wird in der Zusammenfassung zu aktuellen Optimierungsproblemen von Elektroautos im Car-Sharing von Brandstätter et al. (2016) unter dem Batterie-Tausch-Problem ein deutlich anderer Ansatz verstanden, als er im vorliegenden Vorhaben verfolgt wird. In der Studie wird davon ausgegangen, dass der Batterie-Tausch durch den Nutzer des Car-Sharing-Dienstes durchgeführt wird (Brandstätter et al., 2016). Der Nutzer fährt Tausch-Stationen an, um eine neue, vollständig geladene Batterie gegen die leere Batterie zu tauschen. Das Optimierungsproblem, das sich aus diesem Prozess ergibt, liegt in der optimalen Verteilung der Tausch-Stationen. Der Autor verweist dabei auf andere Studien, die sich zwar mit der Lokalisierung dieser Stationen beschäftigen, jedoch nicht in einem Zusammenhang mit dem Car-Sharing stehen. Die Verbindung zwischen dem Batterie-Tausch durch den Kunden und dem Car-Sharing haben die Autoren folglich selbst hergestellt und er stammt nicht aus einem praktischen Bezug.

In einer weiteren Studie untersuchen Brandstätter et al. (2017) erneut das Ladeproblem von elektrischen Fahrzeugen im Car-Sharing und betrachten ein Optimierungsproblem, das mehrfach beobachtet werden konnte und hier stellvertretend durch diese Studie repräsentiert ist. In ihrer Studie optimieren die Autoren die Lokalisierung von Ladestationen für Car-Sharing-Dienste von elektrischen Fahrzeugen (Brandstätter et al., 2017). Dementsprechend betrachten Sie ein stationsbasiertes Car-Sharing System. Ihr Ansatz zielt darauf ab, durch optimale strategische Entscheidungen spätere operative Entscheidungen zu vereinfachen. Der beschriebene Ansatz ist dabei jedoch nicht auf das vorliegende Forschungsvorhaben übertragbar. Hervorzuheben ist, dass die Autoren in ihrer Studie erklären, wie ihr Ansatz mit dem „Location-Routing Problem“ verwandt ist und dieses mit dem „Pickup-and-Delivery Problem“ vergleichen. Im Pickup-and-Delivery Problem wird die optimale Route für ein Fahrzeug gesucht, dass mehrere Punkte besucht und dort Abholungen und Lieferungen durchführt. Dies entspricht in einem weiteren Sinne dem Problem im vorliegenden Forschungsvorhaben, jedoch haben Literaturrecherchen nach dem Problem in Verbindung mit Car-Sharing keine relevanten Ergebnisse unabhängig von der Relokalisierung geliefert.

Eine weitere Studie, die sich eigentlich auf stationsbasierte Car-Sharing-Dienste mit elektrischen Fahrzeugen bezieht und daher an dieser Stelle nur bedingt passt, stammt von Biondi et al. (2016) und soll hier aufgrund der hervorstechenden Ansätze erwähnt sein. Die Autoren beschäftigen sich in ihrer Studie mit der optimalen Ladestrategie der Fahrzeuge in einem Power-Sharing-System, bei dem der Betreiber mehrere Fahrzeuge gleichzeitig über eine Station laden und die Ladegeschwindigkeit der einzelnen Fahrzeuge beeinflussen kann (Biondi et al., 2016). Damit ergibt sich die dynamische

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Entscheidung darüber, welches Fahrzeug wie geladen wird und dementsprechend in welchem Ladezustand den Kunden zur Verfügung stehen soll. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, diese dynamische Entscheidung zu jedem Zeitintervall zu verändern, sollte sich die Situation verändern. Dazu zählen insbesondere während des Zeitintervalls hinzukommende und abgehende Fahrzeuge. Eine weitere Idee der Autoren beinhaltet, dass ein Car-Sharing-Anbieter mit einer Flotte elektrischer Fahrzeuge vor dem Zielkonflikt steht, die Energiekosten einschließlich der operativen Kosten zu minimieren. So soll das Laden der Flotte und gleichzeitig die Verfügbarkeit von Fahrzeugen für die Kunden gewährleistet werden. Diese wird in der multi-kriterialen Zielfunktion der Optimierung berücksichtigt, welche die Gesamtkosten für die Energie und die Kundenzufriedenheit mit einbezieht. Eine letzte Anmerkung der Autoren ist zudem, dass den Kunden letztendlich die Strategie der Ladung der Fahrzeuge egal ist, solange diese ein verfügbares Fahrzeug erhalten. Diese Ideen sind für die Modellierung im aktuellen Forschungsvorhaben relevant. Die Optimierung muss eine dynamisch verändernde Situation berücksichtigen, da zum Batterie-Tausch ausgewählte Roller nochmals ausgeliehen werden und neue Roller nach Mietende abgestellt werden. Des Weiteren muss die durch den Batterie-Tausch hergestellte Verfügbarkeit der Roller die daraus resultierende Kundenzufriedenheit berücksichtigen. Während die Ansätze damit sehr relevant für das vorliegende Forschungsvorhaben gewesen sind, konnte die Modellierung nicht übertragen werden.

3.2.2.2 *Versorgungsfahrten-Optimierung im Bike-Sharing*

Im Bereich des Bike-Sharing konnte bezüglich der Versorgungsfahrten-Optimierung und im Speziellen des Akku-Tauschs nur eine Studie identifiziert werden, die nach Abschluss des relevanten Arbeitspakets veröffentlicht wurde. Die Studie von Schnieder und West (2019) untersucht die Möglichkeit des Einsatzes von E-Fahrrädern im Bike-Sharing anhand des Beispiels von New York. Die Autoren simulieren dabei den Einsatz von E-Fahrrädern an Stelle der gesamten Flotte eines etablierten Bike-Sharing Anbieters und bewerten drei Szenarien des Akku-Tauschs sowie des Ladens von Fahrrädern (Schnieder & West, 2019). Von den Autoren wird der Tausch in der Nacht, der Tausch bei Relokalisierung und das Laden an Stationen zwischen einzelner Mieten betrachtet. Hybride Fälle werden nicht betrachtet. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass in jedem der drei Szenarien die Anzahl der Kontakte von operativen Mitarbeitern mit den Fahrrädern steigen müsste und folglich sich die operativen Kosten ebenfalls deutlich erhöhen. Laut der Ergebnisse müssten die Ladegeschwindigkeiten deutlich steigen oder die Reichweiten der Batterien in Kilometern deutlich zunehmen. Dabei muss jedoch kritisch betrachtet werden, dass die Autoren die ständige Nutzung der Batterie unterstellen und keine physische Arbeit bzw. Fahrten ohne Batterie durch die Nutzer voraussetzen. Letztendlich wird diese Art der wissenschaftlichen Untersuchung jedoch bereits als Business Case in Bike-Sharing Unternehmen überdacht worden sein und damit einen Beitrag dazu geleistet haben, dass in der Regel nicht-elektrische Fahrräder im Bike-Sharing genutzt werden.

3.3 Wahrnehmung fehlender Fahrzeugverfügbarkeit im Mobilitäts-Sharing

Der grundsätzliche Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens ist die These, dass die Verfügbarkeit von Fahrzeugen im Mobilitäts-Sharing ein Qualitätskriterium des Sharing-Dienstes darstellt und die Nicht-Verfügbarkeit von Fahrzeugen von den Nutzern wahrgenommen und bewertet wird. Die Verfügbarkeit bzw. Nicht-Verfügbarkeit von Fahrzeugen für die Kunden ist die direkte Folge des beschriebenen Demand-Offer Asymmetric Problem (siehe Abschnitt 3.2.1), das im vorliegenden Forschungsvorhaben

Wissenschaftlicher und technischer Stand

durch die Relokalisierung von Fahrzeugen und durch einen optimierten Akku-Tausch gelöst werden soll. Die umfangreiche Literatur zur Relokalisierung deutet einen klaren Bedarf nach der Lösung und der damit verbundenen Wichtigkeit des Problems für Mobilitäts-Sharing-Anbieter an. In diesem Unterkapitel soll jedoch die Perspektive der Nutzer des Mobilitäts-Sharing eingenommen werden, da diese Gruppe von den Auswirkungen des ungelösten Demand-Offer Asymmetric Problem betroffen ist.

Verschiedene Studien haben aufgezeigt, dass die Verfügbarkeit von Fahrzeugen sehr deutlich von den Nutzern wahrgenommen wird. Hülsmann et al. (2018) haben Nutzer in Köln, Frankfurt und Stuttgart zu dortigen Mobilitäts-Sharing-Anbietern befragt und deutliche Rückmeldung dazu bekommen, dass die Fahrzeugdichte nicht ausreichend sei. In ihrer Studie wird die Nicht-Verfügbarkeit von Fahrzeugen nicht nur als Barriere der Nutzbarkeit von Mobilitäts-Sharing benannt, sondern teilt sich sogar zusammen mit dem Fahrpreis den Ersten Platz der Barrieren. Außerdem nehmen die Nutzer die Verfügbarkeit in verschiedenen Dimensionen wahr. Einerseits nehmen sie das Vorhandensein von Fahrzeugen in Form der Flottengröße und Zugänglichkeit (erwartete Laufzeit zum nächsten Fahrzeug / Station) wahr (Ko et al., 2019). Hierbei kann unterstellt werden, dass die Erwartungen der Nutzer kurze Wege zu den Stationen in stationsbasierten Mobilitäts-Sharing-Diensten zurück zu legen auch die Verfügbarkeit von Fahrzeugen an den Stationen impliziert. Andererseits nehmen die Nutzer auch die Zusammensetzung der Flotten bezogen auf den Antriebstyp wahr: Verbrennungsmotor oder Elektromotor (Dütschke et al., 2016; Parzinger et al., 2016). Weitere Autoren haben zudem unterstrichen, dass erhöhte Aufmerksamkeit bezüglich der Verfügbarkeit insbesondere am Wohnort besteht, da dort die meisten Wege starten und enden und das Vorhandensein von Fahrzeugen an diesen Stellen die größten Auswirkungen auf Mobilitätsentscheidungen hat (Parzinger et al., 2016).

Bezogen auf die Wirkung der Verfügbarkeit als Qualitätskriterium haben Autoren aus Nutzer-Umfragen das Nichtvorhandensein von Fahrzeugen als Faktor dafür ermittelt, dass die Qualität eines Mobilitäts-Sharing-Diensts als unbefriedigend wahrgenommen wird (Hülsmann et al., 2018). Ebenso haben Autoren die Verfügbarkeit von Fahrzeugen als Erfolgsfaktor für stationsbasierte Sharing-Dienste als auch FFSS Mobilitäts-Sharing-Dienste benannt (Parzinger et al., 2016; Schiller et al., 2017). Beziehungsweise kann die fehlende Verfügbarkeit auch zu einem limitierenden Faktor für die Sharing-Dienste werden. Nutzer von privaten Fahrzeugen nehmen die Verfügbarkeit dieser als uneingeschränkt wahr, wobei damit ein starkes Unabhängigkeitsempfinden erzielt wird. So kann die Verfügbarkeit der Fahrzeugen von Mobilitäts-Sharing-Diensten ein entscheidendes Merkmal der Kauf-Entscheidung als Gegensatz zur Sharing-Dienst-Nutzung darstellen (Dütschke et al., 2016; Parzinger et al., 2016; Stolle et al., 2019). Dies bestätigen auch Studien, welche die Fahrzeug-Verfügbarkeit von Mobilitäts-Sharing-Diensten als signifikanten Einflussfaktor auf die Kaufentscheidung bei neuen privaten Fahrzeugen bei Mobilitäts-Sharing-Nutzern ermittelt haben (Ko et al., 2019). Ebenso sinkt bei steigender Verfügbarkeit die Entfernung zum nächsten Fahrzeug, was die Attraktivität der Mobilitäts-Sharing-Dienste im Vergleich zu anderen Modalitäten steigert (Parzinger et al., 2016; Stolle et al., 2019). Im Gegensatz zu anderen stark limitierenden Faktoren, wie der fehlenden Privatsphäre, können die Anbieter dabei den Faktor der Verfügbarkeit besser kontrollieren.

Unter den Nutzern des durchführenden Unternehmens des vorliegenden Forschungsvorhabens ist eine vergleichbare Erkenntnis gewonnen worden. In einer Nutzerumfrage vor Durchführung des Forschungsvorhabens waren nur 32 % der Nutzer mit der Verfügbarkeit von Rollern hoch oder sehr

Wissenschaftlicher und technischer Stand

hoch zufrieden. Zu diesem Zeitpunkt war die Verfügbarkeit im Vergleich zur App, dem Kundendienst und den Rollern selbst am schlechtesten bewertet. Außerdem konnte eine mittlere Korrelation zwischen Zufriedenheit über Rollerverfügbarkeit mit der Weiterempfehlung des Mobilitäts-Sharing-Diensts an Freunden ermittelt werden, sowie auch zwischen Zufriedenheit über Rollerverfügbarkeit mit der allgemeinen Zufriedenheit mit dem Dienst. Nach Projektdurchführung hat sich die Bewertung der Verfügbarkeit durch die Nutzer deutlich verbessert und 49 % der Kunden sind hoch oder sehr hoch mit der Verfügbarkeit zufrieden, wobei sich eine deutliche Verschiebung der Verteilung in die Richtung perfekter Zufriedenheit erkennen lässt. Im Vergleich zur App, dem Kundendienst und den Rollern hat sich die Bewertung der Verfügbarkeit von der Umfrage vor Projektstart und nahe des Projektendes am deutlichsten verbessert.

3.4 Schlussfolgerungen für das Forschungsvorhaben

Entsprechend der Betrachtung der wissenschaftlichen Vorarbeiten kann geschlussfolgert werden, dass ein vergleichbares Projekt bisher nicht durchgeführt wurde. Das Forschungsvorhaben nimmt dabei eine einzigartige Stellung bezogen auf eine Vielfalt von Aspekten ein. Durch Produkt, Geschäftsmodell und den produktbegleitenden Trend der Sharing Economy ist das Vorhaben von einer hervorstechenden gesellschaftlichen Bedeutung. Das Fahrzeug im Fokus der Untersuchung sticht durch Antrieb und Fahrzeugklasse hervor. Aus Sicht der Forschung sind kaum vergleichbare Analysen des Nutzungsverhaltens im Mobilitäts-Sharing zu finden. Ähnliches gilt für die gewählte Nische in der breiten Forschung zur Relokalisierung. Der Bereich der Versorgungsfahrten, der für das betrachtete Geschäftsmodell eine große Bedeutung hat, ist von der Forschung zudem nahezu nicht beachtet. Zuletzt setzt das Projekt an der Verfügbarkeit von Fahrzeugen im Mobilitäts-Sharing an und adressiert damit einen der wichtigsten Hebel für die Durchsetzung dieser Innovation.

Das Forschungsvorhaben ordnet sich in den gesellschaftlichen Trend der Sharing Economy ein und unterstützt die Entwicklung der Nutzungsgrade von Gütern, im Speziellen von Fahrzeugen in Städten, sowie die Bereitstellung von neuen Mobilitätsformen anstatt des individuellen Eigentums eines Fahrzeugs. Das Vorhaben fördert damit diesen jungen Trend, der insbesondere durch den Fokus auf die Gemeinschaft und Nachhaltigkeit hervorsteht.

In dem Zusammenhang hat auch das gewählte Fahrzeug eine gesellschaftliche Relevanz. Mit stetig verknappenden fossilen Brennstoffen und einer sich in die Länge ziehenden Übergangsphase zur nächsten Iteration von Antriebssystemen setzt das vorliegende Forschungsvorhaben mit dem E-Roller explizit auf die Elektromobilität. Dabei unterstützt es die Einführung und Angewöhnung dieser neuen Technologienentwicklungen in der Gesellschaft. Das Fahrzeug verbrennt selbst keine fossilen Brennstoffe mehr und ist in seiner Ökobilanz von der Erzeugung des Stroms abhängig, die zu der Ladung seiner Batterien verwendet wird und welche sich durch die stetig voranschreitende Energiewende fortwährend bessert. Verbunden damit sind ebenso weniger Schadstoffemissionen, weniger Lärmemissionen und ein geringerer Platzbedarf insbesondere bei Parkflächen. Besonders hervorzuheben ist für die Individualität des Forschungsvorhabens auch, dass die Roller im Verhältnis zu ihrem geringen Flächenbedarf trotzdem Platz für zwei Personen bieten.

Die individuelle Stärke des Forschungsvorhabens liegt vorrangig auch in den Forschungsschwerpunkten, die bearbeitet werden. Das Vorhaben untersuchte das Nutzungsverhalten aus einer

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Vielzahl an Perspektiven und unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren. Somit kann ein ganzheitliches Bild über die Nutzung erzeugt werden, welches einen außergewöhnlichen Einblick in das städtische Mobilitätsverhalten gewährt. Dieses Bild ist zudem Ausgangspunkt für die Prognose der Nachfrage, welche zum aktuellen Forschungsstand wiederholt als grundlegend wichtig erklärt wurde aber noch große Potentiale bei der Genauigkeit auszuschöpfen hat. In Verbindung mit der Nachfrageprognose wird außerdem die Relokalisierung in einer zukunftsorientierten Form erforscht, da der Einsatz von nutzerbasierten Relokalisierungsstrategien im praktischen Einsatz in FFSS eine vorwärtsdrängende Nische darstellt, der sich die Forschung bisher kaum angenähert hat. Für den Bereich der Versorgungsfahrten und deren Optimierung liegt dies ebenso vor. Jedoch tastet sich das Forschungsvorhaben nicht in die Nische eines bereits erschlossenen Themas vor, sondern trägt zur Etablierung eines Forschungsproblems bei.

Abschließend nimmt das Forschungsvorhaben eine besondere Rolle ein, da die adressierte Zielgröße, die von dem Vorhaben positiv verändert werden soll, einen entscheidenden Einflussfaktor für die Qualität des Mobilitäts-Sharing darstellt und damit dessen Durchsetzungskraft im Mobilitätsverhalten von Personen maßgeblich formt. Diese Zielgröße – die Verfügbarkeit von Fahrzeugen – beeinflusst, ob und wie regelmäßig potenzielle und aktive Nutzer einen Mobilitäts-Sharing-Dienst in ihren Entscheidungen berücksichtigen. Dabei nimmt dieser Faktor einen ähnlich wichtigen Stellenwert wie der Preis ein. All dies geschieht mit der Vision vor Augen, dass die Mobilität der Zukunft die gewünschte Freiheit und Individualität bietet, die aktuell noch mit privaten Fahrzeugen verbunden wird. Bei gleichzeitig reduziertem Ressourcenaufwand ist also die Beherrschung und konstante Verbesserung der Verfügbarkeit eine bedeutende Zielsetzung.

Aus dem beschriebenen Stand der Technik und der vorhandenen Forschung lassen sich des Weiteren die nachfolgenden Erkenntnisse für das Projekt „Nutzerbasierte Relokalisierung von Elektrorollern - Entwicklung und IT-seitige Implementierung - emmy_Relokalisierung“ ableiten. Aus den beschriebenen Quellen lassen sich selbstverständlich weitere Erkenntnisse gewinnen, die auch gesammelt wurden und in spezifischer Form in den jeweiligen Aufgabenpaketen Anwendung gefunden haben. Hier sollen Punkte bezüglich der generellen Herangehensweise dargestellt werden.

In Vorbereitung des Projekts sowie in dessen weiterem Verlauf, in dem zusätzliche Kompetenzen im Bereich der Datenanalyse aufgebaut wurden, wurde den Projektinvolvierten wiederholt klar, dass datenanalytische Projekte hinter ihren Erwartungen bleiben können. Die Datenqualität oder die Variabilität in Prozessen und untersuchten Phänomenen kann dazu beitragen, dass komplexe Analysen und Vorhersagen mit gewünschten Graden der Genauigkeit nicht erreicht werden. Während diese Art von Projekten in der Regel große Potentiale aufweisen, weisen sie umgekehrt auch starke Abhängigkeiten von qualitativ hochwertigen Daten auf.

Ein wichtiger Faktor, um die Wahrscheinlichkeit des Erfolgs von datenanalytischen Projekten zu erhöhen, stellt dabei das iterative Vorgehen im Austausch mit möglichst vielen Personen bzw. Mitarbeitern dar, die Erfahrung mit den Prozessen und Phänomenen besitzen. Dieses Vorgehen wurde insbesondere von Weikl und Bogenberger (2015) als wichtig betont. Resultierend wurden im Projekt nach Möglichkeit Mitarbeiter aus den operativen Bereichen eingespannt, um die Ergebnisse zu diskutieren und validieren.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Zuletzt kann aus den Diskussionen der Forschung auch entnommen werden, dass die volle Deckung und Erfüllung aller Mobilitätsbedarfe unter einer dynamischen Demand-offer Asymmetrie nicht ökonomisch sinnvoll gelöst werden kann. Im Projekt musste daher explizit ermittelt und betrachtet werden, welche Aufwände zur Deckung von Mobilitätsbedarfen gerechtfertigt sind. Bis auf Weiteres stellen staatliche Verträge zwischen Car-Sharing oder Roller-Sharing-Anbietern mit Städten eine Seltenheit dar, sodass es ebenso kaum zu Ausgleichszahlungen kommt, um ein umfassendes Mobilitätsangebot zu gewährleisten, wie es im ÖPNV vorkommt. Aktuell wird das Mobilitäts-Sharing nicht unter der Verantwortung der Daseinsvorsorge verstanden.

4 Planung und Ablauf des Vorhabens

In diesem Kapitel wird der Projektplan und dessen praktische Umsetzung vorgestellt. Dabei werden zunächst die Forschungsschwerpunkte kurz beleuchtet und anschließend die daraus abgeleiteten übergeordneten Aufgabenpakete erläutert. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitspakete in Detail betrachtet.

4.1 Aufbau des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben war eng mit den Prozessen des durchführenden Unternehmens verbunden. Einerseits wurden vom Projekt deutlich sichtbare Auswirkungen auf operative Prozesse erwartet, die Erleichterungen für das Personal sowie Steigerung der Effizienz mit sich führen sollten. Durch den Schwerpunkt der nutzerbasierten Relokalisierung sollte sich selbstständig eine bessere Balance der Roller im Geschäftsgebiet einstellen, was die Aufwände für das operative Personal deutlich reduzieren würde. Darüber hinaus sollte die Akku-Tausch-App verbunden mit dem Schwerpunkt der Optimierung des Akku-Tauschs zu erheblichen Prozessbeschleunigungen und -automatisierungen führen. Andererseits handelte es sich zu Projektstart im Jahr 2017 bei emmy um ein kleines und junges Unternehmen, sodass Erkenntnisse über und aus dem Forschungsprojekt schnell das Unternehmen durchdrungen haben. Entsprechend war die Bereitschaft, das Projekt durch Zuarbeiten und Ideen zu unterstützen, sehr hoch und diese Bereitschaft konnte auch mehrmals im Projekt in Anspruch genommen werden.

Den Schwerpunkt der Forschung bildet eine mikroökonomische Untersuchungsfrage aus dem Bereich der Verhaltensökonomie, welche eine Anreiz-Politik zur Beeinflussung von Personen nutzt, um diese zum „richtigen“ Verhalten zu bewegen. Hierbei wird das „richtige“ Verhalten darin gesehen, dass Roller von den Sharing-Dienst-Nutzern antizyklisch zum Nutzungsverhalten von Zonen der schwachen Nachfrage hin zu Zonen mit starker Nachfrage relokalisiert werden. Dieser Anreiz kann dabei beispielhaft die Wirkung haben, dass ein Kunde aus zwei verfügbaren Rollern denjenigen nimmt, der im schwächeren Nachfragegebiet lokalisiert ist. Eine weitere Wirkung wäre, dass Nutzer die Anreize in die Wahl der Verkehrsmodalität einbeziehen und vor der Planung des Wegs die Setzung von Anreizen prüfen und sich entsprechend für die Relokalisierung eines Rollers anstatt der Nutzung von ÖPNV oder privatem Fahrzeug entscheiden. Bezogen auf den verhaltensökonomischen Aufbau wären alternative Vorgehen denkbar gewesen. Insbesondere wäre die Möglichkeit einer Voreinstellung des Rollers in der Zone der schwächeren Nachfrage möglich gewesen, auch wenn andere Roller näher beim Nutzer stehen würden. App-basierte Geschäftsmodelle sind jedoch auf eine leichte Bedienung ausgerichtet. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass Kunden in kurzer Zeit die Verfügbarkeit näherliegender Roller bemerken und die Voreinstellung schnell geändert hätten. Dies hätte tendenziell dazu beigetragen, die Nutzer zu verwirren, anstatt eine positive Veränderung des Verhaltens zu bewirken. Eine derartige Form der Beeinflussung des Nutzers wäre zudem ein zu schwaches Signal, als dass es die Entscheidungsfindung bei der Wahl der Verkehrsmodalität beeinflusst. Zur Bearbeitung dieses Schwerpunkts werden datenanalytische Verfahren der Statistik und des Maschinellen Lernens verwendet, um die entsprechenden schwachen und starken Nachfragegebiete sowie folglich die Standzeiten von Rollern zu identifizieren und resultierend ökonomisch sinnvolle Anreize zu setzen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Ein zweiter Schwerpunkt des Forschungsvorhabens bildet die Optimierung des Akku-Tausch-Prozesses, welche auf den datenanalytischen Zwischenergebnissen des ersten Schwerpunkts aufbaut. Im Speziellen werden die Ergebnisse der Nachfragemuster als Grundlage für diesen Schwerpunkt verwendet. Dieser Schwerpunkt basiert auf der Fragestellung einer optimalen Auswahl und Reihenfolge des Besuchs von Points-of-Interest aus dem Operations-Research und ist angelehnt an das klassische Travelling-Salesman-Problem. Im vorliegenden Fall sind die Points-of-Interest die Roller, die von operativem Personal besucht werden, und sind unabhängig von den Points-of-Interest, die im Rahmen des Schwerpunkts der Relokalisierung als Fahrtziele der Nutzer betrachtet werden. Das Optimierungs-Problem wird dadurch erschwert, dass sich die Point-of-Interests dynamisch in ihrer Position verändern, da Kunden weiterhin Roller nutzen, die für einen Batterie-Tausch sinnvoll wären. Des Weiteren muss die Optimierung in einer sehr kurzen Zeit erfolgen, sodass die Verwendung im praktischen bzw. operativen Einsatz möglich wird. Verbunden mit diesem Schwerpunkt muss zudem gewährleistet werden, dass die Ergebnisse des Optimierungsmodells den Nutzern zielgerichtet und einfach zur Verfügung stehen. Daher soll die Kapselung der Optimierung bzw. ihrer Ergebnisse in einer Akku-Tausch-App erfolgen. Um Nutzbarkeit von Ergebnissen und die gleichzeitige Bedienbarkeit für die Nutzer einzuschätzen, ist ein intensiver Austausch und Test durch die potenziellen Anwender notwendig.

Um die Forschungsschwerpunkte zu erzielen, wurden die Arbeiten auf zehn Arbeitspakete (AP) aufgeteilt. Im ersten Schritt sollten Nutzungsdaten gesammelt werden und darauf basierend Prognosemodelle der Nutzung erstellt werden (AP 1). Im Anschluss sollte ein Relokalisierungsmodell entwickelt werden (AP 2), welches auch die Prognosen einbindet, und im Anschluss in die Kunden-App und das Backend-System integriert werden sollte (AP 3). Nach der erfolgreichen Integration in die Kunden-App war die Aktivierung des Modells und der darauffolgende Kontakt der Kunden mit den Anreizen geplant, deren Wirkung beobachtet und analysiert werden sollte (AP 4). Folglich war ein Soll-Ist-Vergleich zwischen prognostizierten Werten und realisierten Werten geplant (AP 6). Diese Arbeitspakete sollten durch eine stetige Sammlung von weiteren Nutzungsdaten unterstützt werden, die zur iterativen Feinjustierung der Modelle dienen sollten (AP 5). Die Entwicklung der Akku-Tausch-App und des zugrundeliegenden Optimierungsmodells sollte zunächst theoretisch erfolgen (AP 7), und anschließend praktisch IT-seitig umgesetzt werden (AP 8). Der Umsetzung sollte eine Betatestphase folgen, um Anpassungen vorzunehmen, Verbesserungspotentiale zu identifizieren und die Nutzer mit den Entwicklungen vertraut zu machen. Abschließend sollten zusätzlich in alle Entwicklungen Echtzeit-Daten integriert werden (AP 10). Im Folgenden werden die zehn Arbeitspakete im Detail beschrieben.

4.2 Projektplan im Detail

AP 1 Datenanalyse für die Prognoseerstellung

AP 1.1 Vorhandene Datenbasis BMVI & „emmy“ sichten

Im Rahmen dieses Arbeitspakets sollten die vorhandene Datenbasis, die durch die datenhaltenden Stellen zur Verfügung gestellt wird, als auch die eigenen Daten gesichtet werden. Für den Bezug von Wetterdaten wurde ein externer Dienstleister identifiziert und Wetterdaten wurden beschafft. Es konnte keine passende Quelle für Verkehrsdaten gefunden werden. Auf der internen Seite wurden die Quellen der relevanten Daten für das Vorhaben identifiziert und zunächst manuell zusammengeführt.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Es wurden umfangreiche Änderungen für das Backend angeregt, um eine möglichst zentralisierte Zusammenfassung der Datenbasis zu ermöglichen. Daraus resultierend wurde IT-seitig eine Datenbank-Kopie des Backend-Systems entwickelt, auf welche das entwickelte System für die Anwendung des Relokalisierungsmodells später zugreifen würde. Mit Hilfe der Datenbank-Kopie wurde es möglich, Datenerhebungen zu Kunden- und Reservierungsdaten abzurufen.

AP 1.2 Hypothesen aufstellen

Auf Basis der vorhandenen Daten sowie der sukzessiv zusätzlich beschaffenen Daten wurden erste Hypothesen für die spätere Datenauswertung aufgestellt. Diese bezogen sich vorrangig auf den Einfluss des Wetters und das Nutzungsverhalten zu unterschiedlichen Tagen als auch Tageszeiten.

AP 1.3 Vorhandene Daten analysieren und auswerten

Die aufgestellten Hypothesen wurden mit Hilfe der bereitstehenden Daten abgeglichen. Zunächst wurden die Nutzungsdaten mit weiteren meteorologischen, sozioökonomischen und roller- bzw. flottenspezifischen Daten verknüpft, verschiedene KPIs aufgestellt und in Workshops mit den Erfahrungen der operativen Mitarbeiter verglichen. Entsprechend der Abweichungen wurden Ergebnisse und Erkenntnisse anschließend noch einmal anhand der Daten überprüft. Zu den meteorologischen Faktoren wurde die Temperatur zum Zeitpunkt des Abmietens eines Rollers, die Stärke des Niederschlages und die Stärke des Windes im Modell integriert. [vertraulicher Teil ausgelassen] Des Weiteren wurde untersucht, ob der Akkustand, das Fahrzeugmodell und der Anteil der gesamten Flotte, der für den Kunden zur Verfügung steht, einen Einfluss auf die Nachfrage haben. Dazu wurden neben visuellen Analysen auch die Korrelationen analysiert und Hypothesen mit t-Tests überprüft. Anschließend wurden erste statistische Modelle aufgestellt und getestet. Vielversprechende Hypothesen und Ergebnisse wurden auf Basis der entsprechenden Daten weiter detailliert und analysiert. In diesem Schritt wurden Lücken an Daten identifiziert, die zur umfassenden Hypothesenanalyse nötig waren. Hierbei handelte es sich unter anderem um weitere Variablen einzelner Reservierung, welche die Customer-Journey bei einer Reservierung nachvollziehbar machen, um damit Fehler in den Daten zu interpolieren. Zudem wurde durch die wiederholten Rücksprachen mit den operativen Mitarbeitern deutlich, dass Daten zur Durchführung der operativen Prozesse fehlen. Anhand der ausführlichen Datenanalyse wurde ein erstes Relokalisierungsmodell aufgestellt, dessen Implementierung für den Jahresbeginn von 2018 vorgesehen war. Daraus resultierten umfangreiche Abstimmungen mit der IT, um die Implementierung des Modells in die App zu gewährleisten.

AP 1.4 Fehlende Daten identifizieren

Aus AP 1.3 ergaben sich zwei deutliche Schwachpunkte in den vorhandenen Daten. Einerseits kam es bei der automatisierten Erfassung einiger Datenpunkte zu Fehlern, deren Interpolation nicht ohne weitere Datenpunkte einzelner Reservierungen durchgeführt werden konnte. Die Auslassung dieser Daten konnte aufgrund der Pfadabhängigkeit bei den Standzeiten nicht als Bereinigungsstrategie gewählt werden. Wird in einer Abfolge von drei Reservierungen die mittlere ausgelassen, so ergibt sich für die Standzeit der ersten Reservierung die Summe der Standzeiten der ersten und zweiten Reservierung. Andererseits fehlte es an operativen Daten zu den an den Rollern durchgeführten

Planung und Ablauf des Vorhabens

Services (z.B. Batterietausch, Instandhaltung), sodass es bei der Berechnung der Standzeiten zu erheblich verfälschten Werten kam. Da diese Daten bis dahin nicht automatisiert erfasst wurden, wurde die Entscheidung getroffen, die Arbeitspakete 7 bis 9 zur automatisierten Erfassung der operativen Daten vorzuziehen.

AP 1.5 Neue Daten erheben

[vertraulicher Teil ausgelassen]

AP 1.6 Datenvernetzung, -analyse und -auswertung

Nach der Umsetzung einer automatisierten Erhebung der operativen Daten wurden diese nach einer verlängerten Erhebungsperiode zunächst einzeln und dann in Verbindung mit den bereits vorher gesammelten Daten ausgewertet. Neben der zentralen Bereitstellung der relevanten internen Daten über eine Datenquelle wurde damit auch der Grundstein für die Implementierung der auf Basis dieser internen Daten entwickelten Modelle in das Backend-System gelegt. Innerhalb des Arbeitspakets wurden interne KPIs zu operativen Prozessen ermittelt und diese erneut in Workshops mit den operativen Mitarbeitern diskutiert und geprüft. Nach diesen Schritten konnten erstmals die Standzeiten der Roller ohne die Verfälschung von Service-Aktivitäten an den Rollern berechnet werden. Dieses Arbeitspaket konnte aufgrund der verschiedenen beeinträchtigenden Einflüsse nicht plangemäß fertiggestellt werden.

AP 1.7 Prognosen ableiten

Aufbauend auf AP 1.2 wurden parallel zu den Entwicklungsarbeiten an der Akku-Tausch-App (AP 7 bis 9) Arbeiten an Prognosemodellen vorgenommen, die wiederum in die App übertragen und eingebunden wurden, sowie außerdem in AP 3.2 in die geplanten Relokalisierungsmodelle integriert werden sollten. Hierbei wurde ein einfaches Modell gewählt, um die Integration in nachfolgende Prozesse zu vereinfachen. Das Modell wurde anhand von AP 5 iterativ zu mehreren Zeitpunkten im Projekt überarbeitet. Ausschlaggebend für die Überarbeitung war wiederholtes Feedback aus dem Flottenmanagement, das anhand der bereitgestellten Prognosen operative Entscheidungen getroffen hat.

AP 1.8 Erneute Datenvernetzung, -analyse und -auswertung

Die iterativen Überarbeitungen der Prognosemodelle in AP 1.7 wurden ebenso dazu genutzt, die aufgestellten KPIs zu überprüfen und so auch Verbesserungen zu evaluieren. [vertraulicher Teil ausgelassen]

AP 2 Entwicklung des theoretischen Relokalisierungsmodells

AP 2.1 Nutzerbasierte Relokalisierungsmodelle konkretisieren

Wie in AP 1.2 beschrieben ist, wurden parallel zur ersten Datenanalyse auch erste vielversprechende Relokalisierungsmodelle aufgestellt, die auf vorab getätigten theoretischen Überlegungen dieses Arbeitspaketes basierten. Dazu wurden umfangreiche Literaturanalysen durchgeführt, um vorhandene Ansätze besser zu verstehen und weitere Ideen für die Modellierung zu sammeln. Ebenso wurde eine umfangreiche Prozessanalyse durchgeführt, um die Herausforderungen und

Planung und Ablauf des Vorhabens

Anforderungen besser zu verstehen. Des Weiteren wurde der Anwendungsfall des nutzerbasierten Relokalisierungsmodells unter Einbeziehung von Mitarbeitern im Marketing sowie im Bereich Projektmanagement Operations konkretisiert.

AP 2.2 Kriterienauswahl für Modelle

Basierend auf der umfassenden Literaturrecherche in AP 2.1 wurden passende Kriterien für die Bewertung der Modelle aufgestellt. Einerseits wurden klassische Bewertungskriterien analytischer Modelle ausgewählt. Andererseits wurde auch ein entscheidungstheoretisches Verfahren genutzt, um den Nutzen aus der Verbindung eines Anreizes für den Kunden und den resultierenden zusätzlichen Einnahmen abzuschätzen. Hierbei sind AP 2.2 und AP 2.3 ineinander übergeflossen.

AP 2.3 Szenarienbildung anhand erster Daten

Für die Anwendung der Bewertungskriterien für die erstellten Relokalisierungsmodelle wurden zusätzlich Szenarien aufgestellt. Dies wurde parallel zu AP 2.2 durchgeführt.

AP 2.4 Modellbewertung und -auswahl anhand von Szenarien

Anhand der iterativ neu vorhandenen Daten wurde über den Verlauf des Projektes eine Vielzahl von Modellen aufgestellt und diese auch nahezu vollständig in AP 3 und 4 implementiert und getestet. [vertraulicher Teil ausgelassen] Daher wurden an AP 3 und 4 die Arbeiten begonnen, bevor ein ideales Modell identifiziert wurde. Die letzten aufgestellten Modelle, die für den Test in der Beta-Phase ausgewählt wurden, sind nicht mehr implementiert worden, da durch das Auftreten des Coronavirus sich das Nachfrageverhalten drastisch verändert hat und daher zum Einen bis zum Projektende nicht genug Daten der neuen Muster hätten für das Training des ausgewählten Modells gesammelt werden können und zum Anderen die Modelle basierend auf den vorher beobachteten Nachfragemustern keinen fairen Test erhalten hätten.

AP 3 IT-seitige Implementierung des theoretischen Relokalisierungsmodells

AP 3.1 IT-Seitige Abbildung des Modells

Basierend auf einem ausgewähltem Relokalisierungsmodell, das den vielversprechendsten Stand Ende des Jahres 2018 darstellte, ein Logistisches Regressionsmodell, wurde die IT-seitige Abbildung des Modells in die mobile Kundenapp und im Backend begonnen. Neben entsprechenden Datenbanken zur Überwachung des Modells und den entsprechenden IT-Infrastrukturen zu Anwendung des Modells wurden ebenso Szenarien aufgestellt, die den Prozess der bestmöglichen Sichtbarkeit der Incentivierung für den Kunden in der App adressierten. Zu den Arbeiten an den IT-Infrastrukturen gehörten dabei die Sicherstellung, dass das Modell rund um die Uhr ohne Einschränkungen funktioniert und zu den richtigen Zeitpunkten die Anreize setzt. Neben dem Aufsetzen der IT-Infrastruktur wurden außerdem weitere Server errichtet, die zur Unterstützung des Relokalisierungsmodells bei beispielsweise der Datenerhebung von Rollertrackingdaten oder Workshopdatenbanken dienen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

AP 3.2 Integration der Prognosedaten

Die Prognosedaten basierend auf dem Modell aus AP 1.7 wurden in das Relokalisierungsmodell integriert. Da das ausgewählte Modell bereits diese Prognosedaten verlangte, sind AP 3.1 und AP 3.2 eng ineinander übergegangen.

AP 3.3 Interne Testphase

Das ausgewählte Modell wurde im Shadow-Benchmarking getestet, sodass das Modell zu relevanten Zeitpunkten mit den aktuellen Daten eine Prognose abgibt, auf der eine Entscheidung getroffen wird. Diese Entscheidung wird jedoch lediglich aufgezeichnet und nicht real umgesetzt. Nach einem eingestellten Zeitraum wird das real eingetretene Ereignis ebenso aufgezeichnet. Dazu mussten zusätzlich die entsprechenden Infrastrukturen geschaffen werden, um die Aufzeichnung der Modellergebnisse zu gewährleisten. IT-seitig wurde es damit möglich, auf ein Signal hin (z.B. Abstellen eines Rollers) durch ein statistisches Modell eine Vorhersage zu machen, wiederum basierend darauf einen Anreiz für den Kunden zu setzen und diesen dem Kunden anzuzeigen. Die Ergebnis-Aufzeichnung legte die Grundlage zur stetigen Bewertung der Modellqualität für den ausstehenden Aktualisierungsprozess. Entsprechend wurden die Prognosen mit den eingetretenen Ereignissen manuell nach mehreren Testperioden miteinander verglichen. Auf diese Weise wurden mehrere Modelle getestet. Die Ergebnisse in der Realität waren, wie zu erwarten war, etwas schwächer als im Training. Außerdem zeigten sie systematische Fehler, die in den Modellierungsprozess zurückgespielt wurden. Weitere geplante Tests mit verbesserten Modellen wurden aufgrund des Coronavirus und den damit verbundenen Veränderungen des Nachfrageverhaltens nicht durchgeführt.

AP 3.4 Modell wird im System aktiviert

Durch die Arbeiten an AP 3 ist das Modell praktisch online und könnte somit aktiviert werden. Da keines der Modelle die gewünschten Anforderungen erfüllt und statt eines Mehrwerts für das Unternehmen eher Verlust einbringt, ist jedoch keines der Modelle tatsächlich aktiviert.

AP 4 Betaphase des Relokalisierungsmodells

Nach Ende des dritten AP war ursprünglich die Betaphase des Relokalisierungsmodells geplant, in der das erarbeitete nutzerbasierte Relokalisierungsmodell im Sharing-Betrieb getestet werden sollte. Mit der Erprobung des Modells durch Kunden sollte der Gesamterfolg des Modells bezüglich der Zielsetzung identifiziert werden. Die formulierte Zielsetzung war es, die Diskrepanz von Angebot und Nachfrage durch die anreizgesteuerte Motivation von antizyklischer Rollernutzung zu verringern. Außerdem sollten durch die Einbettung des Modells in die mobile App und des App-Trackings Potenziale für Verbesserungen und Optimierung der Nutzerfreundlichkeit gewonnen werden. Durch die parallele Einbettung des Modells in das Flottenmanagementsystem sollten zudem Verbesserungspotenziale für das Flottenmanagement identifiziert werden. Durch das Fehlen eines in allen Stufen positiv bewerteten Relokalisierungsmodells mit dem subsequenter Ausbleiben der Aktivierung eines Modells, wurde dieses Arbeitspaket in der geplanten Form nicht abgeschlossen. Da durch die Shadow-Benchmarking-Tests Erkenntnisse aus dem pseudo-realen Einsatz gewonnen werden konnten und diese in die Modellierung eingebracht wurden, wurden diese Aktivitäten formal AP 4 zugewiesen. Jedoch konnte im Projekt kein Modell für den Kundenkontakt verwendet werden.

AP 5 Kontinuierliche Datenerhebung

Mit der Erhebung der eigenen Daten in AP 1 wurde das AP 5 bereits angestoßen und führte letztendlich zur kontinuierlichen Erhebung von Mobilitätsnutzungsverhaltensdaten von Ende 2017 bis Ende 2019. Ziel des APs war die kontinuierliche Erhebung umfassender Daten über den Zeitraum von mindestens einem Jahr, um das Nutzungsverhalten der Sharing-Kunden aufzunehmen und die eventuellen Wegeketten und Gründe zu mutmaßen. Des Weiteren können diese Daten sowohl Auskunft geben über spezifische Roller-Sharing betreffende Merkmale. Mit den gesammelten Daten wurden die Prognosen zur Mobilitätsnachfrage in Berlin stetig verbessert. Die Daten wurden dabei kontinuierlich in die Modellierung des Relokalisierungsmodells eingebracht, sodass die Modellierung stets auf den neusten Daten beruhte. Ausgelöst durch Fehler im GPS-Tracking stellte die größte Herausforderung hierbei wiederholt die Datenqualität dar. Zudem nahmen die Daten ab einem gewissen Zeitraum eine Datenmenge an, welche die Analyse mit einfachen Mitteln nicht mehr ermöglichte. Dementsprechend hat das Datenvolumen den Umstieg zu analytischen Programmiersprachen mit entsprechendem Lernaufwand verlangt, welche gleichzeitig auch für komplexere Verfahren des Maschinellen Lernens notwendig wurden.

AP 6 Soll-Ist-Vergleich und Modelloptimierung

Auf Basis der stetig neu erhobenen Daten aus AP 5 und den Erkenntnissen aus der Betaphase des Modells in AP 4 sollte ein Soll-Ist-Vergleich zwischen ursprünglichen Prognosedaten und tatsächlich eingetroffenen Werten ermöglicht werden. Folglich sollte das Relokalisierungsmodell entsprechend dem identifizierten Optimierungspotential angepasst werden. Da AP 4 nicht erfolgreich abgeschlossen werden konnte, konnte der Vergleich bisher nicht durchgeführt werden und entsprechend konnten bisher keine Erkenntnisse zurück in die Modellierung integriert werden.

AP 7 Entwicklung theoretisches Modell zur Akkutauschoptimierung

AP 7.1 Theoretisches Modell aufstellen

Basierend auf den ersten Erkenntnissen über das Nachfrageverhalten der Kunden aus AP 1.2 und AP 1.3 konnten relevante Ideen für ein theoretisches Modell zur Akkutauschoptimierung entwickelt werden. Des Weiteren wurde während der Durchführung von AP 1.2 bis 1.4 festgestellt, dass operative Daten über den Akku-Tausch automatisiert erfasst werden müssen. Die vorgesehene Akku-Tausch-App, welche als Ergebnis von AP 7 bis 9 hervorgehen sollte, wurde daraufhin zur Erfassung dieser Daten ausgelegt. Aufgrund dieser beiden Aspekte wurde die Entwicklung des theoretischen Modells vorgezogen. Basierend auf einer weiteren internen Prozessanalyse, Vorgesprächen mit operativen Mitarbeitern und einer Literaturrecherche wurde ein theoretisches Modell bzw. Vorgehen entwickelt.

AP 7.2 Optimierung anhand erster Daten

Anhand einzelner Daten aus dem operativen Betrieb, die manuell erfasst wurden, wurde das theoretische Modell getestet. Dabei wurden verschiedene Testszenarien aufgestellt, welche den Akku-Tausch in unterschiedlichen Situationen abbilden sollten (Vergleich von unterschiedlichen Tageszeiten, oder verschiedener Orte in Berlin). Aus den Tests ergaben sich außerdem mehrere Workshops mit den operativen Mitarbeitern, die dabei unterstützt haben, die Umsetzbarkeit der Ergebnisse zu bewerten.

Planung und Ablauf des Vorhabens

AP 7.3 Modell konkretisieren

In AP 7.3 wurden die Erkenntnisse der vorherigen Arbeitspakete eingearbeitet und das theoretische Modell anhand des gewonnenen Wissens überarbeitet.

AP 8 IT-seitige Implementierung des Modells zur Akkutauschoptimierung

Auf Basis des in AP7 entwickelten Modells wurde in diesem Arbeitspaket die Routenoptimierung im Backend implementiert und eine passende Batterie-Tausch-App entwickelt. Dafür wurde eine breite Infrastruktur zur Implementierung und operationalen Umsetzung des Modells aufgestellt. Die entwickelte App für das Akkutauschpersonal errechnet zu jeder Zeit die optimale Route zum nächsten Batteriewechsel. Hinter der App wurde eine breite Infrastruktur erarbeitet, die App an Echtzeit-Datenbanken geknüpft und neue Server zur weiteren Erhebung von Operationsdaten errichtet. Ziel der App mit den dahinterliegenden Modellen und der breiten Infrastruktur ist es, in Abhängigkeit der Kundennachfrage, des Standortes oder des Batterie-Levels die Roller über den gesamten Tag verteilt optimal auf einem hohen Batteriestand halten zu können. [vertraulicher Teil ausgelassen] Die initiale Entwicklung und Implementierung nahmen dabei deutlich mehr Zeit in Anspruch als erwartet. Zudem war der Entwicklungsprozess geprägt von einem intensiven Austausch der Mitarbeiter im Unternehmen und Projekt, um die effiziente Anwendbarkeit der App im operativen Einsatz zu gewährleisten. Aus dem intensiven Austauschbedarf und den gleichzeitig aufgebauten IT-Kompetenzen im Unternehmen wurde erstmals die Entscheidung getroffen, die extern geplanten Entwicklungen intern durchzuführen.

AP 9 Betatestphase und Optimierung Akkutauschoptimierungsmodell

Das implementierte Modell zur Akkutauschoptimierung und die dazugehörige App wurden mehrere Wochen im operativen Einsatz getestet und kontinuierlich ausführliches Feedback der Nutzer eingeholt. Darauf basierend wurden leichte Anpassungen der App vorgenommen. Die App wurde im weiteren Verlauf des Projekts mehrfach an kleineren Stellen bedarfsgerecht angepasst. Die App ist seit Mitte 2018 im Einsatz.

AP 10 Integration von Echtzeitdaten

AP 10.1 Implementierung im Flottenmanagementsystem

Während der parallelen iterativen Entwicklung neuer Modelle in AP 2 wurden im Jahr 2018 auch die Echtzeitdaten des Wetters über eine API-Schnittstellen eingebunden (API steht für „Application Programming Interface“, zu Deutsch: Programmierschnittstelle). Damit konnte die bisherige Nutzung von historischen Daten, welche in der Regel einen deutlichen Versatz des letzten Datenpunkts zum aktuellen Datum aufgewiesen hatten, durch die aktuellen Wetterdaten ersetzt werden. Für die Umsetzung war nach ausführlicher Recherche möglicher Services ein Wechsel des Dienstleisters für die Wetterdaten notwendig. [vertraulicher Teil ausgelassen] Für die Einbindung von Daten zur Verkehrslage konnten bis zum Projektende keine passenden Anbieter identifiziert werden.

Planung und Ablauf des Vorhabens

AP 10.2 Modellentwicklung

Da die Modellentwicklung in AP 2 fortwährend durchgeführt wurde, haben die Echtzeit-Wetterdaten direkte Verwendung in der Modellierung gefunden. Somit wurde AP 10.2 bereits in AP 2 integriert.

AP 10.3 IT-seitige Abbildung und Integration in das bestehende System

Die Implementierung der Wetterdaten wurde in Verbindung mit AP 3 durchgeführt. Die IT-Seitige Implementierung verlangte den Aufbau von Infrastrukturen, welche die Wetterdaten in geringeren Abständen speichert, sodass das Modell bei einer Anwendung („Scoring“) auf die gespeicherten Daten zugreifen kann. Der Abruf der Daten zu jedem Anwendungs-Zeitpunkt des Modells (mehrmals pro Minute) im Vergleich zur gemächlichen Veränderung des Wetters wäre nicht angemessen gewesen. Die Integration der Wetterdaten wurde außerdem für das Flottenmanagementsystem vorgenommen.

AP 10.4 Interne Testphase

Die Speicherung und die Modellberechnung anhand der Wetterdaten wurden getestet. Kleinere Veränderungen für die Zwischenspeicherung wurden vorgenommen.

AP 10.5 Aktivierung

Entsprechend den Beschreibungen in AP 2, 3 und 4 wurde das Modell bisher nicht aktiviert.

AP 10.6 Betatestphase und Optimierung

Entsprechend den Beschreibungen in AP 2, 3 und 4 wurde das Modell nur im Shadow-Benchmarking getestet und basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen optimiert. Das Modell wurde bisher nicht auf die Veränderung des Kundenverhaltens getestet.

5 Umsetzung des Vorhabens

Dieses Kapitel gibt Einblicke über die Ergebnisse aus den eigenen Arbeiten im Forschungsvorhaben. Die Literaturrecherchen, die in Kapitel 3 zusammengefasst wurden, haben den Forschungsprozess maßgeblich geprägt. Ihre Zusammenfassungen stellen in sich selbst Ergebnisse für das Forschungsvorhaben dar, die durch Arbeiten in Form von Recherche und Reflektion ermittelt wurden. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Prozessanalyse dargestellt. Diese wurden deutlich von Diskussionspunkten geprägt, die sich aus der Literaturrecherche ergeben haben. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die beiden Forschungsschwerpunkte dargestellt und diskutiert. Als Erstes wird der Schwerpunkt der Relokalisierung betrachtet, einschließlich relevanter Daten und dem daraus resultierenden Nutzungsverhalten. Als Zweites wird die Optimierung der Versorgungsfahrten einschließlich der App und den Herausforderungen betrachtet.

5.1 Analyse des praktischen Anwendungsfalls

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden Daten und analytische Methoden dafür genutzt, um Erkenntnisse über bestehende operative und informatorische Prozesse sowie das Nutzungsverhalten zu sammeln. Der Einsatz dieser Methoden und die zielorientierte Interpretation der Daten ist jedoch stark davon abhängig, den Kontext der Daten zu kennen und entsprechend interpretieren zu können. Ohne diese weiterführenden Informationen würden relevante Einflüsse übersehen, fehlerhafte Ergebnisse verwendet und Anwendungen entwickelt, die im praktischen Anwendungsfall nicht funktionieren. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden daher an den passenden Stellen umfassende Prozessanalysen vorgenommen und wiederholt der intensive Austausch mit den operativen Mitarbeitern gesucht. Im nachfolgenden Abschnitt sind die Erkenntnisse aus diesen Analysen unterteilt und grob zusammengefasst. Die jeweiligen Aspekte enthalten zudem Kommentare dazu, ob und wie diese sich auf das Forschungsvorhaben ausgewirkt haben.

5.1.1 Datenerhebung und Datennutzung

Als Forschungsvorhaben mit datenanalytischen Schwerpunkten spielen die Daten, ihre Qualität und die Möglichkeit ihrer Erhebung eine Schlüsselrolle. Die nachfolgenden Erkenntnisse zu diesen Aspekten wurden während der Prozessanalyse und des Projekts zusammengestellt. Abgebildet sind in diesem Abschnitt die folgenden Aspekte: (1) Verortung der Nachfrage, (2) Unvollständigkeit des Nachfragesignals, (3) dynamische Verfügbarkeit von Fahrzeugen, (4) die raum-zeitliche Position der Fahrzeuge, (5) die Datenqualität, (6) die Bereinigung von Daten, und (7) die Verfügbarkeit von Daten zum Zeitpunkt der Vorhersage.

Eine Herausforderung in der Datenerhebung bzw. Verarbeitung eines FFSS besteht, wie bereits in Kapitel 3.2 mehrfach angesprochen, in der räumlichen Verortung der Nachfrage. Innerhalb des Geschäftsgebiets des Roller-Sharing sind die Nachfrageorte theoretisch unendlich. Praktisch sind sie begrenzt durch die Genauigkeit der GPS-Technologie, welche die Anzahl an Nachkommastellen von Längengrad und Breitengrad limitiert. Im stationsbasierten Mobilitäts-Sharing gibt es endlich viele Stationen als Referenzpunkte für die räumliche Dimension der Nachfrage. An diesen Stationen bündeln sich die Nachfrageorte der Kunden der umliegenden Gebiete, wodurch für diese Stationen ungefähre Nachfragemuster der umgebenden Gebiete abgeschätzt werden können. Würde für ein FFSS die Nachfrage an einem genauen Punkt oder einer genauen Adresse ermittelt werden, so würde es kaum

Umsetzung des Vorhabens

erkennbare Muster geben – ausgenommen Kunden haben einen bevorzugten und häufig gewählten Parkplatz. Um Muster aus den frei wählbaren Abstellpositionen der Roller und der räumlichen Nachfrage abzuleiten, müssen dementsprechend vergleichbare Gebiete durch künstlich definierte Zonen festgelegt und in diesen die Nachfrage zusammengefasst werden. Im vorliegenden Vorhaben wurden dafür zwei Ansätze getestet. Zum einen wurden Lebensweltlich Orientierte Räume (LOR) verwendet, die in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** näher erläutert werden. Zum anderen wurde ein hexagonales Netz über den Untersuchungsraum gelegt. In beiden Fällen besteht eine der größten Herausforderungen darin, die Verortung von Mieten in den künstlichen Zonen schnell zu berechnen. Von der Verwendung von quadratischen Netzen wurde in einigen Literaturquellen abgeraten. Jedoch stellt dies in einem FFSS nicht die tatsächliche Grundwahrheit dar, da Kunden ihren Ausgangsort in einer anderen Zone haben können als der Startort ihrer Miete, sodass die eigentliche Nachfrage – also der Standort der Kunden bei Öffnung der App und Suche nach einem Roller - in einer anderen Zone liegt. Eine weitere Herausforderung liegt darin, die genutzten Zonen über mehrere analytische Schritte hinweg konsistent zu halten, da die Verarbeitung von Polygonflächen in unterschiedlichen Systemen und Programmier-sprachen völlig verschieden gehandhabt wird.

Ein grundsätzliches Problem der Datenerhebung ist die Abschätzung der tatsächlichen Nachfrage bei fehlendem Angebot. Möchten Kunden einen Roller mieten, können jedoch in ihrer Umgebung keinen geeigneten Roller finden, so ist diese Nachfrage dem Anbieter entgangen. Über diese entgangene Nachfrage können jedoch keine Daten erhoben werden. Da die Kunden ihre Nachfrage nicht im Vorfeld anmelden müssen, verhält es sich im Roller-Sharing wie in Supermärkten, in denen Kunden ein Produkt nicht erwerben können, wenn es zu einem Stock-Out gekommen ist. In solchen Situationen sind die Informationen über die Nachfrage unvollständig und haben zur Folge, dass es explizit in den unterversorgten Gebieten zu einer Unterschätzung der Nachfrage kommt. Wird dies als Ausgangspunkt für Nachfragevorhersagen und Relokalisierungsanreize genommen, kann es im Extremfall dazu kommen, dass diese Gebiete entsprechend der unvollständigen Informationen benachteiligt werden und sich daraus ein selbstverstärkender Zyklus bildet. Verfahren aus dem Einzelhandel, in denen diese Herausforderungen regelmäßig auftreten, können dabei nicht auf das vorliegende Forschungsvorhaben übertragen werden, da diese in der Regel höhere Bedarfs- und Angebotsmengen sowie statische Füllgrenzen voraussetzen, zu denen auch regelmäßig der Bestand aufgefüllt wird. Derartige Stabilität ist im Mobilitäts-Sharing nicht vorhanden. Diese Herausforderung fällt dabei vor allem beim Forschungsschwerpunkt der Relokalisierung ins Gewicht.

In Verbindung mit der Nachfrage muss für beide Schwerpunkte des Projekts ebenso berücksichtigt werden, dass Kunden durch ihr Verhalten das Roller-Sharing-Angebot dynamisch verändern. Ein Teil des Angebots für die Kunden umfasst die Möglichkeit, einen Roller bis zu 15 Minuten zu reservieren. Eine Reservierung ist die Voraussetzung für eine Miete und dementsprechend kann eine Miete nur aus einer bestehenden Reservierung heraus gestartet werden. Dieser Zeitraum soll den Kunden die Möglichkeit geben, dass sie einen Roller auswählen, sich zu diesem bewegen und die Sicherheit haben, dass der Roller auch nicht in der Zwischenzeit von anderen Kunden gemietet wurde. Jedoch konvertiert nicht jede Reservierung zu einer Miete. Für den Forschungsschwerpunkt der Relokalisierung hat das die Auswirkung, dass innerhalb der Berechnung und Modellierung der Vorhersage von Standzeiten

Umsetzung des Vorhabens

eine dringende Unterscheidung zwischen Mieten und Reservierungen vorgenommen werden muss. Da jede Miete mit einer Reservierung verbunden ist, werden Mieten jedoch als Reservierungen erfasst, die zusätzliche Eigenschaften haben. Ist die Unterscheidung durchgeführt, muss zudem berücksichtigt werden, dass eine nicht-konvertierte Reservierung eines Kunden eine eventuelle Miete eines anderen Kunden überdecken könnte. Innerhalb von diesen bis zu 15 Minuten ist das Signal über eine Nachfrage nach einem Mobilitäts-Sharing-Angebot dementsprechend verzerrt. Bei der Anwendung eines Modells zur Bestimmung von zu setzenden Anreizen muss außerdem genaustens überdacht werden, ob eine nicht-konvertierte Reservierung als Nachfragesignal verstanden wird, welche eventuell keinen weiteren Anreiz verlangt. Dieser Fall wäre relevant, wenn das Ende einer Reservierung (konvertiert oder nicht), als Bewertungszeitpunkt des Modells angenommen wird. Ein Kunde könnte in einem solchen Fall beispielsweise kurzfristig Zugang zu einer anderen Verkehrsmodalität bekommen haben (z.B. könnte ein Mitarbeiter nach der Arbeit eine Mitfahrt anbieten). Ein Anreiz wäre dann sinnvoll, da die Nachfrage entfallen ist und ein Anreiz weitere Nachfrage von anderen Kunden schaffen könnte. Der Kunde könnte aber ebenso kurzfristig aufgehalten worden sein und möchte weiterhin diesen Roller nutzen, jedoch zu einem etwas späteren Zeitpunkt (z.B. könnte er in ein Gespräch verwickelt worden sein). In diesem Fall würde der Anreiz keinen Sinn ergeben. Für den Schwerpunkt des Batterie-Tausch hat diese Situation ebenso Folgen. Wird ein Roller für einen Batterie-Tausch eingeplant und dann reserviert, so muss dies vom Optimierungsmodell kurzfristig berücksichtigt werden. Wird dieser Roller durch eine fehlende Konvertierung wieder frei und bildet unter allen Rollern noch immer einen sinnvollen Kandidaten für einen Batterie-Tausch, so muss dieser Roller wieder vom Optimierungsmodell in der Planung berücksichtigt werden, wie in Abbildung 10 schematisch dargestellt ist.

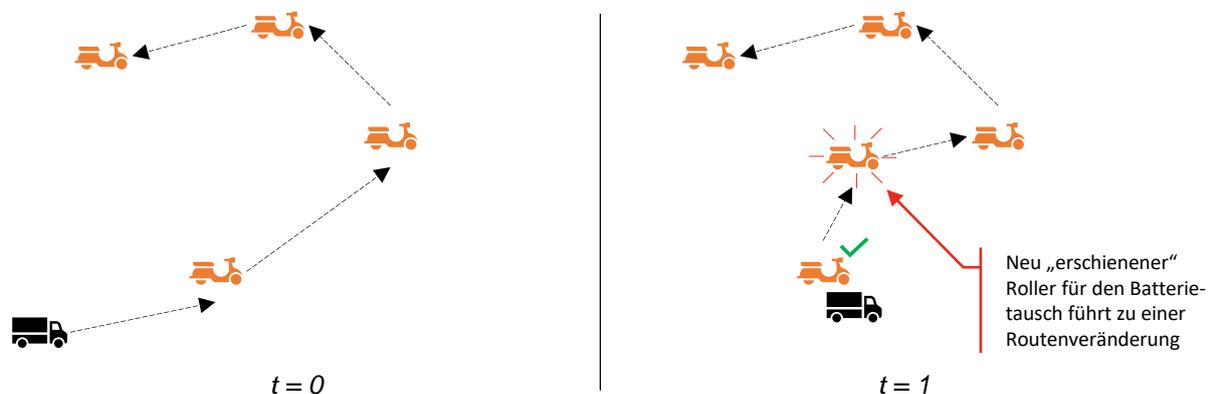


Abbildung 10: Schematische Darstellung der dynamischen Veränderung während einer Versorgungsfahrt

Für ein geeignetes Optimierungsmodell für den Batterie-Tausch ist darüber hinaus die prinzipiell dynamische raum-zeitliche Position der Roller im Sharing-Geschäftsmodell strengstens zu beachten. Während einer Batterie-Tausch-Versorgungsfahrt kann ein neuer Kandidat für einen Batterie-Tausch jederzeit erscheinen – Kunden können ihre Mieten beenden und Roller abstellen. Jeder von Kunden abgestellte Roller muss daraufhin bewertet werden, ob er bezogen auf Distanzen und die durch den Batteriefüllstand des Rollers implizierte Dringlichkeit in die Reihenfolge einer Versorgungsfahrt aufgenommen werden sollte. Ebenso kann ein Roller, der in der Reihenfolge einer Versorgungsfahrt eingeplant ist, auch jederzeit wieder verschwinden, da Kunden diesen Roller anmieten, wie bereits

Umsetzung des Vorhabens

erläutert. Dementsprechend müssen die Daten über Position, Batteriefüllstand und Aktivitäten der Roller zeitnah und nach extrem niedrigen Latenzzeiten für die Anwendung des Optimierungsmodells zur Verfügung stehen. Dabei sind nicht nur die Daten über neu erschienene Roller relevant. Die Daten aller Roller in der bisherigen Reihenfolge müssen regelmäßig aktualisiert werden, um deren Verbleib in der Reihenfolge der geplanten Versorgungsfahrt zu bewerten. Um die Optimierung der Versorgungsfahrt vorzunehmen, muss daher jeder eventuelle Kandidat mit den bereits eingeplanten Rollern verglichen werden und dies darüber hinaus relativ zur Position des Versorgungsfahrzeugs, das bereits eine Tour angefangen hat, berechnet werden. Folglich wird auch explizit die Position des Versorgungsfahrzeugs zu jedem Zeitpunkt benötigt. Das Erscheinen und Verschwinden muss insbesondere auch in der Bewertung der Optimierungsmodelle berücksichtigt werden. Bei der Modellierung und der subsequenten Bewertung neu erstellter Optimierungsmodelle müssen diese dahingehend bewertet werden, wie sie mit sich dynamisch verändernden Situationen umgehen. Werden Vergangenheitsdaten zur Bewertung eines Modells genutzt, muss daher neben der Position der Roller auch berücksichtigt werden, ab welchem Zeitpunkt ein Roller einen Batterie-Tausch-Bedarf aufgewiesen hat.

Eine mit den vorherigen Herausforderungen eng verbundene weitere Problematik ist die Datenqualität. Eine Vielzahl der verwendeten Daten wird über Sensoren erzeugt, die an den Rollern verbaut sind. Diese Daten werden über Mobilfunk-Netze übermittelt und anschließend in Datenbanken gespeichert. Jeder dieser Schritte ist fehleranfällig. Beispielhaft ist die Sensorik zum Abfragen des Batteriefüllstands und des GPS-Signals sehr sensibel. Die Batterien speichern ihre Energie über chemische Prozesse, welche von der Außentemperatur beeinflusst werden. Die Sensoren in den Batterien bleiben von diesen Einflüssen nicht verschont, wodurch es zu Ungenauigkeiten kommen kann. Die Bestimmung der Position eines GPS-Sensors wiederum basiert auf Triangulation über die Signale von Satelliten. Dabei wird die Dauer der Signalübertragung zu mindestens drei Satelliten gemessen und über diese Dauer und die Positionen der sendenden Satelliten der Standort des Sensors bestimmt. In dicht besiedelten Gebieten kann es jedoch dazu kommen, dass diese Signale an Häuserwänden oder anderen Hindernissen reflektiert werden. Dementsprechend verändert sich die Länge der Signalübertragung und die Position wird verzerrt. Sind diese Daten erst einmal erzeugt, kann ihre Vollständigkeit bei der Übertragung der Daten über das Mobilfunknetz eigentlich nicht beeinträchtigt werden. [vertraulicher Teil ausgelassen] Bei Datenbanken kann es außerdem zu Fehlern kommen, wenn gleichzeitig zu viele Prozesse parallel versuchen, Daten zu schreiben oder zu lesen, [vertraulicher Teil ausgelassen]. Treten derartige Fehler auf, können die Auswertung und Analyse der Daten zu falschen Ergebnissen führen, weshalb eine Datenbereinigung zwingend notwendig wird. Ist der korrekte Wert der Daten nicht bestimmbar, so können diese Werte interpoliert oder die entsprechenden Beobachtungen ausgelassen werden. Die gewählte Reinigungsstrategie hängt dabei jeweils von der konkreten analytischen Fragestellung ab und kann abhängig von den Daten unterschiedlichen Aufwand mit sich führen. Hinzu kommt, dass die Fehler nicht notwendigerweise auffällig sind und nur durch Zuhilfenahme von Prozessexperten identifiziert werden können. Insbesondere Ausreißer können die Folge von Fehlern in den Daten oder von durchaus realistischen, aber selten auftretenden Handlungen und Phänomenen sein.

Umsetzung des Vorhabens

In Anbetracht des Ziels, optimale Anreize für die Relokalisierung basierend auf der damit verbundenen Vorhersage von Standzeiten zu setzen, spielt die Datenqualität und die gewählte Strategie zur Datenbereinigung eine besondere Rolle. Im vorliegenden Forschungsvorhaben wird kein konkretes erfasstes Ereignis als Zielgröße einer Vorhersage, sondern die auftretenden Effekte zwischen zwei Ereignissen verwendet – die Standzeit eines Rollers. Im ersten Fall würde die Auslassung einer fehlerhaften Beobachtung dazu führen, dass ein Datenpunkt weniger zum Training zur Verfügung steht. Im letzteren Fall kann die Auslassung von fehlerhaft erfassten Ereignissen dazu führen, dass eine verfälschte Beobachtung in das Training des Modells aufgenommen wird und damit die vom Modell erfassten Muster verzerrt werden. Die Herausforderung wurde als Pfadabhängigkeit bezeichnet, da der Pfad der Ereignisse erhalten bleiben muss, um die Integrität der Zielgröße zu gewährleisten. Die Standzeit eines Rollers wird generell vom Ende einer Reservierung zum Start der nachfolgenden Reservierung gemessen. Wird also eine fehlerhafte Miete aus dieser Kette entfernt, weil beispielsweise der Abstellort der Miete fehlerhaft erfasst wurde, dann ist die Berechnung der Standzeit der vorherigen Miete verzerrt. Im Pfad der Ereignisse müssen des Weiteren Versorgungsaktivitäten wie Batterie-Tausche berücksichtigt werden, die eine Miete zwischen zwei Mieten für einen gewissen Zeitraum verhindern und dementsprechend die Standzeit der Roller beeinflussen. Die Pfadabhängigkeit musste daher in der Datenbereinigung und Berechnung der Standzeiten in der Vergangenheit für den Trainingsdatensatz berücksichtigt werden.

Über dies hinaus muss die Verfügbarkeit von Daten zum Zeitpunkt der Vorhersage betrachtet werden. Wie im späteren Kapitel 5.1.5 beschrieben ist, wurden innerhalb des Forschungsvorhabens basierend auf internen Überlegungen und verschiedenen Literaturquellen zahlreiche mögliche externe Einflüsse gesammelt, die einen potenziellen Einfluss auf das Mobilitätsnachfrageverhalten haben könnten. Für eine nachträgliche Analyse besteht durchaus die Möglichkeit, die beobachteten Werte der Zielgröße (Standzeit der Roller) mit den zeitgleich aufgetretenen Einflüssen zusammenzustellen und somit Einflüsse mit hohem Erklärungsgrad für die Verhaltensmuster der Kunden und der Zielgröße zu identifizieren. Dies nützt jedoch wenig, wenn Daten über diese Einflüsse nicht auch zu dem Zeitpunkt zur Verfügung stehen, zu dem eine Vorhersage getätigt werden soll, um daraus eine Entscheidung bezüglich der Setzung von Anreizen für die Relokalisierung zu treffen – dem Modellberechnungszeitpunkt. Für den Einfluss des Wetters gibt es zumindest Vorhersagen, welche aber zu einem gewissen Grad von den tatsächlichen Witterungsverhältnissen zum Zeitpunkt, für den die Vorhersage gemacht wird, abweicht. Daten über Mobilitätsbedarfe bei komplementären Verkehrsmodalitäten einschließlich ÖPNV, Taxis oder anderen Mobilitäts-Sharing-Anbietern stehen jedoch nicht in Echtzeit zu dem Zeitpunkt zur Verfügung, an dem eine Vorhersage getätigt werden soll. Bei der Auswahl relevanter Einflüsse wurde daher die Verfügbarkeit von Daten zu einem konkreten Zeitpunkt der Vorhersage mitberücksichtigt.

5.1.2 Operative Prozesse und Limitierungen

Dieser Abschnitt präsentiert Ergebnisse aus der Prozessanalyse bezogen auf die operative Durchführung und ist am stärksten geprägt vom Austausch mit den operativen Mitarbeitern. Konkret werden folgende Aspekte besprochen: (1) Nutzung von Transportern, (2) Wertschöpfung von Tätigkeiten, (3) Standort- und Netzwerkplanung, [vertraulicher Teil ausgelassen], (5) der Ladeprozess

Umsetzung des Vorhabens

von Batterien, (6) das Transshipment-Problem, (7) operative Kosten, (8) Arbeitszeiten, (9) die Dynamik in den operativen Prozessen und (10) Anforderungen an die Rechenzeit von Modellen.

Die Durchführung der Relokalisierung und des Akku-Tauschs erfolgt mit der Unterstützung von Transportern. Diese ist im Fall des Akku-Tauschs dem Gewicht und Platzbedarf der Akkus bzw. der Akkupacks geschuldet. Unter Nutzung von Transportern kann dieser Prozess deutlich effizienter ausgeführt werden als auf anderen Wegen oder kleineren Verkehrsmitteln wie einem weiteren Roller. Aufgrund des Sicherheitschecks wird das weitere Werkzeug transportiert, das zusätzlichen Platzbedarf hat und Gewicht mit sich bringt. Bezogen auf die Relokalisierung kann die Größe der Roller ausgenutzt werden, um mit Transportern Bündelung zu erreichen. Eine Unterstützung der Relokalisierung mit Hilfe von Klappfahrrädern für Wege zwischen den Rollern wird aktuell aus mehreren Gründen ausgeschlossen. Die Roller sind einerseits zum Transport solcher Klappfahrräder nicht ausgelegt, andererseits ist zu erwarten, dass der Einsatz solcher Fahrräder bei schlechtem Wetter zu deutlich verlängerten Versorgungsfahrten führt. Die Nutzung von Transportern hat zwar für den Forschungsschwerpunkt der nutzerbasierten Relokalisierung nahezu keine Relevanz. Es werden jedoch notwendige betreiberbasierte Relokalisierungsentscheidungen von den Erkenntnissen des Projekts zukünftig beeinflusst. Für die Optimierung des Akku-Tauschs wiederum hat die Nutzung von Transportern und deren Kapazität jedoch entscheidenden Einfluss auf die gesamte Modellierung und wurde dort entsprechend berücksichtigt.

In den vorliegenden Prozessen nutzen die Akku-Tauscher, wie während der Literaturrecherche festgestellt, lediglich einen Teil ihrer Zeit zum wertschöpfenden Akku-Tausch. Insbesondere die Fahrt zu den Rollern ist nicht-wertschöpfend. Da es sich jedoch bei dem vorliegenden Geschäftsmodell um ein FFSS handelt, kann die Bewegung der Akku-Tauscher zu den Rollern nicht vermieden werden. Dabei kommt es zu den Wegen von Roller zu Roller, die mit den Transportern im Straßenverkehr zurückgelegt werden. Außerdem können Roller ungünstig geparkt sein, sodass zwischen den Transportern und den Rollern längere Wege entstehen können. Weitere Tätigkeiten während des Akku-Tauschs, die nicht den Akku-Tausch selbst betreffen, müssen darüber hinaus unbedingt beibehalten werden und ihr Zeitbedarf muss dementsprechend in der Modellierung ebenso berücksichtigt werden. Die Minimierung der Wege zwischen den Roller stellt daher ein wichtiges Kriterium für die Optimierung des Akku-Tauschs dar.

Während die Standort- bzw. Netzwerkplanung erneut für die nutzerbasierte Relokalisierung im vorliegenden FFSS keine Anwendung findet, sind die in der Literatur beobachteten Überlegungen zur Netzwerkplanung von stationsbasierten Mobilitäts-Sharing-Diensten relevant für die Akku-Tausch-Optimierung. Im Akku-Tausch werden mehrere Standorte verwendet, an denen die Akkus geladen werden. Deren Standort soll die Effizienz der Versorgungsfahrten für den Akku-Tausch insbesondere dadurch erhöhen, dass Distanzen reduziert werden. Entsprechend dieser Voraussetzungen ist eine Netzwerkoptimierung an dieser Stelle sinnvoll. Bei der geringen Anzahl an genutzten Standorten, der Fläche des Geschäftsgebiets und unter Berücksichtigung verfügbarer Grundstücke für derartige Standorte bietet sich jedoch die Optimierung kaum an. Eine Optimierung in der Form, wie sie für die Netzwerkplanung von stationsbasierten Sharing-Diensten zu finden ist, wäre zu komplex im Vergleich zum sehr eingeschränkten Optimierungsproblem. Daher wurden keine weiteren Unternehmungen in diese Richtung innerhalb des Projekts gestartet.

Umsetzung des Vorhabens

[vertraulicher Teil ausgelassen]

Zu der vorherigen Herausforderung kommt überdies hinzu, dass das nicht-vollständige Laden von Akkus die Lebenszeit dieser reduziert. Beide Phasen der Ladung von den Akkus (intensitätskonstante Phase und spannungskonstante Phase) sollten daher vollständig durchgeführt werden, obwohl dies den Ladeprozess verlängert. Den Tank nur halb zu füllen, wie es beim Verbrennungsmotor eine Option wäre, sollte somit als Möglichkeit im vorliegenden Prozess nur in äußerst seltenen Fällen gewählt werden. Dem gegenüber steht die mechanische Belastung der Batterie und die Hitzeentwicklung, die beim Laden auftritt und dementsprechend berücksichtigt werden sollte. Für die Batterien ist es daher besser, nicht vollständig entladen zu werden. Als dritter Einflussfaktor kommt hinzu, dass die Gewährleistung der Batterien an die Anzahl der Ladezyklen geknüpft ist. Kurze Ladezyklen bedeuten dementsprechend, dass die Gewährleistung nach weniger verbrauchten Batterieprozentpunkten entfällt. In der Modellierung der Akku-Tausch-Optimierung muss entsprechend eine Priorisierung erfolgen, welche selbst dann zu einem Akku-Tausch bei Rollern mit geringen Akku-Ständen führt obwohl die Distanzen zu den Rollern hoch sind.

Das Transshipment-Problem, das in der Literatur beschrieben wird (siehe Abschnitt 3.2.1.2), spielt in dem vorliegenden Forschungsvorhaben kaum eine Rolle. Während einer Versorgungsfahrt kommt es vom Prozessablauf her nicht zu der Situation, dass volle Batterien eingesetzt werden sollen, die auf der Fahrt selbst aufgenommen werden, da der Transporter zu Beginn der Versorgungsfahrt vollständig mit geladenen Batterien beladen wird. Dementsprechend kann der rechnerische Fall nicht auftreten, in dem Batterien entladen werden, die erst bei einem späteren Halt aufgenommen werden. Im Rahmen der nutzerbasierten Relokalisierung ist dieses Problem ebenso nicht denkbar. Das Problem könnte in der Planung von betreiberbasierter Relokalisierung weiterhin auftreten, diese liegt jedoch nicht im Forschungsfokus.

Außerhalb des Projekts wurden die Kosten für eine Relokalisierung und einen Akku-Tausch evaluiert und bieten damit einen Ansatzpunkt für die Optimierung. Die Kosten können zum Vergleich und zur Bewertung von Lösungen herangezogen werden. Diese setzen sich dabei aus den Kostenfaktoren zusammen, die in der Literatur gefunden wurden (siehe Kapitel 3.2.1), wie direkte Personalkosten, indirekte Personalkosten, direkte Kosten für Betriebsmittel, indirekte Kosten für die Betriebsmittel und Kosten für Verbrauchsmittel. Die Kosten werden hier aus wettbewerblichen Gründen nicht genannt. In Anbetracht der Kostenschätzungen, die in der Literatur gefunden wurden, muss jedoch festgestellt werden, dass eine Lücke zwischen wissenschaftlicher Kostenschätzung und praktischer Kostenberechnung vorliegt, da in den Schätzungen relevante betriebliche Kosten ausgelassen und Berechnungen so idealisiert wurden.

In diesem Zusammenhang muss außerdem die Behandlung von Arbeitszeiten von Personal betrachtet werden. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich insbesondere in diesem Bereich Vereinfachungen, die im praktischen Anwendungsfall nicht nutzbar sind. Modellannahmen für die betreiberbasierte Relokalisierung implizieren regelmäßig den überaus flexiblen Einsatz von Personal mit spontanem und kurzfristig geplantem Personaleinsatz, nicht zusammenhängende Arbeitszeiten und Personalarbeitsstunden losgelöst von konkreten Mitarbeitern. Der letztere Fall würde beispielhaft dafür sorgen, dass ein Mitarbeiter mehrere Stunden parallel in der Zeit der Spitzennachfrage ableistet

Umsetzung des Vorhabens

– also gleichzeitig an mehreren Orten ist. In der Realität besteht diese Flexibilität nicht aus rein physikalischen Gründen aber auch aus Gründen des Arbeitsschutzes der Mitarbeiter. Erneut ist dieser Ansatz aus dem Forschungsbereich der Relokalisierung nicht relevant für den Schwerpunkt der Relokalisierung im vorliegenden Forschungsvorhaben. Für den Akkutausch ist dies jedoch schlüsselwichtig und verlangt die Modellierung von realistischen Arbeitszeitregeln.

Eine weitere Herausforderung, die in der Literatur regelmäßig in den Studien über betreiberbasierte Relokalisierung zu finden ist, tritt im vorliegenden Forschungsvorhaben im Rahmen der Versorgungsfahrten auf. Allübergreifend können auch die Versorgungsfahrten dynamisch und statisch in dem Sinne durchgeführt werden, als dass die Versorgungsfahrten bei einer statischen Nachfragesituation (in der Regel nachts) oder in einer dynamischen Nachfragesituation stattfinden. Im vorliegenden Fall kommt es zu einer Vermischung der beiden archetypischen Fälle und verlangt, dass die Optimierung, wie bereits in Kapitel 5.1.1 erwähnt, mit dem Erscheinen und Verschwinden von Fahrzeugen mit Akku-Tausch-Bedarf umgehen können muss. Aus prozessualer Sicht muss dabei berücksichtigt werden, dass sich die Situation nicht abrupt für den Akku-Tauscher ändern darf. Dazu muss sichergestellt werden, dass die Akku-Tauscher ihre operativen Prozesse effizient durchführen und sich auf die bereitgestellten Informationen verlassen können. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Um die vorherige Herausforderung zu beherrschen, ist eine kurze Rechenzeit des Optimierungsmodells zwingen notwendig. Die Situation kann sich während laufender Versorgungsfahrten regelmäßig ändern und für eine neue veränderte Situation muss auch zeitnah eine neue Lösung gefunden werden. Das zugrundeliegende Optimierungsproblem weist jedoch Eigenschaften auf, welche die Berechnung eines globalen Optimums zeitaufwendig machen. Dementsprechend müssen Heuristiken verwendet werden, welche die schnelle Optimierung ermöglichen. Folglich ist davon auszugehen, dass das globale Optimum nicht in jedem Fall gefunden wird, während die Lösung jedoch im Prozess anwendbar wird. Die Rechenzeit muss ebenso für die Standzeitvorhersagemodelle für die nutzerbasierte Relokalisierung möglichst schnell erfolgen. Jedoch weist die Art der Modellierung und die Eigenschaften des Problems nicht darauf hin, dass ein zeitaufwendiger Rechenaufwand entsteht.

5.1.3 Kunden und Anreize

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf Kernpunkte der Prozessanalyse, die sich aus den gesammelten Erkenntnissen zu Kunden und Anreizen aus den Mechanismen der Sharing-Economy und den wissenschaftlichen Studien zur Relokalisierung und zu Versorgungsfahrten als untersuchungsrelevant ergeben haben. Betrachtet werden die folgenden Aspekte: (1) Vertrauen, (2) Diebstahl und Vandalismus, (3) der Einfluss von Informationstechnologien, (4) Gründe der Nutzung, (5) Zielorte der Kunden, (6) die Abfrage des Zielorts bei den Kunden, (7) die Ablehnung von Mieten, (8) die gemeinsame Miete durch mehrere Kunden, (9) die Verschlechterung der Fahrzeugverteilung als Folge von Anreizen, und (10) das Ausbleiben an Reaktionen auf Anreize.

Als Geschäftsmodelle der Sharing Economy wurden zentrale Aspekte dieser bezüglich der Kunden und ihrer Anreize, das Roller-Sharing zu nutzen, betrachtet. In dem Sinne wird in erster Linie der Aspekt des Vertrauens relevant. Im Roller-Sharing wird der Zugang zum Eigentum mit den Kunden geteilt. Der Sharing-Anbieter gibt schlüsselfertigen Zugang zum Eigentum – in diesem Fall konkret zum Elektro-Roller – und vertraut darauf, dass sich Kunden mit diesen Rollern so verhalten, dass Verkehrsregeln

Umsetzung des Vorhabens

eingehalten werden, die Roller nicht beschädigt werden und eine Kompensation für den Zugang zum Eigentum erfolgt. Jedoch handelt es sich hierbei, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, lediglich um Pseudo-Vertrauen. Die Kunden sind dem Sharing-Anbieter bekannt und der Anbieter kann nachvollziehen, welcher Kunde einen Roller wann gemietet hat. Zu weitere Kontrollmechanismen zählt, dass die Kunden sich registrieren und innerhalb des Prozesses nachweisen müssen, dass sie anhand eines gültigen Führerscheines berechtigt sind, die Roller zu fahren. Außerdem müssen die Kunden Zahlungsdaten hinterlegen. Kommt es zu Schäden an den Rollern, welche vom Kunden verursacht wurden, müssen sie sich teilweise an den Reparaturkosten beteiligen. Damit sind die üblichen Eigenschaften von kommerziellen Sharing-Geschäftsmodellen abgedeckt. Diese Maßnahmen sind aber auch notwendig, um das Vertrauen der Kunden in den Sharing-Dienst zu stützen. Denn die Kunden gehen davon aus, dass die Roller zum Mietzeitpunkt fahrtüchtig sind. Für das Vorhaben ist somit relevant, dass eine nutzerbasierte Relokalisierung nur von Nutzern vorgenommen werden kann, zu denen dieses Pseudo-Vertrauen besteht.

Eine Erweiterung des Aspekts des Vertrauens stellen Diebstahl und Vandalismus dar, welche entsprechend der zuvor vorgestellten Literatur einem Sharing-Anbieter erheblichen Schaden zuführen können. Der Sharing-Anbieter vertraut darauf, dass Nutzer keinen Diebstahl an den Rollern begehen oder ihn mutwillig beschädigen. Der Sharing-Anbieter vertraut aber ebenso darauf, dass dies nicht passiert, während der Roller ohne eine aktive Miete auf der Straße steht. Jedoch kommen Diebstahl und Vandalismus vor und beeinflussen das Mobilitäts-Sharing negativ. Die Beweggründe dafür sind vielfältig und sollen hier nicht weiter betrachtet werden. Zu unterscheiden ist, dass diese beiden Handlungen Straftatbestände darstellen, die dementsprechend behördlich verfolgt werden. Als Teil des Sicherheits-Checks während einer Versorgungsfahrt werden die Punkte prozessual relevant und können einzelne Versorgungsfahrten verlängern. Für die Akku-Tausch-Optimierung bedeutet dies, dass die Neuberechnung Ereignis-basiert (z.B. nach Abschluss einer Versorgungsfahrt) durchgeführt werden müssen und keine statischen Zeitintervalle genutzt werden können.

Ein zweiter wichtiger Aspekt der Sharing-Economy sind die Informationstechnologien, die hier eine besondere Relevanz finden. Im Speziellen können die Kunden eine mobile App nutzen, um den Mietprozess durchzuführen. Dies ermöglicht maßgeblich die Anwendung des Geschäftsmodells in einer für die Kunden komfortablen Form. Auf der anderen Seite führt dies zu der oben beschriebenen Dynamik in den Versorgungsfahrten. Bezüglich der Anreize ermöglicht der Einsatz dieser modernen Informationstechnologie aber insbesondere in diesem Forschungsvorhaben, dass den Kunden zu jeder Zeit und in Echtzeit Anreize gesetzt werden können. Die Anreize können somit auch in Abhängigkeit der aktuellen Situation und reaktiv auf Veränderungen gesetzt werden, wodurch die Informationstechnologien einen entscheidenden Beitrag zur Flexibilität im Einsatz von Anreizen bieten.

Ein zusätzlicher Aspekt, der im Rahmen der Sharing-Economy von Bedeutung ist, sind die Gründe der Nutzung. Als Vorreiter der Elektromobilität kann ein kollektivistischer Grund der Kunden hinter der Nutzung des Elektro-Roller-Sharings die geringere Umweltbelastung bei der Mobilität sein. Ein individualistischer Grund ist beim Roller-Sharing bekanntermaßen der Spaß am Fahren, der die Nutzer nachvollziehbar zur – auch regelmäßigen – Nutzung von Roller-Sharing motiviert. Bei der Anwendung von nutzerbasierter Relokalisierung können diese Beweggründe einbezogen werden und dazu

Umsetzung des Vorhabens

verwendet werden, die Anreize für die Kunden noch attraktiver zu gestalten. In diesem Sinne verbirgt sich hinter der Relokalisierung sogar ein eigener kollektivistischer Gedanke, da ein Nutzer durch die Relokalisierung den Zugang zum Mobilitätsangebot verbessert. Sehr gezielt an kollektivistische oder individualistische Gründe der Nutzung der Kunden zu appellieren, stellt aber auch einen durchaus riskanten Weg dar, der zu einem Rückschlag werden kann, wenn die nicht angesprochenen Kunden die Art und den Inhalt der Kommunikation kritisch betrachten. Daher wurde dieser Weg im Projekt nicht weiterverfolgt.

In den folgenden Absätzen sollen Aspekte aus den Forschungen zur Relokalisierung betrachtet werden, die bezogen auf Anreize für die Kunden in diesem Forschungsvorhaben besondere Relevanz finden. Zunächst ist hervorzuheben, dass Kunden ein explizites Reiseziel haben, dass sie in der Regel möglichst effizient erreichen möchten. Die Kunden von ihren Zielen abzubringen und umzuleiten, wie es in der Literatur grundsätzlich wiederholt als nutzerbasierte Relokalisierungsstrategie vorgestellt wurde, stellt daher auch die Einschränkung des Komforts der Kunden dar. Der Komfort des Kunden hat jedoch eine sehr hohe Priorität. Dabei kann gerade diese Einschränkung dieser Bequemlichkeit dazu beitragen, dass der Sharing-Dienst weniger genutzt wird und der gesellschaftliche Nutzen aus der Relokalisierung kehrt sich um. Denn die Relokalisierung zielt auf höhere Verfügbarkeit und größere Auswahl in der Wahl der Modalität der Mobilität ab, würde aber dann das Gegenteil bewirken. Die wissenschaftliche Betrachtung scheint in diesen Fällen den in der ökonomischen Literatur als „rationalen Spieler“ bezeichneten Nutzer im Sinn zu haben. Wie alle anderen Nutzer erhält der rationale Spieler einen Mehrwert aus dem gesetzten Anreiz – den abstrakten positiven Nutzen. Ebenso erfahren alle Nutzer die Einbuße aus dem verschobenen Zielort – den abstrakten negativen Nutzen. Der rationale Spieler bewertet zum Zeitpunkt vor der Relokalisierung und nach der Relokalisierung den erhaltenen Nutzen gleich und konsistent. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass Kunden vor der Relokalisierung und somit vor der Erfahrung des eingeschränkten Komforts den Nutzen in Angesicht des Anreizes überschätzen und die Einbuße aus dem eingeschränkten Komfort unterschätzen. Nach der Erfahrung des eingeschränkten Komforts und mit geringerem Bezug zum Anreiz selbst, könnten sie dagegen den tatsächlichen Verlust als deutlich höher empfinden und den resultierenden Gesamtnutzen als deutlich geringer für sich bewerten. Dieser (nicht durchweg rational und konsistent handelnde) „Spieler“ hätte dann letztendlich eine negative Erfahrung mit dem Sharing-Dienst. Für das Projekt wurde daher vorgesehen, den Kunden keine Änderung des Ziels vorzuschlagen.

In diesem Zusammenhang wurde auch die Befragung nach dem Zielort bei den Kunden im Forschungsvorhaben als nicht weiter relevant für die Relokalisierung empfunden. Das FFSS impliziert für den Kunden Flexibilität und Unabhängigkeit in der individuellen Mobilität. Eine Abfrage des Ziels drückt jedoch genau das Gegenteil aus und führt in großen Teilen vermutlich zu fehlendem Verständnis seitens der Kunden, was vermieden werden sollte. Zusätzlich schränkt die Zielabfrage die Nutzerfreundlichkeit ein, da die Kunden zunächst den Zielort auf der Karte suchen, auswählen und bestätigen müssen. Dies kostet Zeit und hält sie davon ab, ihren Mobilitätsbedarf unkompliziert zu decken. Wird bedacht, dass ein Großteil dieser Eingaben durch Kunden für die Relokalisierung bedeutungslos wären, spricht dies in einem auf Nutzerfreundlichkeit und Einfachheit ausgelegtem Geschäftsmodell gegen den Einsatz einer solchen Abfrage.

Umsetzung des Vorhabens

Mit der gleichen Argumentation entfällt für das vorliegende Geschäftsmodell ebenso die in der Literatur benannte Strategie zur Ablehnung von Mieten (siehe 3.2.1.1). Umgesetzt werden könnte dies indem der Zielort der Kunden vor Fahrtantritt abgefragt wird und Fahrten, die das Ungleichgewicht im Netzwerk erhöhen, von Betreiberseite beendet werden. Da für einen solchen Fall das Ziel abgefragt werden müsste, das jedoch nicht abgefragt wird, ist die vorgeschlagene Relokalisierungsstrategie dementsprechend nicht mehr anwendbar. Darüber hinaus besteht jedoch das Ziel darin, den Kunden Mobilitäts-Angebote zu machen. Eine Ablehnung von Mieten steht dem bereits im Grundgedanken gegensätzlich gegenüber. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass der Wettbewerb und die Einfachheit des Zugangs zu alternativen Sharing-Diensten ohne Mietablehnung bewirken, dass Kunden, deren Miete abgelehnt wurden, den Mobilitäts-Sharing-Anbieter wechseln. Insbesondere die Argumentation gegenüber dem Kunden fällt hierbei schwer. In öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bussen und Bahnen kann die Ablehnung aufgrund der Kapazität erfolgen, was für Kunden tendenziell nachvollziehbar wäre. Ist aber offensichtlich Kapazität für den Kunden vorhanden und der Kunde wird aufgrund des gewählten Zielorts abgelehnt, der sonst die allgemeinen Anforderungen an das Geschäftsgebiet erfüllt, so ist nicht mit Nachvollziehbarkeit von Seiten der Kunden zu rechnen.

Eine weitere in der Literatur vorgeschlagene und für das Projekt geprüfte Strategie ist die gemeinsame Nutzung von Fahrten durch zwei verschiedenen Kunden. Auch diese Strategie entfällt aufgrund der fehlenden Abfrage des Ziels. Des Weiteren stellt sich die Frage, wie häufig eine derartige Situation auftritt und entsprechend ausgenutzt werden könnte. Immerhin müssten zwei Kunden zeitlich und räumlich sehr nah beieinander zum gleichen Ort wollen. Da die Kapazität der Roller zudem auf einen Mitfahrer begrenzt ist, dürften beide Kunden keinen Mitfahrer haben. Generell sind technisch Möglichkeiten denkbar, um zwei Reservierungen abzuspannen. Beispielsweise könnten Kunden auf bestehende Reservierungen, die noch nicht konvertiert sind, eine Mitfahrt anfragen. Dies würde jedoch eine maßgebliche Veränderung der mobilen App verlangen sowie einen gewissen Einschnitt in die Privatsphäre der Kunden bedeuten. Zusätzlich müsste ein System geschaffen werden, das den mitfahrenden Kunden in den Fahrstil des steuernden Kunden vertrauen lässt. Letztendlich ergeben sich hier viele offene Fragen, wodurch dieser Ansatz für die Relokalisierung nicht weiter betrachtet wurde.

Nachdem auf die Aspekte der Forschung eingegangen wurde, welche die Anreizsysteme beschreiben, müssen weitere Aspekte aufgegriffen werden, welche aus den Anreizen hervorgehen. In der betrachteten Literatur wurde wiederholt die Warnung geäußert, dass nutzerbasierte Relokalisierungsstrategien durch Anreize ohne vorherige Abfrage des Ziels auch zu einer weiteren Verschlechterung der Fahrzeugverteilung führen können. Dies tritt ein, wenn Kunden die Roller erneut in Gebiete mit geringer Nachfrage abstellen. Dieses Risiko ist für das vorliegende Forschungsvorhaben als realistisch einzuschätzen, wird jedoch nicht als Abbruchkriterium für das Forschungsvorhaben wahrgenommen. Durch die Analyse des Nutzungsverhaltens kann dieses Risiko abgeschätzt und eingedämmt werden, indem es in die Modellierung des Relokalisierungsmodells mit aufgenommen wird.

Eine weitere in der Literatur betrachtete Folge ist das Ausbleiben einer Reaktion jeglicher Kunden auf einen Anreiz. Dieses Ereignis ist sogar häufig zu erwarten, da die Roller gerade dann mit einem Anreiz versehen werden, wenn die zu erwartende Nachfrage in einem Gebiet sowieso gering ist. Dies ist insbesondere in der Bewertung der Relokalisierungsmodelle berücksichtigt worden. Darüber hinaus

Umsetzung des Vorhabens

wurde das Kaskadieren von nutzerbasierter zu betreiberbasierter Relokalisierung nach Ausbleiben einer Reaktion auf den Anreiz für den Kunden in der Literatur auch als eine Strategie beschrieben. Tatsächlich stellt dies jedoch vielmehr die Rückfallposition für den Fall dar, dass die nutzerbasierte Strategie nicht den gewünschten Erfolg hat. Die Strategie ergibt sich vielmehr aus Modellierungskomponenten, die nach fehlender Reaktion auf einen Anreiz über einen spezifischen Zeitraum abschätzen, ob ein weiterer Anreiz basierend auf der neuen Situation gesetzt oder eine Alternative ergriffen werden sollte. Dementsprechend wurde das Projekt darauf ausgelegt, dass eine erneute Anwendung eines Anreizes in hoher Frequenz wiederholt wird.

5.1.4 Nutzung

Die Analyse des Nutzungsverhaltens wird in Kapitel 5.2.1.1 ausführlich dargestellt. Im Rahmen der Prozessanalyse wurden jedoch bereits Erkenntnisse zum Nutzungsverhalten gesammelt, die sich aus Anregungen in der wissenschaftlichen Literatur ergeben haben oder in internen Workshops aufgenommen wurden. Resultierend daraus werden in diesem Abschnitt folgende Aspekte betrachtet: (1) übergeordnete Muster des Nutzungsverhaltens, (2) untergeordnete Muster des Nutzungsverhaltens, (3) die rollierende Veränderung dieser Muster, (4) der ÖPNV-Einfluss, (5) Abstellorte und Ansammlungen von Fahrzeugen, (6) der Muster-Störfaktor der Marktveränderung, und (7) Rückkopplung der Modelle auf das Nutzungsverhalten.

Wie zu erwarten war und in der Literatur regelmäßig angemerkt wurde, sind innerhalb des Geschäftsgebiets gegensätzliche Nutzungsverhalten zu erkennen. Dabei gibt es Zonen, in denen vorrangig Mieten starten und zu denen somit regelmäßig Roller relokalisiert werden können. Genauso gibt es Zonen, in denen Mieten vorrangig enden und aus denen Roller regelmäßig heraus relokalisiert werden können. Grundsätzlich ist dieses Pendlerverhalten nicht das maßgebliche Merkmal der Nutzung. Deutlich klarer ist zu erkennen, dass das vorliegende Geschäftsgebiet in „Hot Spots“ und „Cold Spots“ aufgeteilt werden kann. Die „Hot Spots“ sehen dabei nicht notwendigerweise ein Missverhältnis bezüglich startender und endender Mieten, denn Roller werden in diesen Zonen in einer hohen Frequenz sowohl abgestellt als auch wieder gemietet. Im Vergleich dazu gibt es Zonen, in denen nur in seltenen Fällen eine Miete endet. Die Roller, die dadurch an diesen Zonen stehen bleiben, werden folgend auch erst nach einer langen Standzeit wieder genutzt. Dieser Aspekt ist entscheidend für die Modellierung der Relokalisierung sowie der Akku-Tausch-Optimierung. Grundsätzlich sind die erfassten Muster derart geschäftsrelevant, dass sie in Dashboards zur genauen Beobachtung zur Verfügung gestellt wurden.

Neben den Makro-Mustern der „Hot Spots“ / „Cold Spots“ kommt es zudem zu untertägigen Mikro-Mustern. Wie in Kapitel 5.2.2 dargestellt wird, ändert sich das Nutzungsverhalten deutlich über den Verlauf eines Tages. Außerdem unterscheiden sich die Tageslinien nochmals deutlich an verschiedenen Wochentagen. Eine pauschalisierte Relokalisierung von einem „Cold Spot“ zu einem beliebigen „Hot Spot“ wird mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass der relokalisierte Roller schneller wieder gemietet wird. Jedoch können die unterschiedlichen Tageslinien den entscheidenden Unterschied ausmachen, wie schnell der relokalisierte Roller wieder gemietet wird und wie schnell somit Mobilitätsbedarfe durch den Roller gedeckt werden können. Obgleich dies vor allem für die betreiberbasierte Relokalisierung Bedeutung findet, wurden diese Aspekte in der Modellierung für die

Umsetzung des Vorhabens

Relokalisierungsmodelle berücksichtigt. Für die Versorgungsfahrten sind diese Erkenntnisse, wie oben beschrieben, ebenso höchst relevant.

Eine weitere zu bestätigende Erkenntnis zu diesen Mustern im Nutzungsverhalten, die jedoch nur selten von der Literatur aufgegriffen wurde, ist die rollierende Veränderung der Nutzung. Innerhalb des Nutzungsverhaltens gibt es stabile Verhaltenskomponenten, die sich nahezu kaum über die Zeit ändern. Ebenso kommt es aber auch stetig zu Wandel in der Nutzung, sodass Modelle der Vorhersage auch stets an diesen angepasst werden müssen. Selbstverständlich ist es dementsprechend nicht sinnvoll, die Gesamthistorie aller Reservierungen zur Modellierung zu nutzen. Auf der anderen Seite kann die genutzte Historie nicht beliebig kurz sein, da sonst keine Verhaltensmuster erkennbar werden. Insbesondere die datenintensiven Methoden der Künstlichen Intelligenz geben hier eine Mindestmenge an Daten vor, die in die Modelle eingespeist werden müssen. Hierbei ist hervorzuheben, dass durch ein rollierendes Anpassen der Modelle eine leichte Veränderung der Verhaltensmuster kompensiert werden kann. Eine schockartige Veränderung der Verhaltensmuster kann dagegen auf diese Art nicht ausgeglichen werden und führt lediglich zu Modellen mit schlechter Genauigkeit, da Muster nicht mehr zu extrahieren sind. Beispielsweise hatte die Corona-Krise starke Auswirkung auf die Nutzung im Geschäftsgebiet und hat die Modellierung an dieser Stelle zu einem Halt gebracht. Grundsätzlich hatte die Erkenntnis über die Wandelbarkeit der Muster jedoch zur Folge, dass der Prozess im Backend des Systems so gestaltet werden musste, dass eine rollierende Veränderung der Modelle erlaubt wird oder sogar selbstständig durchgeführt werden kann.

Ein weiterer Untersuchungsansatz war des Weiteren der Einfluss des ÖPNV auf das Nutzungsverhalten. Mit einem sehr dicht ausgebauten ÖPNV-Angebot im Geschäftsgebiet stellt das Sharing-Angebot ein Substitut für die individuelle Mobilität dar. Folglich wäre davon auszugehen, dass Ausfälle des ÖPNV-Systems zu einer erhöhten Nachfrage führen würden. Jedoch konnten dafür nur vereinzelte Ereignisse betrachtet werden, da die Daten zu derartigen ÖPNV-Ausfällen nur schwer zugänglich sind. Auch eine dritte Nachfragespitze zu Betriebsschluss der U-Bahn unter der Woche konnte in den Daten nicht beobachtet werden. Es ist unklar, ob das an der Etablierung des Sharing-Dienstes liegt, da die Kunden im Geschäftsgebiet sich eventuell über einen langen Zeitraum an den Betriebsschluss angepasst haben und eben vor diesem ihre Aktivitäten beenden. Entsprechend müsste diese Untersuchung in den kommenden Jahren wiederholt werden. Zuletzt gibt es gerade an den Rändern des Geschäftsgebiets auch geringere Dichte, was den Zugang zum ÖPNV angeht, und so lassen gerade das U-Bahn- und S-Bahn-Netz deutliche Lücken offen. Jedoch konnte auch hier kein deutlicher Unterschied zwischen den Zonen gemessen werden.

In der Literatur zu stationsbasierten Sharing-Diensten wird zudem unter der Nachfrage und folglich unter dem Nutzungsverhalten immer wieder auch das Abstellen von Fahrzeugen berücksichtigt. Für das Abstellen muss ein entsprechender Parkplatz an einer Station vorhanden sein. Finden Kunden keinen Parkplatz an den Wunschstationen, so müssen sie sich Alternativen suchen und verteilen die Fahrzeuge dann über eine größere Zone. In einem FFSS gibt es die Notwendigkeit nach einem vordefinierten Parkplatz nur bedingt – es müssen weiterhin Regeln der Straßenverkehrsordnung eingehalten werden. Das ist ein Vorteil für die Nutzer, die dementsprechend nicht die nächste Station aufsuchen müssen. Soweit wird dies auch in der Literatur berücksichtigt. Dagegen wird in der Regel jedoch die in der Prozessanalyse beobachtete Problematik der nicht-kapazitiven Ansammlung von

Umsetzung des Vorhabens

Fahrzeugen an einem Ort nicht diskutiert. Durch das Fehlen von Stationen mit fixen Plätzen, können Fahrzeuge nahezu unbegrenzt in eine Zone fließen und dort dementsprechend stecken bleiben. Neben diesem Extremfall ist jedoch die Möglichkeit kleinerer Ansammlungen vielmehr zu berücksichtigen, wodurch Kunden eine größere Auswahl für ihren Mobilitätsbedarf haben, aber dabei nur ein Fahrzeug nutzen können. Entsprechend wurde in der Modellierung der Relokalisierung berücksichtigt, wie viele Fahrzeuge sich in der unmittelbaren Nähe befinden.

Entsprechend der Erkenntnisse der Prozessanalyse gibt es jedoch in der praktischen Anwendung von Vorhersagemodellen und resultierender Entscheidungen im Mobilitäts-Sharing auch Effekte, die in der Forschung nicht bedacht wurden. Ein grundsätzlicher Störfaktor für jegliche Art von Nutzungsverhaltensanalysen, egal ob für den Zweck der Vorhersage oder des Verständnisses, ist das Wachstum der Sharing-Dienste. Dieses Wachstum hängt dabei einerseits davon ab, dass die Sharing-Dienste entsprechendes Marketing zur Kundengewinnung und Werbung von Kunden des Wettbewerbs betreiben. Andererseits etabliert sich das Mobilitäts-Sharing zunehmend und das führt dazu, dass sich stetig neue Kundengruppen mit dem Angebot auseinandersetzen. Wie zuvor beschrieben ändert sich das Nutzungsverhalten in Abhängigkeit zur Kundenbasis stetig. Dies geschieht jedoch über die Veränderung von den gewählten Aktivitäten der Kunden oder ähnlichem hinaus aufgrund der Veränderung des Marktes. Dies beeinflusst erneut die Modellierung der Relokalisierung in der Form, dass die Modelle stetig erneuert werden müssen, jedoch in einem geringeren Maße als die vorherigen Punkte.

Ein letzter Aspekt zum Nutzungsverhalten, der überraschenderweise keine Beachtung in der Forschung findet, ist der Einfluss der Modelle zurück auf das Nutzungsverhalten. Werden Anreize gesetzt und es kommt durch den Anreiz zu höherer Nutzung in einem Gebiet, so hat die Anwendung des Modells das Nutzungsverhalten in diesem Gebiet verändert. Diese Veränderung kann langfristig sein, weil nun mehr Kunden auf das Angebot aufmerksam geworden sind. Diese Veränderung kann jedoch auch rein von dem Modell induziert sein und sich sofort zurück entwickeln, wenn das Modell nach Aktualisierung der Muster höhere Nachfrage erwartet und daher keine Anreize setzt. Die Aktualisierung der Muster ist dabei aufgrund der rollierenden Veränderung zu erwarten. Ob und wie dies entsprechend in der Gestaltung der Modelle und der rollierenden Erneuerung der Modelle berücksichtigt werden muss, kann erst nach der Implementierung und Aktivierung der Modelle evaluiert werden. Vielmehr verlangt dies klare Strukturen und Datenerhebungen, um das Auftreten dieser Einflüsse zu überwachen.

5.1.5 Externe Einflüsse

Das Auftreten externer Einflüsse, die das Nutzungsverhalten verzerren, ist nicht überraschend. Die betrachteten Forschungsstudien haben hierbei in Summe eine Vielzahl an Einflüssen zusammengetragen, die sich mit den Erfahrungen der Mitarbeiter decken. Interessant zu beobachten war jedoch, dass keine Studie auf alle teilweise sehr offensichtlichen Einflüsse eingegangen ist. Wie bereits oben erwähnt, ist die Kenntnis über existierende externe Einflüsse nicht gleichzusetzen mit der Einbeziehung dieser Einflüsse in eine eventuelle Modellierung, da dies die Verfügbarkeit der Daten über die besagten externen Einflüsse zum Zeitpunkt der Modellberechnung verlangt. Der Einfluss des ÖPNV wurde bereits oben betrachtet, da es sich hierbei um ein Substitut des Angebots handelt. In diesem Abschnitt werden weitere externe Effekte betrachtet: (1) Witterungsbedingungen, (2) „Points of Interests“, (3) Veranstaltungen, (4) Demographie, und (5) Parkplätze.

Umsetzung des Vorhabens

Vor allen anderen relevanten externen Einflüssen steht eindeutig das Wetter bzw. die Witterungsbedingungen. Die Witterungsbedingungen werden in einer Vielzahl von Parametern gemessen wie beispielsweise die Temperatur, der Niederschlag, die Windgeschwindigkeit oder der Bewölkungsgrad. Diese Bedingungen liegen in der Regel in kardinalen Skalen vor, die sich auf durch Sensoren gemessene physikalische Größen beziehen. Ebenso gibt es jedoch auch ordinale Skalen, die den Effekt des Wetters qualitativ bewerten und dabei bereits die Interaktion der Faktoren berücksichtigen. Zusätzlich können künstliche Parameter aufgestellt werden, wie der Unterschied (z.B. der Temperatur) zum vorherigen Zeitraum, der Unterschied zum Mittelwert in den vorherigen Jahren oder die gefühlte Temperatur. Ferner können Parameter wie Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeit in diese Kategorie gezählt werden. Die Berücksichtigung dieser Einflüsse ist einfach, da sich ein ganzes Forschungsgebiet – die Meteorologie – mit der Vorhersage der Parameter beschäftigt. Diese Vorhersagen können folglich zum Bewertungszeitpunkt des Modells genutzt werden. Berücksichtigt wurden Witterungsfaktoren in der Modellierung der Relokalisierung.

Da Mobilität in der Regel mit der Überwindung einer Distanz zu einem Zielort verbunden ist, kann als weiterer externer Einfluss der Grund für die Mobilität berücksichtigt werden. In der statischen Form können daher sogenannte „Points of Interest“ (POI) verwendet werden, um den Mobilitätsgrund zu implizieren. Enden Mieten an Parkanlagen, deutet dies darauf hin, dass die Kunden diesen zur Erholung angepeilt haben. Enden Mieten in Zonen mit vielen Einkaufsmöglichkeiten, dann ist es sehr wahrscheinlich, dass der Grund für die Mobilität im Erwerb von Gütern liegt. Ein weiteres auffälliges Muster sind Fahrten zu Orten mit einer hohen Dichte an Restaurants und Bars, die mit hoher Wahrscheinlichkeit für den Verzehr von Speisen und Getränken angefahren wurden. In der Modellierung dienen diese Einflüsse dazu, Zonen und das Nutzungsverhalten in ihnen besser abzugrenzen bzw. Gemeinsamkeiten festzustellen. Die Nutzung von POI wird im vorliegenden Fall dadurch unterstützt, dass das Geschäftsgebiet polyzentrisch ist. Folglich gibt es auch mehrere ähnlich zusammengesetzte Zonen, die sich an unterschiedlichen Orten befinden und eine bessere Abgrenzung der Zonen erlaubt. Die Nutzung von POI wird jedoch in solchen Mischgebieten schwierig, welche die Aussagekraft der Parameter einschränken. Da sich diese POI jedoch nur selten ändern, kann bei der Modellberechnung davon ausgegangen werden, dass auch eine mehrere Monate alte Beschreibung der Zone noch gültig ist, sodass neue POI Daten nur unregelmäßig und nach längerer Zeit aktualisiert werden müssen.

Der Grund der Mobilität und der entsprechende Zielort kann jedoch auch dynamisch sein. Insbesondere kommt es zu wechselnden Veranstaltungen, die verschiedene Zielgruppen anziehen, mit unterschiedlichen Größen der Teilnehmerzahl. Über das Stattfinden von Veranstaltungen sind Datenquellen verfügbar und da Veranstaltungen oft lange im Voraus geplant sind, können diese Daten auch zum Modellberechnungszeitpunkt theoretisch genutzt werden. Eine Herausforderung stellt jedoch die Kategorisierung von Veranstaltungen dar. Die Kategorisierung muss derart gestaltet sein, dass ein Rückschluss auf die Nutzergruppe möglich ist und es noch sinnvoll in der Modellierung berücksichtigt werden kann. Zudem sind Veranstaltungszahlen in der Regel nicht bekannt. Selbst wenn Veranstaltungszahlen im Nachhinein bekannt gegeben werden und dementsprechend für einen Trainingsdatensatz zur Verfügung stehen, so unterliegt die Teilnehmerzahl vieler Einflüsse einschließlich dem Marketing der Veranstaltung und anderer hier ebenso berücksichtigter externer

Umsetzung des Vorhabens

Einflüsse. Dies allein könnte ein eigenes Forschungsprojekt füllen. Folglich unterliegt eine vorherige Abschätzung großen Unsicherheiten und die Verwendung derartiger Daten wäre teilweise redundant und teilweise schwerlich möglich. Die Rückfallposition, ob eine Veranstaltung stattfindet, bietet in der Modellierung den größten, am einfachsten umsetzbaren Mehrwert.

Ein weiterer externer Einfluss, der sich auf die Zielgruppen bezieht, sind demographische Daten. Diese Daten geben darüber Auskunft, welche Nutzergruppe wo ansässig sein könnte. Damit haben sie einen entscheidenden Vorhersagecharakter über eventuelle weitere Kunden bzw. stärker frequentierte Orte, die selbst keine POI sind. Daten zur Demographie sind jedoch in der Regel aufgrund von Datenschutz nicht hoch aufgelöst. Dieser Schutz der Privatsphäre der Bürger wird selbstverständlich auch im vorliegenden Projekt beachtet, weshalb die schwach aufgelösten und anonymisierten Daten Anwendung gefunden haben. Hierbei ist ebenso zu berücksichtigen, dass diese Daten über den Zensus erhoben werden, der mit mehrjährigem Abstand durchgeführt wird. Folglich ist davon auszugehen, dass die Daten zum Modellbewertungszeitpunkt sowie auch bereits zum Trainingszeitpunkt veraltet sind. Diese externen Einflüsse wurden in der Modellierung der Relokalisierung berücksichtigt.

Als letzter externer Einfluss wurde in der Literatur des Car-Sharing mehrfach die Parkplatzsituation betrachtet. Dieser Einfluss ist ebenso nur schwer erfassbar, kann jedoch auf die Nutzung von Mobilitäts-Sharing-Diensten einen großen Einfluss haben. Insbesondere die fehlende Parkplatzverfügbarkeit für Autos und die damit ausgiebige Parkplatzsuche, welche die Dauer von Mieten verlängern kann und damit die Kosten einer Miete nochmals erhöht, kann das Nutzungserlebnis der Kunden negativ beeinflussen. Im Roller-Sharing hat dies jedoch kaum Einflüsse, da Roller zwar eingeschränkte Abstellmöglichkeiten haben, aber deutlich weniger Platz in Anspruch nehmen und nicht auf ausgewiesenen Parkplätzen abgestellt werden müssen. Daher wurden Daten über das Vorhandensein von Parkplätzen oder deren Verfügbarkeit bzw. Nutzungszeiten nicht für das Projekt in Betracht gezogen. Da dazu auch nahezu keine Daten vorhanden sind, erleichtert dies die Datenbeschaffung im Projekt enorm.

5.2 Relokalisierung

Die nutzerbasierte Relokalisierung stellt den ersten primären Schwerpunkt des Forschungsvorhabens dar. Sie baut auf einer umfassenden Erhebung interner Daten, Beschaffung externer Daten und Analyse dieser Daten in Interaktion miteinander auf. Entsprechend wird in diesem Unterkapitel ein deutlicher Fokus auf diese Datenquellen gelegt. Von zentraler Bedeutung bei den Analysen ist die Analyse des Nutzerverhaltens, da diese Analyse die Handlungsmöglichkeiten und Handlungsnotwendigkeiten innerhalb der nutzerbasierten Relokalisierung sichtbar macht. Die Analyse des Nutzerverhaltens bildet daher den zweiten Teilbereich des Unterkapitels. Zuletzt wird die Anreizsetzung durch Standzeitvorhersagen betrachtet, welche auf der Analyse des Nutzerverhaltens aufbaut. Neben dem Vorgehen selbst liegt der Fokus in der Betrachtung auf der Komplexität und den Herausforderungen des Vorgehens.

5.2.1 Datenquellen

Jegliches datenanalytische Projekt steht und fällt mit den zur Verfügung stehenden Daten. In einer klassischen Betrachtung ist im analytischen Sinne zwischen abhängigen Variablen und den erklärenden Variablen zu unterscheiden. Im vorliegenden Fall der Standzeitvorhersage für die Relokalisierung

Umsetzung des Vorhabens

ergibt sich die abhängige Variable aus den Nutzungsdaten. Um realistische Aussagen über den Einfluss von erklärenden Variablen auf die abhängige Variable zu tätigen, ist die Genauigkeit und Richtigkeit der abhängigen Variable essenziell. Für die Untersuchung von Einflüssen und zur Steigerung der Genauigkeit von daraus resultierenden Vorhersagen werden in der Regel heutzutage mehrere erklärende Variablen verwendet. Im vorliegenden Forschungsvorhaben sind dies beispielsweise die im Abschnitt betrachteten Daten zu Demographie, POIs, LORs und Witterungsbedingungen. Zum Zweck der Vorhersage ist es unabdingbar, dass derartige Daten zu dem Zeitpunkt der zu tätigen Vorhersage zur Verfügung stehen. Zuletzt muss erwähnt werden, dass es Einflüsse gibt, von denen ein hoher Grad an Verhaltensklärung der abhängigen Variable zu erwarten ist, zu denen jedoch keinen nutzbaren Daten zur Verfügung stehen. Dies ist im vorliegenden Forschungsvorhaben vor allem bei den Störungen der Mobilität der Fall.

5.2.1.1 Nutzungsdaten

Die Nutzungsdaten werden anhand von Kundenaktivitäten während der Bedienung der App und der Nutzung der Roller erzeugt. Die dabei erzeugten Daten sind notwendig, um Reservierungen und Mieten abzuwickeln. Des Weiteren hängen nachgelagerte Prozesse von diesen Daten ab. Insbesondere für die Fakturierung sind diese Daten essenziell, entsprechend ist deshalb eine Verbindung zu den Kunden über elektronische Prozesse vorhanden. In den Nutzungsdaten zu diesem Forschungsprojekt selbst sind jedoch über anonyme Kundennummern hinaus keine weiteren Informationen enthalten. Diese kundenbezogenen Daten beispielsweise zur Abrechnung sind für das Forschungsvorhaben nicht relevant und werden beim Datenexport ausgelassen. Eine umgekehrte Zuordnung von Nutzerdaten zu einem einzelnen Kunden ist deshalb ausgeschlossen.

Zusätzlich bestehen elektronische Verbindungen zu den genutzten Rollern. Für die tatsächliche Reservierung bzw. Miete ist diese Verbindung notwendig, um die Freischaltung dieser Roller zu ermöglichen. Außerdem werden Informationen über die Position der Roller weitergegeben. Die ermittelte Position liegt dabei als Geokoordinaten mit Längen- und Breitengrad vor. Für die Darstellung in der mobilen App wird basierend auf diesen Geokoordinaten eine Adresse bestimmt. Neben der Position ist die Zeit ein weiterer relevanter Bestandteil der Nutzungsdaten für das Forschungsvorhaben. Diese wird bei Reservierungsstart und -ende bzw. Mietstart und -ende erfasst. Zusätzlich werden Dauern aus diesen Zeiten ermittelt wie beispielsweise die Dauer einer Miete. Die für das Forschungsvorhaben relevanten Daten der Standzeiten müssen nachträglich ermittelt werden, da diese die Ereignisse zwischen verschiedenen Nutzungen abbilden. Im einfachsten Fall handelt es sich bei den Ereignissen lediglich um die Mieten selbst, sodass das zeitliche Delta zwischen diesen Mieten relevant ist. In komplizierteren Fällen, wie dem Forschungsvorhaben, gibt es störende Ereignisse dazwischen. Um das Forschungsvorhaben durchzuführen mussten entsprechende Infrastrukturen entwickelt werden, um die folgenden Schritte umzusetzen: (1) Abfragen der Daten über eine API ermöglichen, (2) die Daten automatisiert abfragen und (3) Daten in relationale Datenbank speichern. Innerhalb dieser Prozesse werden die Daten auf die für das Modell notwendigen Informationen reduziert.

5.2.1.2 Demographie

Demographische Daten sind über die statistischen Ämter der Bundesländer verfügbar. Entsprechend waren für die Pilotierung die Daten des Landesamts für Statistik Berlin-Brandenburg vorrangig

Umsetzung des Vorhabens

relevant. Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens wurden des Weiteren Daten aus den statistischen Landesämtern in Bayer, Nordrhein-Westfalen sowie Hamburg und Schleswig-Holstein bezogen. Erhoben werden die Daten von den Ämtern im Rahmen der Zensus. Für Berlin werden über diese hinaus auch Mikrozensus durchgeführt, deren Ergebnisse über Befragung von 1 % der Bevölkerung hochgerechnet werden. Die Daten werden dabei verzögert bereitgestellt, sodass während des Forschungsvorhabens die aktuellsten Daten für das Geschäftsgebiet Berlin in der Regel zwei Jahre alt waren. Verfügbar sind Daten über Altersverteilungen, Verteilung der Geschlechter, Familienstand, Staatsangehörigkeit, und Migrationshintergrund. Über diese Daten zur Person hinaus sind Informationen über Erwerbsstatus, allgemeine und berufliche Ausbildung, und Einkommen verfügbar. Die Daten werden als Anzahl an Einwohnern je Stadtteil bereitgestellt. Die daraus ableitbaren Erkenntnisse sind folglich vorrangig oberflächlicher Natur, stellen jedoch einen leichten erklärenden Faktor dar.

5.2.1.3 *Umgebung / POIs*

Die Daten zu Point-of-Interests wurden über einen Drittanbieter bezogen. Über die Erhebung dieser Daten durch den Anbieter ist dabei wenig bekannt. Im Gegensatz zu den Daten der statistischen Landesämter sind diese Daten zudem kostenpflichtig. Die Kosten skalieren mit der Anzahl an verschiedenen POIs und der Fläche, in der nach den POIs gesucht wird. Bezogen wurden beispielsweise die Positionen von Einkaufsgeschäften, Restaurants, Bars, Parks und ÖPNV-Stationen. Zu diesen POIs werden die Geokoordinaten erhalten sowie die Adresse. Bei der Verarbeitung der Daten musste entsprechend darauf geachtet werden, dass ein POI gleichzeitig verschiedenen Kategorien zugeordnet werden kann. Folglich mussten diese Kategorien parallel erfasst werden. Für die Nutzung innerhalb des Forschungsvorhabens wurden die Geopositionen der POIs so aggregiert, dass für größere Zonen Profile ermittelt werden konnten. Es wäre mit zu hohem Rechenaufwand verbunden gewesen, für einzelne Reservierungen die Anzahl an POIs je Kategorie in einem Umkreis zu ermitteln.

5.2.1.4 *Lebensweltlich Orientierte Räume*

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurde die geographische Aufteilung der Pilotregion Berlin anhand sogenannter Lebensweltlich Orientierte Räume verwendet. Diese Lebensweltlich Orientierte Räume (LOR) wurden im Jahre 2006 in enger Abstimmung zwischen den planenden Fachverwaltungen des Senats, den Bezirken und dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg basierend auf bereits vordefinierten Sozialräumen festgelegt. Dabei wurden Kriterien wie beispielsweise die Baustrukturen, große Straßen, Verkehrsstrassen und natürliche Grenzen zur geographischen Einteilung verwendet. Ziel der Definition von LORs war es, bei gleichzeitiger Abbildung von lebensweltlicher Homogenität trotz alledem Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Räumen zu gewährleisten. Die dabei definierten Polygone stehen auf der Website der Stadt Berlin als kostenloser Download in verschiedener Granularität zur Verfügung. Für das vorliegende Forschungsprojekt wurde von der kleinsten Flächeneinteilung Berlins in 447 Planungsräume Gebrauch gemacht, da diese Räume zunächst kleinteilig genug erschienen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, 2019). So konnten unterschiedliche Standzeiten im Geschäftsgebiet abgebildet und ein erster Eindruck über deren geographische Verteilung gewonnen werden. Gleichzeitig konnten die sozioökonomischen Daten, die zu den einzelnen LORs zur Verfügung stehen, mitberücksichtigt werden. Die Einteilung der Stadt in LORs ist über Berlin hinaus auch für andere Städte zu finden und kann daher bei Skalierung des

Umsetzung des Vorhabens

Projektes bis zu einem gewissen Grad verwendet werden. Die Erforschung der Vergleichbarkeit bei der Kriterienauswahl der einzelnen Städte war jedoch nicht Teil des Forschungsvorhabens und wurde außen vorgelassen.

5.2.1.5 Wetterdaten

Auch die Daten zu Witterungsbedingungen wurden über externe Anbieter bezogen. Zunächst wurden kostenfreie Daten über den Deutschen Wetterdienst bezogen. Diese Daten sind jedoch nur zeitverzögert verfügbar. Für rückblickende Auswertungen konnten die Daten dementsprechend genutzt werden. Um für die Anwendung der Modelle Vorhersagen zu machen oder auch für kurzfristig zurückliegende Auswertungen war diese Quelle jedoch nicht nutzbar. Für diese Zwecke wurde im Verlauf des Forschungsvorhabens auf einen kommerziellen Datenanbieter umgestellt, der neben den aktuellen Witterungsbedingungen auch Vorhersagen zur Verfügung stellt. Eine Herausforderung bei der Nutzung dieser Vorhersagen liegt in der Bewertung der Qualität der Vorhersagen. Nachträglich ist es nicht möglich, die Vorhersage für einen Zeitpunkt zu erhalten, die mehrere Tage alt ist. Entsprechend wurden Infrastrukturen implementiert, die auch die Wettervorhersage aufzeichnen und die nachträgliche Bewertung dieser ermöglichen.

Inhaltlich gibt es eine Vielzahl an Witterungsbedingungen, die über derartige Anbieter bezogen werden können. Neben Temperatur und Niederschlag (in verschiedensten Maßeinheiten) sind Informationen über Luftfeuchtigkeit, Windstärke, Luftdruck, Bewölkungsgrad oder Sichtbarkeit verfügbar. Darüber hinaus sind fortgeschrittenere meteorologische Informationen verfügbar wie Taupunkttemperatur oder der UV-Index. Zuletzt sind auch qualitative Bewertungen der Wettersituation verfügbar. Für die Verwendung im Forschungsvorhaben sind dabei nicht alle dieser Faktoren relevant. Dies liegt insbesondere auch daran, dass diese Variablen stark miteinander korrelieren können. Innerhalb des Vorhabens wurden daher die Variablen mit den stärksten Einflüssen ermittelt und diese Liste an Variablen anschließend mit dem Hinblick auf Multikollinearität reduziert. Besonders hervorzuheben ist auch, dass sich die Wettersituation dynamisch ändert. Dementsprechend müssen die bezogenen Daten regelmäßig aktualisiert werden, wofür ebenso die entsprechende Infrastruktur geschaffen werden musste.

5.2.1.6 Störungen in der alltäglichen Mobilität

Innerhalb des Forschungsvorhabens stellen Informationen über Störungen der alltäglichen Mobilität eine besonders wichtige Rolle dar. Das Nutzungsverhalten in einer Zone kann sich spontan sehr deutlich verändern, wenn der ÖPNV ausfällt oder eine Straße durch einen Unfall versperrt ist. Außerdem kann es zu mittelfristigen Änderungen des Mobilitätsverhaltens kommen, wenn der ÖPNV aufgrund von Modernisierungsarbeiten über Ersatzverkehre abgewickelt wird oder Straßen aufgrund von Baustellen in ihrer Kapazität eingeschränkt werden. Informationen über solche Vorfälle müssen der Bevölkerung bekanntgegeben werden, damit diese sich auf derartige Umstände einstellen kann. Jedoch erfolgt diese Bekanntgabe in der Regel nicht in maschinenlesbarer Form, sodass die Möglichkeiten der sofortigen Auswertung sehr stark eingeschränkt sind. Dies bezieht sich hierbei einerseits auf die vorhersagende Form für die Modellierung von Standzeiten oder die Einbindung in die Batterie-Tausch-App, um den Mitarbeitern entsprechende Umleitungen anzubieten oder verlängerte Wege zu berücksichtigen. Andererseits war die Analyse der Auswirkungen in der Vergangenheit ebenfalls aufgrund fehlender maschinenlesbarer Daten nicht möglich.

Umsetzung des Vorhabens

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Wege für den Datenbezug geprüft. Die im Geschäftsgebiet von emmy tätigen ÖPNV-Anbieter bieten Schnittstellen für den Datenbezug an. Darauf aufgesetzt gibt es Anbieter, die diese Schnittstellen unter einem Schirm zusammenfassen und den Datenbezug von den ÖPNV-Anbietern standardisieren. Die Nutzung einer derartigen Standardisierung würde den Aufwand des Datenbezugs deutlich reduzieren, wenn neue ÖPNV-Anbieter in weiteren Geschäftsgebieten hinzukommen. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass der Schirm-Anbieter auf die Aktualität der genutzt APIs achtet, wodurch der Instandhaltungsaufwand für ein datenbeziehendes Unternehmen reduziert wird. Im vorliegenden Fall waren über derartige Anbieter lediglich die Positionen von ÖPNV-Stationen sowie Routen und Reisezeiten zwischen diesen Stationen beziehbar. In einzelnen Fällen konnten Wege von diesen Stationen zu individuellen Adressen bezogen werden, jedoch waren keine Daten über Ausfälle der Verkehrsmittel beziehbar. Dies ist tendenziell darauf zurückzuführen, dass die ÖPNV-Anbieter selbst diese Informationen über ihre Schnittstellen nicht anbieten. Im Forschungsvorhaben mit dem Fokus auf das Geschäftsgebiet Berlin wurden insbesondere die APIs der Deutschen Bahn und der Berliner Verkehrsbetriebe geprüft und getestet. Jedoch waren über diese APIs während des Zeitraums der Projektdurchführung keine relevanten Daten zu Ausfällen verfügbar. Verkehrsmeldungen bzgl. der Sperrung von Straßen oder Unfällen werden über Verkehrsmeldungen der Berliner Polizei gesammelt und an die Bevölkerung weitergegeben. Diese Meldungen sind jedoch ebenfalls nicht in maschinenlesbarer Form vorhanden. Die Verkehrsmeldungen werden als Freitexte bereitgestellt.

Für die Freitexte der Berliner Polizei sowie die Störungsmeldungen der BVG, die im Verlauf des Forschungsvorhabens auch über den Social-Media-Dienst Twitter in Freitextform kommuniziert wurden, vermitteln prinzipiell die gesuchten Informationen. Für derartige Freitexte besteht – theoretisch – die Möglichkeit, die relevanten Informationen über textanalytische Modelle des Maschinellen Lernens zu ermitteln. Dies ginge jedoch vom damit verbundenen Aufwand her über den Umfang des Forschungsprojekt hinaus. Hier fällt insbesondere ins Gewicht, dass die Verkehrsmeldungen zwar direkt und sachlich formuliert werden, die Social-Media-Beiträge dagegen aus Gründen des Marketings auch eine unvorhersehbare persönliche Note haben. Der Datenbezug stellt eine weitere Herausforderung dar. Zwar besteht für Twitter eine Möglichkeit, die Daten über eine vorhandene Programmierschnittstelle zu beziehen, aber der Datenbezug ist mit Kosten verbunden, die dem Mehrwert im Projekt nicht entsprechend würden. Für den Bezug der Daten von der Berliner Polizei könnte die Technik des Web-Crawling verwendet werden. Da diese sich jedoch rechtlich im Graubereich befindet, wurde davon Abstand gehalten. Folglich wurde innerhalb des Forschungsvorhabens keine Möglichkeit für den zielorientierten Bezug der Daten über Störungen im ÖPNV und des Verkehrs gefunden.

5.2.2 Nutzerverhalten

Das Nutzungsverhalten der Kunden ist der wichtigste Faktor für die operativen Entscheidungen eines Sharing-Anbieters. Das raum-zeitliche Auftreten von Mobilitätsnachfrage bestimmt maßgeblich, wo Sharing-Roller angeboten werden müssten, damit die Kunden ihre Mobilitätsbedarfe decken können. Das Ende von Fahrten der Kunden bestimmt dagegen, wo sich Sharing-Roller befinden bzw. wo sich Roller nicht befinden, aber basierend auf dem beobachteten Nutzungsverhalten sein müssten. Daraus ergibt sich somit die Entscheidung, welche Relokalisierungen vorgenommen werden sollten, um den

Umsetzung des Vorhabens

Kunden den bestmöglichen Service zu bieten, indem die Verfügbarkeit am Ort der antizipierten Nachfrage stattfinden kann. Des Weiteren bestimmt das Nutzungsverhalten, an welchen Orten ein Service am Fahrzeug Priorität erhält. An Orten, an denen sich zwar Fahrzeuge befinden aber nicht einsatzbereit sind, weil beispielsweise die Batterien leer gefahren worden sind, ist somit keine Fahrzeugverfügbarkeit gewährleistet. Entsprechend können Kunden an diesen Orten trotz der sich dort befindlichen Roller ihre Mobilitätsnachfrage nicht befriedigen. Ist die zu erwartende Nachfrage an einem solchen Ort höher als an anderen Orten, so ist die Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge an diesem Ort zu bevorzugen.

Dabei ist einerseits das klassische Phänomen der unvollständigen Informationen zu berücksichtigen, dass bei Analysen der Nachfrage von Gütern und Dienstleistungen auftritt. Die vollständige Nachfrage nach Sharing-Rollern an einem Ort während eines bestimmten Zeitabschnitts setzt sich aus Sicht des Anbieters aus der Nachfrage, die erfüllt werden konnte, und der Nachfrage, die nicht erfüllt werden konnte, zusammen. Jedoch kann die Mobilitätsnachfrage, die nicht durch ein entsprechendes Mobilitätsangebot gedeckt werden kann, nicht korrekt erfasst werden. Wie bei einem leeren Regal im Supermarkt, von dem die unbefriedigten Kunden wieder weggehen und ihr Produkt nicht erhalten ohne eventuell einen Mitarbeiter auf die fehlenden Waren anzusprechen, kann der Sharing-Anbieter nur schwerlich diese „Lost Sales“ erfassen. Für die Abschätzung dieser Lost Sales existieren zwar Verfahren, jedoch sind diese auf Produkte mit hohen Volumina an einem stationären Verkaufspunkt ausgelegt und weniger für raum-zeitlich auftretende Nachfrage. Zudem kommt der Faktor der Sichtbarkeit hinzu. Ein verfügbarer Roller, der an einem Standort von einer Person mit Mobilitätsbedarf gesichtet wird, kann die vorherige Wahl der Modalität der Person für die Befriedigung ihres Mobilitätsbedarfs ändern. Das kann beispielsweise dazu führen, dass die Person einen Sharing-Roller anstatt des ÖPNV oder anstatt des Mobilitätsangebots eines konkurrierenden Mobilitäts-Sharing-Anbieters, dessen Verfügbarkeit die Person andernfalls als erstes geprüft hätte, wählt.

Die Perspektive erweiternd muss berücksichtigt werden, dass die vollständige Mobilitätsnachfrage an einem Ort in einem bestimmten Zeitabschnitt nach Fahrzeugen eines Sharing-Anbieters nur einen Teil der an diesem Ort und zu diesem Zeitabschnitt auftretenden Mobilitätsnachfrage abbildet. Für ein vergleichbares Quelle-Senke-Paar, für dessen Ortsüberwindung ein Mobilitätsbedarf auftritt, können verschiedene Personen unterschiedliche Präferenzen der Modalität haben. Starten diese Personen also zeitgleich an einem Ort während eines bestimmten Zeitabschnitts, so setzt sich die vollständige Mobilitätsnachfrage beispielweise aus Fahrern privater Fahrzeuge, Nutzern des ÖPNV, Fahrradfahrern und eben Roller-Sharing-Nutzern zusammen. Das beobachtete Nutzungsverhalten lässt sich tendenziell auf die letzte Gruppe zurückführen. Aber ebenso wechseln die anderen Gruppen sporadisch zum Roller-Sharing: Fahrer von privaten Fahrzeugen möchten eventuell am Zielort Alkohol konsumieren und daher nicht das dann am Zielort verbleibende eigene Auto nehmen, auf dem Hinweg aber weder Taxi (aufgrund der Kosten) oder ÖPNV (aufgrund der Bequemlichkeit) wählen, was sie aufgrund der Intoxikation für den Rückweg tun müssen; Fahrradfahrer haben es eventuell eiliger als sonst und haben keinen Zugriff auf ein privates Auto oder würden den Weg nicht in der gewünschten Zeit mit dem ÖPNV schaffen; ÖPNV-Nutzer möchten eventuell nach einem Tag in stickigen Büros die frische Luft und den Fahrtwind einem eng gefüllten Bus oder U-Bahn vorziehen. Zusammengefasst gibt es eine Vielzahl an komplexen Treibern, die dafür sorgen, dass die Mobilitätsnachfrage der einzelnen

Umsetzung des Vorhabens

Personen sich so realisiert, wie es beobachtet wird, und in der Bewertung des Nutzungsverhaltens insbesondere für dessen Antizipation mit Folgen auf operative Prozesse muss der systematische Teil vom zufälligen Teil abgetrennt werden.

Der systematische Teil muss dabei insbesondere aber auch vorhersehbare Unsicherheiten im Nutzungsverhalten berücksichtigen. Hierbei spielen externe Faktoren einen wichtigen Einfluss. Den auffälligsten externen Einfluss stellt dabei, wie oben beschrieben, das Wetter dar. Obgleich Regen einen Einfluss auf die generelle Mobilitätsnachfrage von Personen hat, weil diese z.B. bei Regenschauern einfach „nicht raus möchten“, so fällt es bei emmy insbesondere ins Gewicht, dass die Roller nicht vor Witterung schützen und die Fahrt bei Regen durchaus unbequemer ist. Ebenso stellen Ereignisse wie geplante Veranstaltungen und ungeplante ÖPNV-Ausfälle eine wichtige Quelle dar, die das Nutzungsverhalten deutlich beeinflussen. Aber insbesondere ist zu berücksichtigen, dass sich die Beweggründe für die Mobilität über den zeitlichen Verlauf eines Tages oder einer Woche deutlich verändern können. So gibt es für Personen deutlich weniger Beweggründe in Stadtgebieten mit einer hohen Dichte an Einkaufsmöglichkeiten zu fahren, wenn diese an Sonntagen geschlossen sind. Aus aktuellem Anlass muss auch berücksichtigt werden, dass externe Einflüsse das Nutzungsverhalten schockartig verändern können, wenn beispielsweise eine Pandemie auftritt und viele Gründe für die gewohnte Mobilitätsnachfrage entfallen.

Über all dem steht die Veränderung des Sharing-Marktes und dessen Etablierung in der Gesellschaft und der damit verbundenen Veränderung der potenziellen Marktgröße. Entsprechend des von Hülsmann et al. (2018) aufgestellten Profils des typischen Sharing-Nutzer und der Bewertung dazu, wie stark dieser typische Nutzer den Kundenstamm dominiert, kann geschlussfolgert werden, dass viele andere Nutzergruppen noch Wachstumspotenziale haben. Allem voran sind Besitzer von privaten Fahrzeugen eher schwerlich für die Nutzung eines Mobilitäts-Sharing-Dienstes zu begeistern, der in vielen Aspekten vergleichbare Eigenschaften aufweist, wie das eigene Fahrzeug für das versunkene Kosten in Kauf genommen wurden. Ähnliches kann bei den Nutzergruppen angenommen werden, die ÖPNV oder das eigene Fahrrad vorziehen, da sie entweder versunkene Kosten für Jahres-Abonnements oder das Fahrrad haben oder nur schwerlich aus der Gewohnheit ausbrechen können. In dem Zusammenhang kann auch benannt werden, dass die Mischung von Verkehrsmodalitäten für die täglichen Wegeketten (z.B. morgens mit dem ÖPNV und abends mit dem Mobilitäts-Sharing-Dienst) ein Umdenken darstellt, das Zeit benötigt. Es ist nicht auszuschließen, dass eher konservativ orientierte Nutzergruppen noch nicht davon überzeugt sind, dass sich Sharing-Geschäftsmodelle langfristig durchsetzen und auf eine stärkere Etablierung der Dienste warten, bevor sie auf diese vertrauen und sich als regelmäßiger Nutzer gewinnen lassen. Diese Gruppen warten eventuell auf gesetzliche Regelungen, die explizit auf Mobilitäts-Sharing-Anbieter zugeschnitten sind, sodass die Nutzergruppe sich rechtlich sicherer fühlt, oder die Verfügbarkeit ist noch nicht ausreichend hoch genug, um Mobilitäts-Sharing als verlässlichen Modus für die Mobilität wahrzunehmen. Des Weiteren gibt es die Nutzergruppen, die sich kein privates Fahrzeug leisten können. Für diese kann Mobilitäts-Sharing eine neuartige Möglichkeit darstellen, Zugang zum Individualverkehr zu erhalten. Jedoch Bedarf es extra für diese Gruppen eine teilweise staatliche Förderung der verfahrenen Minuten, um das Angebot tatsächlich attraktiv zu machen.

Umsetzung des Vorhabens

Zusammengefasst stellt das Nutzungsverhalten im Mobilitäts-Sharing ein sehr komplexes und dynamisches Gebiet dar. Um das Verhalten der Sharing-Dienst-Kunden durch Anreize zu verändern, muss diese Komplexität und die Dynamik durchdrungen werden, wofür im vorliegenden Forschungsvorhaben datenanalytische Methoden verwendet werden. Eine Anwendung einfacher Wenn-Dann-Regeln stellt dagegen einen zu starken Vereinfachungsgrad dar. Vielmehr ist die durchdringende Analyse von Mustern und den Einflüssen hierfür notwendig und zielführend. Im nachfolgenden Abschnitt werden kurze Einblicke über ausgewählte Analysen des Nutzungsverhalten gegeben.

5.2.2.1 Verlaufslinie des Nutzungsverhaltens

Die Verlaufslinie des Nutzungsverhaltens der Sharing-Roller über die 24 Stunden eines Tages, die in Abbildung 11 abgebildet sind, zeigt das bekannte Bild der Mobilitätsnachfrage, wie es beispielsweise auch in der Studie „Mobilität in Deutschland“ (Kuhnimhof & Nobis, 2018) in Abhängigkeit von dem Verhalten an Wochentagen dargestellt wird. An Wochentagen gibt es zwei Nutzungsspitzen der Mobilität. Zu Beginn des Tages gibt es eine Nachfragespitze, die durch einen sehr schnellen und rapiden Nutzungsanstieg entsteht und anschließend ebenso schnell absinkt. Nach Überwindung des Nachfragetals steigt die Nutzung stetig und erreicht am späten Nachmittag bis frühen Abend den zweiten Höhepunkt. Der Tiefpunkt der Nutzung liegt in den Nachtstunden. Entgegen der Beobachtungen in Wien (Vogel & Mattfeld, 2011) führt der Betriebstopp der U-Bahn zu keiner dritten Nachfragespitze. An den Tagen des Wochenendes gibt es dagegen nur eine Spitze, die zudem sehr breit und durch ein Nutzungsplateau am Nachmittag geprägt ist.

Die Wochentage verhalten sich dabei nahezu identisch im Nutzungsverhalten. Dies ist auf die vergleichbaren Gründe für den Mobilitätsbedarf zurückzuführen. Das Pendeln zur Arbeit sowie von der Arbeit zu abendlichen Freizeitaktivitäten wiederholt sich an den Arbeitstagen. Hervorzuheben sind

Nutzungsverhalten über den Verlauf des Tages

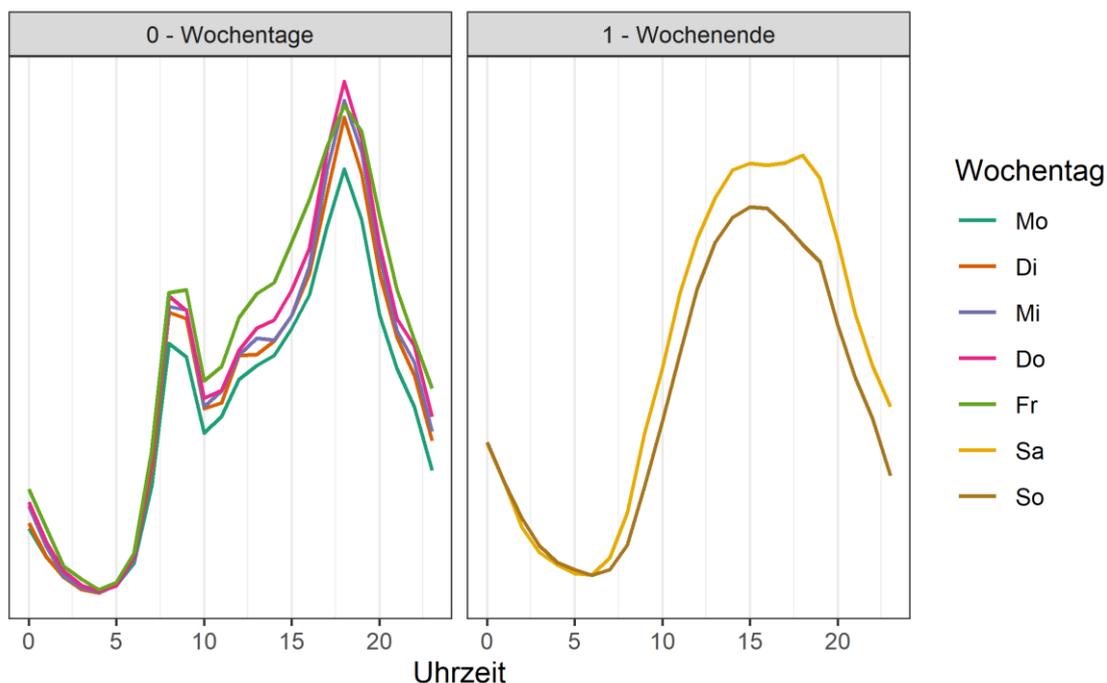


Abbildung 11: Verlaufslinie des Nutzungsverhaltens über 24h

Umsetzung des Vorhabens

dabei lediglich der Montag und der Freitag. Am Montag lässt sich durchschnittlich geringere Nutzung erkennen. Durch Feiertage und dem Potential auf ein verlängertes Wochenende sind an diesem Wochentag durchschnittlich weniger Nutzer unterwegs. Außerdem kommt es von Sonntag zu Montag zu einem Verhaltenswechsel, dem die Rollerverteilung erst nachziehen muss. Der Freitagnachmittag zeigt einen stärkeren Nachfrageanstieg als die anderen Wochentage. Dies spricht dafür, dass Berufstätige Pendler an Freitagen die Arbeit etwas früher niederlegen und in das Wochenende gehen als an den anderen Tagen. Für die beiden Tage an den Wochenenden kann angenommen werden, dass diese deutlich weniger in Pendlerverkehr begründet sind und dagegen vornehmlich aus Fahrten von und zu Freizeitaktivitäten und Besorgungsfahrten sind. Der Sonntag fällt im Vergleich dabei leicht ab, was mit den gesetzlichen Ladenschlusszeiten und der damit reduzierten Anzahl an Zielorten zusammenhängen dürfte.

5.2.2.2 Kumulierte Entwicklung der Reservierungen

[vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 12: Kumuliertes Nutzungsverhalten

5.2.2.3 Nutzungsdauer

[vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 13: Verteilung der Nutzungsdauer

5.2.2.4 Nutzungsverhalten in verschiedenen Gebieten

Selbstverständlich ist das Nutzungsverhalten in den verschiedenen Gebieten des Geschäftsgebiets nicht gleich. Das Geschäftsgebiet setzt sich aus vielfältigen innerstädtischen Gebieten zusammen, die vollkommen unterschiedliche Anteile an Wohn- und Gewerbeanteilen aufweisen. Die über die Stadt

Nutzungsverhalten über den Verlauf des Tages in verschiedenen Gebieten

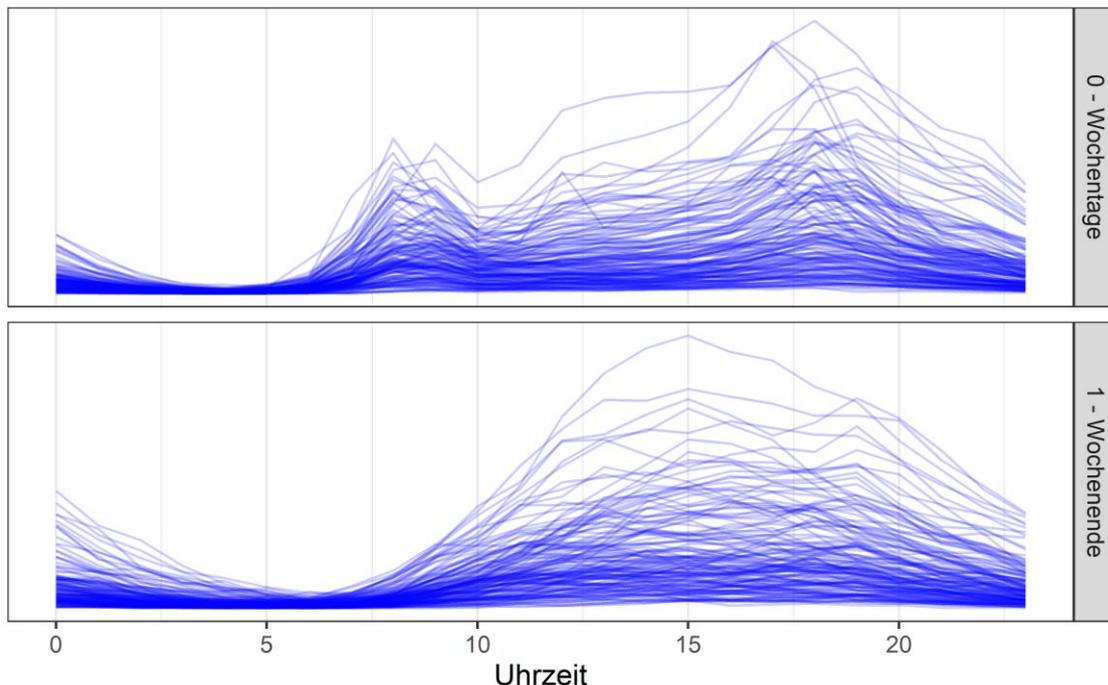


Abbildung 14: Nutzungsverhalten in verschiedenen Gebieten

Umsetzung des Vorhabens

verteilten Wohngebiete weisen zudem unterschiedliche Alters- und Erwerbsstrukturen auf. Die unterschiedliche Struktur der Gewerbegebiete kann ebenso zu völlig unterschiedlichen Geschäftszeiten beitragen. Folglich sind ein unterschiedliches Nachfrageverhalten und unterschiedliche Muster in der Nutzung in den verschiedenen Gebieten zu erwarten.

Abbildung 14 zeigt diese Unterschiede genauer auf. Alle Gebiete teilen sich das Nachfragetal zwischen 3 und 6 Uhr. Außerhalb dieser Zeiten kommt es jedoch zu einer sehr großen Spannweite an unterschiedlichem Nutzungsverhalten. Die morgendliche Nachfragespitze um 8 Uhr stellt hierbei den ersten Extrempunkt dar. Während in vielen Gebieten zu dieser Uhrzeit wenig Mobilitätsnachfrage nach Roller-Sharing besteht, weisen andere Gebiete hier wiederkehrend hohe Nachfrage auf. Über den Verlauf des Tages hin zum zweiten Extrempunkt gegen 18 Uhr nimmt die Spanne zwischen den Verhaltenslinien stetig zu. Ebenfalls ist im Zeitraum des Nachmittags und Abends zu erkennen, dass die verschiedenen Gebiete ihre Nachfragespitze auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten haben können und dementsprechend die Mobilitätsbedürfnisse in den Gebieten auf verschiedenen Einflüssen und Motivationen beruhen. Der abendliche Rückgang der Nachfrage verhält sich ebenso unterschiedlich. Während die Masse der Gebiete sich unter der Woche schnell dem Nachfragetal annähert, stechen vereinzelte Gebiete heraus, in denen wiederkehrend auch nächtlicher Mobilitätsbedarf besteht. Interessant ist zu beobachten, dass diese deutliche Trennung an Wochentagen nicht auch am Wochenende vorliegt. Die Anzahl an Gebieten mit nächtlichem Mobilitätsbedarf ist am Wochenende also deutlich höher.

5.2.2.5 Einfluss des externen Faktors Wetter

Wie bereits mehrfach in vorherigen Abschnitten beschrieben wurde, hat das Wetter bzw. haben die Witterungsbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf das Nutzungsverhalten. [vertraulicher Teil ausgelassen]

5.2.3 Standzeitvorhersagen zur Anreizsetzung für die nutzerbasierte Relokalisierung

Auf Basis der oben vorgestellten Daten wurden in iterativen Schritten Modelle zur Vorhersage der Standzeiten von Rollern aufgestellt. Für diese Modellierung sind mehrere entscheidende Schritte notwendig, die über die Wahl des konkreten Modells bzw. datenanalytischen Ansatz hinaus gehen. Zunächst muss eine konkrete Zielvariable gewählt werden, die vorhergesagt werden soll. Innerhalb der Modellierung werden die Daten nicht in roher Form verwendet, sondern so umgewandelt, dass sie einerseits von den Modellen verwendbar und andererseits die Muster besser extrahierbar sind. Dieser Schritt wird als Feature Extraktion bzw. Feature Konstruktion bezeichnet. Basierend auf den konkret definierten Variablen und den konstruierten bzw. extrahierten Features wurden die Modelle aufgestellt. Dies wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer betrachtet. Zuletzt müssen die Modelle bewertet werden, um den geeignetsten Kandidaten für die Implementierung zu identifizieren.

Um die operative Implementierung zu vereinfachen, wurde eine Zielvariable gewählt, deren Ergebnis schnell und einfach in eine Entscheidung überführt werden kann. Explizit wurde daher ein Schwellenwert der Standzeit analytisch bestimmt, ab dem ein Anreiz gesetzt werden soll bzw. bis zu dem kein Anreiz gesetzt werden soll. Die Zielvariable für die Modellierung beschreibt dementsprechend binär, ob dieser Schwellenwert der Standzeit überschritten ist oder nicht. Hierfür wurde letztendlich ein Wert von sehr überschaubarer Länge gewählt, der nur in relativer Betrachtung

Umsetzung des Vorhabens

eine „lange“ Standzeit abbildet. Die Vorhersage soll dementsprechend über diese binäre Aufteilung eine Aussage treffen, die direkt in die Setzung eines Anreizes übertragen werden kann. Dies hat im Projektverlauf Auswirkungen auf die Art der Modellierung gehabt, da somit die eigentlich kontinuierliche Variable der Standzeit zu einem Klassifizierungsproblem umgewandelt wurde.

Bei der Gestaltung der Features kann, wie zuvor bereits erwähnt, eine Unterscheidung in die Extraktion der Features und in die Konstruktion der Features vorgenommen werden. Bei der Extraktion wird das in der Regel verrauschte Signal reduziert und inhaltlich wertvollere Daten werden aus dem Signal extrahiert. Das einfachste Beispiel für eine derartige Extraktion liegt bei den Witterungsbedingungen vor. Eine Temperatur kann prinzipiell kontinuierlich erfasst werden. Eine sekundliche (oder noch hochfrequenter) Information über die Temperatur ist in dem vorliegenden Modellierungsproblem jedoch nicht nutzbar. Daher wird in einem solchen Fall die Durchschnittstemperatur über einen Zeitintervall als extrahiertes Feature verwendet (oder auch die maximale und minimale Temperatur im Zeitintervall). Im Forschungsvorhaben wird diese Extraktion bereits beim Datenanbieter vorgenommen. Weitere derartige Schritte sind zum Beispiel die Extraktion des Wochentages aus dem Datum oder der zusätzlichen Information darüber, ob es ein Arbeitstag, Feiertag oder Wochenende ist. Die Konstruktion von Features zielt dagegen darauf ab, neue Informationen aus vorhandenen Daten zu konstruieren. Aus den Daten der Position von POIs wurde beispielsweise die Anzahl an POIs je Kategorie in spezifizierten Zonen ermittelt. Auf Basis der Nutzungsdaten, insbesondere deren Startposition und deren Mietstart- und Endzeiten, konnte darüber hinaus die Rollerverfügbarkeit je Zeitintervall in den spezifizierten Zonen rekonstruiert werden. Die Konstruktion dieser Features wird im Verlauf der Zeit stetig komplexer, da weitere Erfahrungen gesammelt werden, wie diese Features zur Qualität der Modellierung beitragen sowie weitere Ideen entwickelt und getestet werden.

Wie oben angedeutet, wird in Abschnitt 5.2.3.3 ein Bewertungsverfahren für die Modelle erläutert, dass im Forschungsvorhaben entwickelt wurde. Darüber hinaus sollen die Modellinhärenten Bewertungsmethoden kurz betrachtet werden, die auch im Forschungsvorhaben Anwendung gefunden haben. Die Bewertung der Modelle, die auch zur Erfahrungssammlung bzgl. der Qualität der Features beiträgt, ist abhängig von der Zielvariable. In der binären Klassifizierung wird die Genauigkeit eines Modells darüber ermittelt, wie häufig jede Klasse richtig erkannt wird. Konkret gibt es dafür verschiedene Kennzahlen, die unterschiedliche Aspekte der Genauigkeit hervorheben. Die Genauigkeit („Accuracy“) ermittelt, welcher Anteil an Vorhersagen die korrekte Klasse vorhergesagt hat. Da das korrekte Vorhersagen einer konkreten Klasse jedoch unterschiedliche Auswirkungen auf den Prozess haben kann, gibt es Kennzahlen, die sich auf die konkreten Klassen konzentrieren. Die Präzision („Precision“) misst, zu welchem Anteil die gesuchte Klasse korrekt vorhergesagt wurde. Dabei wird in der Modellierung eines Klassifizierungsproblems regelmäßig davon ausgegangen, dass es eine Klasse gibt, an der explizites Interesse besteht, und die dementsprechend „gesucht“ wird. Der Rückruf („Recall“) betrachtet aus einer gedrehten Perspektive zur Precision nun, zu welchem Anteil die tatsächlichen Observationen der „gesuchten“ Klasse korrekt vorhergesagt wurden. Das F-Maß („F1-Score“) bildet aus den beiden vorherigen eine ausgeglichene Kennzahl. Im Gegensatz zur Genauigkeit wird also berücksichtigt, wie gut die Precision und der Recall eines Modells ist. Diese hier beschriebenen Kennzahlen, die den Modellierungsverfahren inhärent sind, können in der Regel

Umsetzung des Vorhabens

unabhängig vom konkreten Problem angewandt werden. Daher muss ihre Relevanz für das reale Problem während der Modellierung sinnvoll reflektiert werden.

5.2.3.1 Regressions-Modelle

Zu Projektbeginn wurden im ersten Schritt der Modellierung statistische Methoden der Regressions-Modelle entwickelt. Dabei wurden verschiedene Arten von Regressions-Modellen zur Vorhersage der Standzeit von Rollern herbeigezogen. Aufgrund der gegebenen Forschungsfrage und den daraus resultierenden Voraussetzungen wurden die Regressions-Modelle explizit ausgewählt, da sie weniger komplex als andere Methoden aus dem Bereich des Maschinellen Lernens sind. Neben geringerer Komplexität, wodurch sich zunächst ohne großen Arbeitsaufwand ein Überblick über die vorliegenden Daten verschafft werden konnte, sind Regressionsmodelle außerdem positiv hinsichtlich ihrer einfachen Interpretation zu bewerten. Dabei sei hervorgehoben, dass diese Methoden trotz geringerer Komplexität dennoch akkurate und performante Modelle erschaffen können. Insbesondere die logistische Regression und die Cox-Regression wurden im Detail erforscht und werden im Folgenden mitsamt den Ergebnissen näher erläutert.

Die Logistische Regression stellt eine der klassischen Methoden zur Klassifizierung dar. Da diese Methode letztendlich auch aus den Daten ein Modell ableitet, wird sie teilweise auch zu den Methoden des Maschinellen Lernens gezählt. Die Logistische Regression geht jedoch aus der Inferenzstatistik hervor und kann ebenso eher als parametrisierte Schätzmethode verstanden werden, anstatt dass sie von den Daten „lernt“. Für die Anwendung der Methode spielt dies insofern eine Rolle, da die Modelle der logistischen Regression auf Regressions-Koeffizienten (beta-Faktoren) für jedes einbezogene Feature basieren. Im Vergleich zu Verfahren des Maschinellen Lernens, die unten betrachtet werden, vereinfacht dies einzelne Schritte. Zum einen sind damit die erkannten Muster klarer und deutlicher nachvollziehbar. Für jedes Feature wird der p-Wert des Modells ermittelt, sodass eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit einer Auswirkung des Features auf die Zielvariable möglich ist. Zudem wird über den Regressionskoeffizienten eine Aussage über Stärke und Richtung der Auswirkung der Feature auf die Zielvariable möglich. Derartige Informationen und die einfache Interpretation machen es möglich, die Erkenntnisse mit Mitarbeitern aus den Prozessen zu diskutieren und zu validieren. Zum anderen ist ein Modell der logistischen Regression auch relativ einfach zu implementieren, da lediglich eine Multiplikation der Regressionskoeffizienten mit den aktuellen Werten der Features notwendig ist. Damit ist die Berechnung deutlich einfacher implementiert als bei den Modellen des Maschinellen Lernens, für die aufgrund der Modellkomplexität ein Modell-Objekt implementiert werden muss.

In dieser Phase des Forschungsvorhabens wurde die Analyse-Programmiersprache R verwendet. Mit dem Fokus auf die Anwendung von statistischen Modellen bietet R die Möglichkeit, mit angemessenem Aufwand ein Logistisches Regressionsmodell aufzustellen. Dazu müssen selbstverständlich weitere Schritte der Extraktion, Transformation und Feature-Konstruktion der Daten durchgeführt werden. Darüber hinaus kann mit dem Tool auch eine Aufteilung in Trainings- und Testset, sowie die Bewertung der aufgestellten Modelle und der Vergleich der unterschiedlichen Modelle nach der Konstruktion und Inklusion / Exklusion verschiedener Features erfolgen.

Das beste Modell, das auf diese Art der Modellierung erzielt werden konnte, ist in der Konfusionsmatrix in Abbildung 15 visualisiert. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es eine Imbalance

Umsetzung des Vorhabens

der Klassen gibt. Die Schwelle zwischen kurzer und langer Standzeit liegt grundsätzlich bei einer recht kurzen Zeit. Dennoch fallen auch bei der gewählten Schwelle nur etwa ein Drittel der Beobachtungen in die Klasse der „langen“ Standzeit. Während das Modell also eine akzeptable Genauigkeit erreicht, kann es eine Klasse nahezu kaum korrekt vorhersagen, da die Modellierung mit der Klassen-Imbalance nicht gut umgehen kann. Die Kennzahlen des Recall und der F1-Score zeigen dies insbesondere auf. Obgleich der relativ ungenauen Bestimmung, wurde dieses Modell für das erste Shadow-Benchmarking ausgewählt.

Logistische Regression

Recision:	47 %	Konfusionsmatrix	Vorhersage		
Recall:	25 %				
Accuracy:	66 %				
F1 Score:	4 %				
		Observation	kurze Standzeit	lange Standzeit	
			kurze Standzeit	65,71%	0,93%
			lange Standzeit	32,51%	0,84%

Abbildung 15: Ergebnis der Logistischen Regression

Als zweites Modell wurde Gebrauch von der Cox-Regression gemacht, welche generell in enger Verbindung zu logistischen Regressionsmodellen steht, wobei es andere statistische Methoden zur Schätzung der Einflussparameter verwendet. Als spezielle Form der Ereignisanalyse ist der wesentliche Kern des Modells die Untersuchung der Länge eines Zeitintervalls bis zum Eintreten eines bestimmten Ereignisses. Die sogenannte Hazard Rate wird unter Einfluss verschiedener metrischer oder kategorialen Kovariablen untersucht. Im konkreten Fall des Forschungsvorhabens bildet die Neuanmietung eines Rollers das Zielereignis ab, die Standzeit eines Rollers zwischen dem Abstellen bis hin zur Neuanmietung ist demnach das zu untersuchende Zeitintervall. Letztendlich kann anhand dieses Modells eine Aussage darüber getroffen werden, ob nach beispielsweise steigen einer Variable die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen des Zielereignisses signifikant sinkt, steigt oder unverändert bleibt. Nach mehrmaligen Durchläufen zur optimalen Selektion der erklärenden Variablen konnten insgesamt jedoch nur begrenzte Einflüsse dieser Variablen auf die Zielvariable der Standzeit dargestellt werden. Ähnlich wie bei dem Modell zur logistischen Regression ist man zur Erkenntnis gekommen, dass auch die Cox-Regression die Komplexität des zugrundeliegenden Nutzerverhaltens nicht hinreichend genug abbilden kann.

5.2.3.2 Maschinelles Lernen

Nachdem sich die Möglichkeiten mit R sowie mit einfachen statistischen Modellen als begrenzt erfolgreich herausgestellt haben, wurde das Vorgehen umgestellt. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde der Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens verfolgt. Hierdurch eröffnete sich eine große Bandbreite an neuen Möglichkeiten, komplexere Muster aus den Daten zu extrahieren und darauf basierend genauere Modelle aufzustellen. Aus dem Umgang mit diesen Methoden haben sich jedoch ebenso neue Herausforderungen ergeben. Allem voran musste der methodische Werkzeugkasten angepasst werden. Das Interesse am Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens hat in einigen Programmiersprachen und Software-Tools dafür gesorgt, dass die Nutzerfreundlichkeit deren Einsatzes steigt, indem Modellierungsverfahren über Bibliotheken genutzt werden können, anstatt dass diese von Grund auf nachgebaut werden müssen. Dies ist auch davon geprägt, dass über Open-Source-Projekte passende Pakete für den Einsatz der Methoden entwickelt

Umsetzung des Vorhabens

wurden. Im Vergleich von Programmiersprachen und Software-Tools sticht dabei insbesondere die Programmiersprache Python hervor, welche für derartige Entwicklungen im Zeitraum des Forschungsvorhabens Vorzug bei Open-Source-Entwicklern gefunden hat. Der Einsatz der Data Science Werkzeug in der Programmiersprache ist dabei keine klassische IT-Kompetenz und musste, trotz der im Unternehmen vorhandenen IT-Kompetenzen, neu aufgebaut werden.

Die Methoden des Maschinellen Lernens sind vielzählig. Sie basieren auf unterschiedlichen Ansätzen, deren Passung auf das vorliegende Modellierungsproblem vorab kaum bestimmt werden kann, da dies von den Charakteristika in den Daten abhängt. Daher wurden möglichst viele verschiedene Verfahren nach Möglichkeit initial getestet. Verfahren mit vielversprechenden Ergebnissen wurden anschließend weiter angepasst, um die Leistung zu erhöhen. In den Anpassungsmöglichkeiten liegt einer der Komplexitätstreiber des Einsatzes der Methoden des Maschinellen Lernens, die im Forschungsvorhaben eine zentrale Herausforderung dargestellt haben. Dafür soll zunächst die Anpassung der Hyperparameter – die Hyperparameter-Optimierung – betrachtet werden. Die Hyperparameter sind Stellschrauben der einzelnen Methoden, die in Veränderungen der Modelle und dementsprechend ihrer Leistung resultieren. Die Stellschrauben können dabei starken Einfluss auf die Nutzbarkeit in der Implementierung haben. Zum Beispiel können Entscheidungsbäume und verwandte Methoden getrimmt werden, wodurch sich die Rechenzeit bei neuen Beobachtungen ändert. In der Regel wird jedoch der Umgang mit Features angepasst, was sich auf die Vorhersageleistung auswirkt. Um dies anhand eines Beispiels zu zeigen, sind in Abbildung 16 die Kennzahlen der Hyperparameter-optimierten Logistischen Regression dargestellt. Jedes Verfahren besitzt dabei unterschiedliche Hyperparameter, deren Auswirkung und mögliche Werte im Vorfeld ergründet und durchdrungen werden müssen. Anschließend wird eine Auswahl an Werten für die Hyperparameter erstellt und die entsprechenden Modelle dafür „trainiert“. Bei mehreren Hyperparametern, die zudem auf einer kontinuierlichen Skala gewählt werden können, ergeben sich folglich viele mögliche Kombinationen der verschiedenen ausgewählten Werte für die Hyperparameter. Beispielsweise gab es bei den gewählten Werten für eine Gradient-Boosting-Methode im Forschungsvorgaben 196.000 mögliche Kandidaten. Diese können in einem sogenannten Grid-Search-Verfahren einzeln getestet werden um das globale Optimum zu finden. Alternativ kann über das Random-Search-Verfahren nur eine Auswahl getestet werden, da dieses Verfahren heuristisch während des Trainings vorteilhaft interagierende Hyperparameter-Werte bestimmt und somit zielorientiert nach optimalen Hyperparameter-Kombinationen sucht jedoch nicht notwendigerweise dabei das globale Optimum findet. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 16: Ergebnis der Logistischen Regression mit Hyperparameter-Optimierung

Eine weiterer Anpassungsmöglichkeit in der Anwendung von Methoden des Maschinellen Lernens ist die Kombination von Methoden. In sogenannten Ensemble-Verfahren können mehrere Methoden zu einem Modell miteinander kombiniert werden, welches aus den Untermodellen über eine vorgegebene Strategie den Wert der Zielvariable ermittelt. Diese Strategie kann in einer binären Klassifizierung beispielsweise eine Mehrheitsregel sein, sodass bei drei Untermodellen genau die Klasse für die Zielvariable vorhergesagt wird, die von der Mehrheit der Untermodelle prognostiziert wird. Selbstverständlich können beim Training dieser Ensemble-Modelle individuelle Hyperparameter der Untermodelle optimiert werden. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Umsetzung des Vorhabens

Abbildung 17: Ergebnis der Logistischen Regression eines Ensemble-Modells

Wie in den vorherigen Abschnitten mehrfach erwähnt wurde, handelt es sich bei der vorliegenden Vorhersage um ein besonderes dynamisches und volatiles Problem. Durch die Umwandlung der Zielvariable hinzu einer binären Klassifizierung wurde gegenüber einer konkreten Vorhersage einer kontinuierlichen Standzeit deutlich die notwendige Genauigkeit über den vorherzusagenden Wert reduziert. Über die Datenauswahl sowie der Extraktion und Konstruktion von Feature basierend auf den Daten wurden komplexe erklärende Variablen geschaffen. Darüber hinaus wurden über den Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens, deren Hyperparameter-Optimierung sowie deren Kombination mit Ensemble-Verfahren komplexe Modelle erzeugt. Trotz dieser Maßnahmen konnte kein hoch-performantes Vorhersagemodell aufgestellt werden. Abbildung 18 zeigt die Kennzahlen einer Auswahl der erstellten Modelle aus dem fortgeschrittenen Projektstadium. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 18: Kennzahlen ausgewählter Modelle

Neben dem Komplexitätstreiber der Anpassungen ergibt sich eine weitere Herausforderung für den Einsatz der Methoden des Maschinellen Lernens aus der Rechenzeit. Das iterative „Lernen“ bzw. „Training“ der Methoden nimmt in der Regel deutlich mehr Zeit in Anspruch als die Modellierung eines Regressions-Verfahrens. Insbesondere Support Vector Machines und Neuronale Netzwerke benötigen für einen einzigen Trainingslauf mehrere Stunden. Die Anwendung der Hyperparameter-Optimierung trägt zudem dazu bei, dass Modelle mehrfach berechnet werden. Auch bei paralleler Berechnung der Modelle nehmen die Vorbereitung der Modellierung sowie die nachbereitende Auswertung Zeit in Anspruch, sodass Rechenzeit und Modellierung mit großem Zeitaufwand verbunden sind.

Für die Implementierung liegt eine Herausforderung darüber hinaus darin, dass ein konkretes Modell-Objekt im Backend genutzt werden muss, um die Vorhersage im Live-Betrieb durchzuführen. Im Gegensatz zu einer Logistischen Regression sind die Modelle, die aus den Methoden des Maschinellen Lernens hervorgehen, derart komplex, dass sie nicht ohne erheblichen Aufwand für die Bereitstellung im Backend nachgebaut werden können. Dies wird zudem dann impraktikabel, wenn die Modelle mit einer gewissen Regelmäßigkeit ausgetauscht werden sollen. Entsprechend mussten im Forschungsvorhaben entsprechend Voraussetzungen am Backend geschaffen werden, um die Modelle als Objekt zu verarbeiten und diese dadurch austauschbar zu machen.

Eine letzte Herausforderung im Forschungsvorhaben ergab sich daraus, dass der Einfluss einzelner Variablen sowie die gefundenen Muster in den Daten nicht in einem einfachen Maße nachvollzogen werden konnten. Die Methoden des Maschinellen Lernens sind diesbezüglich Black-Boxen und bieten wenig Nachvollziehbarkeit. Entsprechend waren die Diskussion und Validierung der Modelle mit den operativen Mitarbeitern mit erheblichem Aufwand verbunden.

5.2.3.3 Modellbewertung

Die Bewertung der Modelle anhand von Kennzahlen ist zunächst abstrakt und macht nicht deutlich, welchen Effekt ein Modell im realen Prozess hat, in dem es eingesetzt werden soll. Um dies zu bewerten, müssen weitere Parameter und Ereignisse der Prozesse hinzugezogen werden. Im natürlichen Fall ergeben sich derartige Erkenntnisse aus dem Einsatz im realen Prozess. Aufgrund von (Fehler-)Kosten, Zeitaufwand der Implementierung und Kritikalität des Einsatzes kann dies jedoch als

Umsetzung des Vorhabens

Bewertungsmethode ungeeignet sein. Dies trifft insbesondere zu, wenn mehrere Modelle gegeneinander getestet und bewertet werden sollen. Eine Alternative zum realen Einsatz stellt die Simulation dar. In der Simulation können Effekte der realen Prozesse basierend auf Annahmen oder analytischen Erkenntnissen genutzt werden, um den Einsatz des Vorhersage-Modells nachzustellen und damit komplexe Zusammenhänge des Einsatzes besser zu verstehen. Auf diese Art und Weise kann der Kontext des Modell-Einsatzes berücksichtigt werden. Insbesondere besteht so die Möglichkeit, die Erfahrungen und das Wissen der operativen Mitarbeiter einzubringen sowie verschiedene Szenarien des Einsatzes zu testen und deren Wirkung zu verstehen.

Für die Simulation von Prozessen und Systemen existieren vielzählige Software-Tools mit nutzerfreundlichen grafischen Anwenderoberflächen. Diskrete, sich gegenseitig beeinflussende und zeitlich voneinander abhängige Ereignisse können mit diesen Tools einfach aufgestellt und nachvollziehbar gemacht werden. Jedoch ist der Einsatz derartiger Tools mit entsprechenden Kosten verbunden und mit der Zeit für das Erarbeiten und Schulen der Tools. Außerdem ist zwar das Aufstellen einzelner Modelle bei einfachen Prozessen in kurzer Zeit umgesetzt. Der Vergleich der Ergebnisse von vielen leicht veränderter Modellvarianten ist dagegen zeitaufwendig und das Management einer Vielzahl von Modellvarianten konnte in der Recherche seltener als Funktion der Tools gefunden werden. Entsprechend wurde diese anwenderfreundliche Variante für das Forschungsvorhaben ausgeschlossen. Als Alternative wurde die rein numerische Simulation gewählt. Diese bedarf einen erhöhten Programmieraufwand und ist folglich weniger anwenderfreundlich. Ebenso stehen nur die Kennzahlen zur Auswertung zur Verfügung, die explizit vorgesehen werden. Wird in der Programmierung der Simulation eine Kennzahl also nicht explizit berücksichtigt, so steht diese nicht zur Verfügung und eine nachträgliche Programmierung verlangt eine erneute rechenaufwendige Simulation, um diese Kennzahl zu ermitteln. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die Rechenzeit einzelner Simulationen länger dauert als mit kommerzieller Software, die für den entsprechenden Zweck optimiert wurde. Für den vorliegenden Fall war dieser Weg jedoch zweckmäßig und zielorientiert.

In der Simulation wurden zur Bewertung des gesamtgesellschaftlichen Nutzens verschiedene Aspekte einbezogen, die in Verbindung mit nutzerbasierter Relokalisierung individuelle Bedeutung finden. Herauszuheben ist die Möglichkeit, dass ein gesetzter Anreiz keinen passenden Nutzer findet. Für diesen Aspekt wurden verschiedenen Wahrscheinlichkeiten gegenübergestellt, dass ein Anreiz zu einer Miete führt. Des Weiteren wurde auch berücksichtigt, dass eine nutzerbasierte Relokalisierung dazu führen kann, dass ein Roller in eine Zone gefahren wird, in der ebenso nur geringe Nachfrage besteht, sodass kein folgender, stark nachgefragter Mobilitätsbedarf durch die Relokalisierung gedeckt werden kann. Die Wahrscheinlichkeiten ergeben sich aus der Analyse des Nutzerverhaltens, werden aber aus Sensibilitätsgründen nicht benannt. Ein weiterer kritischer Aspekt der Simulation ist die Qualität des Modells. Dementsprechend werden in der Simulation insbesondere zwei besondere Fälle berücksichtigt. Im Ersten Fall wird kein Anreiz gesetzt, obwohl ein Anreiz notwendig gewesen wäre – methodisch gesehen ein „False Negative“. Dies hat einen negativen Effekt, da Mobilität an einem anderen Ort dadurch unbedient bleiben würde. Der zweite Fall ist dagegen kritischer. In diesem Fall wird ein Anreiz gesetzt, obwohl kein Anreiz notwendig gewesen wäre – methodisch betrachtet ein „False Positive“. Als Konsequenz wird eine Fahrt, die für die Wirtschaftlichkeit des Anbieters notwendig

Umsetzung des Vorhabens

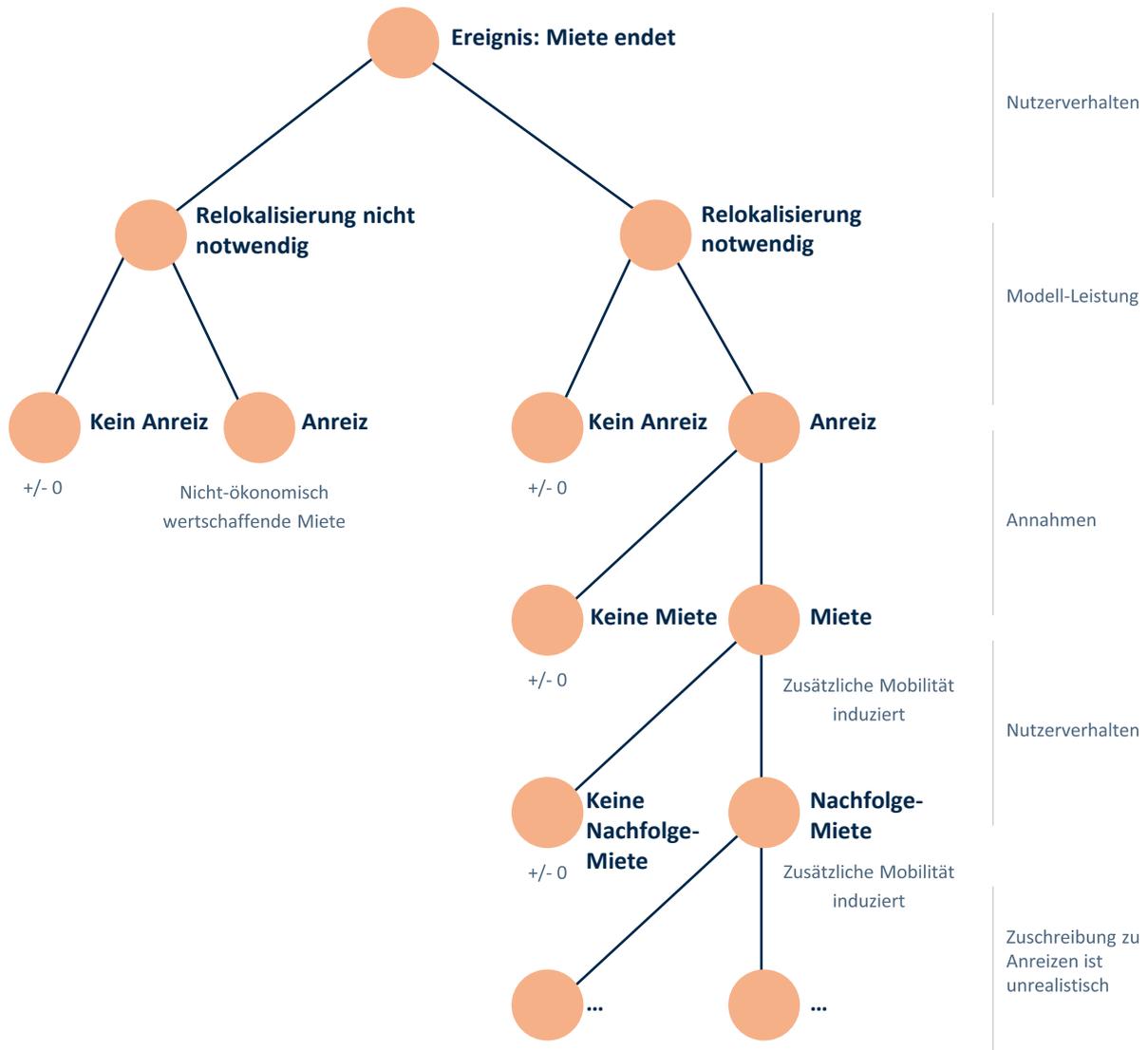


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Simulation zur Nutzenbewertung

ist, zu geringeren Preisen angeboten. Somit reduziert eine derartige Fehlentscheidung des Modells den gesamtgesellschaftlichen Nutzen. Die numerische Simulation ist in Abbildung 19 schematisch dargestellt.

Für jedes Modell wurden 5000 Simulationsdurchläufe durchgeführt. In jedem Durchlauf wurden Zufallszahlen verwendet, um daraus das Auftreten von Ereignissen in Abhängigkeit der gegebenen Wahrscheinlichkeiten und Modellkennzahlen zufällig auszuwählen. Jeder einzelne Simulationsdurchlauf hat zu einem spezifischen Nutzen geführt und für jedes Modell wurde basierend auf allen Simulationsläufen eine Verteilung des zu erwarteten Nutzens ermittelt. Diese Verteilungen und deren Parameter wurden dazu genutzt, um die Modelle untereinander zu vergleichen sowie die Einsetzbarkeit der Modelle für die Implementierung zu evaluieren. Zum Ende des Projekts hatten nur wenige Modelle einen positiven Nutzen und diese wurden folglich für die Shadow-Benchmarking-Tests ausgewählt.

5.3 Versorgungsfahrten

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Arbeiten an dem Forschungsschwerpunkt der Optimierung der Versorgungsfahrten durch eine Batterie-Tausch-App. Die Arbeiten an dieser App sind sehr eng mit den operativen Abläufen des durchführenden Unternehmens verbunden. Daher werden einige Details aus Sensibilitätsgründen ausgelassen.

Motorisierte Fahrzeuge benötigen, ob privates Fahrzeug oder Sharing-Fahrzeug, einen Treibstoff, um die Motoren zu betreiben. Beim Einsatz von Verbrennungsmotoren ist dies in der Regel ein fossiler Kraftstoff, der verbrannt wird. In Elektro-Fahrzeugen, wie sie im Forschungsvorhaben zum Einsatz kommen, ist dieser Treibstoff Elektrizität, die in der Regel in einer Batterie gespeichert wird. Der Treibstoff von Verbrennungsmotoren kann relativ schnell nachgefüllt werden, indem Treibstoff in einen dafür vorgesehenen Tank gefüllt wird. Bei flüssigen Treibstoffen begrenzt sich die Geschwindigkeit des Tankens vor allem durch die Strömungsmechanik und nimmt bei üblichen Autos und Motorrollern nur wenige Minuten in Anspruch. Die Ladungsgeschwindigkeit einer Batterie eines Elektrofahrzeugs ist dagegen durch verschiedene physikalische und chemische Effekte begrenzt und nimmt in der Regel mehrere Stunden in Anspruch. Wie in vorherigen Kapiteln besprochen, stellt dies einen Nachteil für die Nutzbarkeit der Elektrofahrzeuge im Mobilitäts-Sharing dar, wenn die Batterie fest im Fahrzeug verbaut ist. Das Fahrzeug muss daher an einer Ladesäule geladen werden und ist in dieser Zeit nicht als Angebot für Mobilitätsbedarfe verfügbar. Alternative Möglichkeiten wären der Batterietausch mit Ladung der Batterie an einer Ladestation unabhängig von den Fahrzeugen, oder die Ladung der Fahrzeuge durch eingebaute Solarpanels. Da die Solarpanels aufgrund von Größe, Leistungsfähigkeit und nicht sichergestellten durchgehenden Zugang zum Sonnenlicht in Städten (z.B. könnte ein Fahrzeug unter einer Brücke oder einem Baum stehen) nicht geeignet sind, nutzt das durchführende Unternehmen den Batterie-Tausch, der bei Versorgungsfahrten durchgeführt wird. Da auch diese Art der Betankung dafür sorgt, dass die Fahrzeuge für die Kunden nicht verfügbar sind, sollen diese Aktivitäten optimiert werden.

Der Mehrwert dieser Optimierung hängt dabei stark vom vorherigen Prozesszustand ab. Auch im Ausgangszustand des Prozesses wurden bereits datenbasierte Entscheidungen getroffen, indem die Roller für den Batterie-Tausch datenbasiert ausgewählt wurden. Auch die gewählte Route zwischen diesen Rollern wurde optimiert. Diese Schritte wurden zum Ausgangszeitpunkt des Forschungsvorhabens jedoch noch strikt nacheinander ohne Rückkopplung durchgeführt. Die Auswahl der Roller erfolgte zu diesem Zeitpunkt vor allem über operativ relevante Kriterien und hat nur teilweise die Position der Roller in Betracht gezogen. Die Routenoptimierung hat dadurch zwar eine optimale Route für ausgewählte Roller ermittelt, jedoch wurde dabei nicht die optimale Interaktion aus Rollerauswahl und Route berücksichtigt. Diese Prozessschritte waren zudem schleppend und von einer Vielzahl an manuellen Schritten geprägt. Für die operativen Mitarbeiter war die Planung der Versorgungsfahrten entsprechend mühsam und zeitaufwendig. Dies sollte im Forschungsvorhaben durch eine integrierte und automatisierte Optimierung ersetzt werden. Allein durch diese Aspekte schafft das Forschungsvorhaben einen großen Mehrwert, insbesondere auch durch die Skalierbarkeit der Lösung bei steigender Flottengröße und folglich steigendem Einsatz an parallel aufgewendeten Ressourcen für den Batterie-Tausch.

Umsetzung des Vorhabens

Darüber hinaus waren die geplanten Versorgungsfahrten starr. Die für die geplante Route ausgewählten Roller mussten zum Zeitpunkt der Routenplanung aus der Verfügbarkeit für die Kunden genommen werden, um für den Batterie-Tausch den Verbleib der Roller an Ort und Stelle zu gewährleisten. Dementsprechend begann spätestens zu diesem Zeitpunkt die Nicht-Verfügbarkeit der Roller und konnte somit bis zum Ende der Versorgungsfahrt andauern. Konnte eine Versorgungsfahrt nicht vollständig abgeschlossen werden, so wurden die übrigen Roller in einer späteren Versorgungsfahrt berücksichtigt und ihre Nicht-Verfügbarkeit verlängerte sich entsprechend. Kamen Roller während der Durchführung der Versorgungsfahrt zur Liste relevanter Kandidaten für einen Batterie-Tausch hinzu, so wurden diese für eine laufende Versorgungsfahrt nicht nachträglich in Betracht gezogen. Dabei war die Wahrscheinlichkeit hoch, dass diese Roller eine Verbesserung der Route hätten erreichen können. Der Aufwand, dies nachträglich zu verändern, wäre jedoch zu groß gewesen. Überdies gab es auch nur indirekte Möglichkeiten in die Route einzugreifen, wenn dies notwendig geworden wäre (z.B., wenn ein Kunde etwas in der Helmbox vergessen hat und ein operativer Mitarbeiter diese öffnen müsste). Generell war es mit den starren Touren nur bedingt und unter größerem Aufwand möglich, auf neue und veränderte Situationen zu reagieren. Durch die dynamische Optimierung, die im Forschungsvorhaben entwickelt wurde, werden diese Nachteile überwunden.

Ein letzter entscheidender Aspekt der Versorgungsfahrten, der durch das Projekt adressiert wurde, ist die Benutzerfreundlichkeit von Informationstechnologien im Prozess während der Versorgungsfahrten für die operativen Mitarbeiter. Wie oben erwähnt, war die Planung der Route der Versorgungsfahrt bereits umständlich und zeitraubend. Die Tätigkeiten am Roller selbst verlangen jedoch ebenso eine Interaktion mit Informationssystemen. Zum damaligen Zeitpunkt waren die Informationssysteme nicht auf die Prozesse ausgelegt, für die sie innerhalb der Versorgungsfahrten gebraucht und genutzt wurden. Dies war geprägt von schlechter Benutzbarkeit und fehlender Standardisierung bei wiederkehrenden Schritten und Aufgaben (z.B. Kommunikation und Dokumentation über Freitexte). Dies war einerseits fehleranfällig und führte darüber hinaus auch zu schwer nachvollziehbaren und identifizierbaren Fehlern. Aber auch grundsätzlich erschwerte dies die Auswertung der Tätigkeiten an den Rollern. Andererseits führte dies zur Frustration bei den operativen Mitarbeitern, da die Eingabe und Benutzung selbst zeitaufwendig war und sich durch Fehlerbehebung nochmals verlängerte. Das Forschungsvorhaben hat explizit nicht nur die Entwicklung einer Optimierung vorgesehen, sondern einer eigenen App für die Versorgungsfahrten und den Batterie-Tausch, um diesen Herausforderungen zu begegnen und die Arbeit für die Mitarbeiter intuitiver und komfortabler zu gestalten.

5.3.1 Eingeschränkte Fahrzeugverfügbarkeit aufgrund von Versorgungsfahrten

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, kommt es durch die Versorgungsfahrten zu Nicht-Verfügbarkeit von Rollern. Die Nicht-Verfügbarkeit eines Rollers beginnt in dem Moment, ab dem dieser für einen Batterie-Tausch vorgesehen wird und dadurch folglich nicht mehr für die Kunden in der mobilen App als verfügbar angezeigt wird. Ab dem Moment sollte die Batterie-Tausch-Optimierung dafür Sorge tragen, dass die Batterien auch möglichst schnell gewechselt werden. In der Tat ist insbesondere durch den Einsatz der entwickelten Batterie-Tausch-App diese Zeit in den meisten Fällen sehr kurz, wie Abbildung 20 darstellt. Limitierende Faktoren für die weitere Optimierung und Reduzierung der Nicht-Verfügbarkeit sind vor allem auf die Personaleinsatzplanung zurückzuführen. Ein schwacher Einfluss stammt hierbei aus der Schichtplanung, da diese bereits vor Auftreten der

Umsetzung des Vorhabens

Nachfrage erfolgt. Dementsprechend kann eine unerwartete Nachfragespitze dazu führen, dass Batterie-Tausche in einem geringeren Umfang möglich sind, als sie notwendig wären. Dieser Faktor ist eher als schwach anzusehen, da die Analyse des Nutzungsverhaltens und die Erfahrung in der operativen Planung des durchführenden Unternehmens dazu beitragen, dass derartige Fälle der Seltenheit unterliegen. Ein stärkerer Faktor sind dagegen die zu erwarteten Nachfragespitzen. Entsprechend einer ökonomisch sinnvollen Planung sind die Ressourcen für den Batterie-Tausch nicht auf vereinzelte Nachfragespitzen ausgelegt. Kommt es also an wetterbedingt besonders schönen Tagen zu derart hoher Nachfrage, dass zwischen Mieten kaum ein paar Minuten verstreichen, dann ist die Anzahl an Rollern, die in einem Zeitabschnitt neu für einen Batterie-Tausch in Frage kommen, sehr hoch. Diese Menge an Batterie-Tausch-Bedarfen kann nicht durch die vorhandenen Ressourcen gedeckt werden. Vielmehr kommt es zu einem leicht verzögerten Abbau der Bedarfe über den Zeitintervall der Mobilitätsnachfragespitze hinaus. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 20: Verteilung der Nicht-Verfügbarkeit

Auf der Mikroebene kann dies bereits im Tagesverlauf beobachtet werden. Entsprechend der Betrachtung des Nutzerverhaltens in Kapitel 5.2.2 ist bekannt, dass es zu zwei Nachfragespitzen im Tagesverlauf kommt. Die erste Nachfragespitze tritt am Morgen auf anlässlich des Pendelverkehrs. Die zweite Nachfragespitze entsteht am späten Nachmittag aufgrund von Pendelverkehr sowie den Fahrten zu Freizeit- und Erholungsaktivitäten. In Abbildung 21 ist dargestellt, ab welchem Zeitpunkt Roller für einen Batterie-Tausch in Frage kommen würden und wie lang diese Roller durchschnittlich nicht verfügbar sind. Während hier nur kleine Schwankungen der durchschnittlichen Zeit auftreten, so ähnelt die Kurve doch sehr der Nachfragekurve. Die Roller werden in den Nachfragespitzen in höherer Frequenz in den Zustand versetzt, dass ein Batterie-Tausch sinnvoll wäre. Zu diesen Zeitabschnitten der Mobilitätsnachfragespitzen ist die Menge an Batterie-Tausch-Bedarfen also höher als in den

Verlauf der Dauer der Nicht-Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Uhrzeit (an Werktagen)

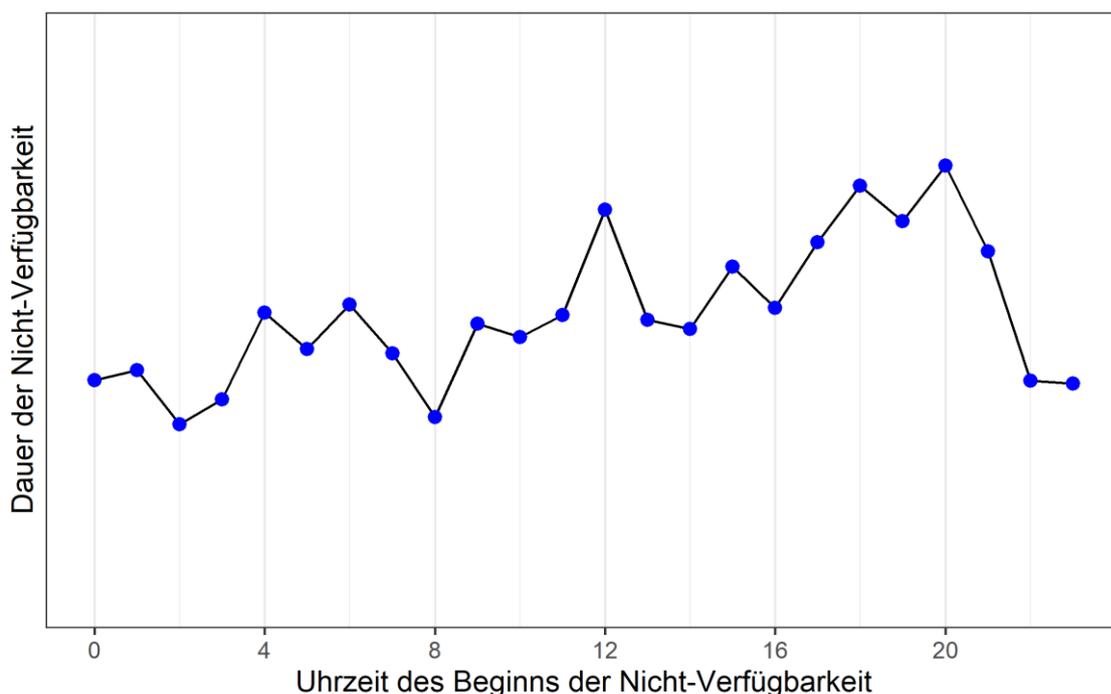


Abbildung 21: Tagesverlauf von Batterie-Tausch-Bedarfen

Umsetzung des Vorhabens

vorherigen und nachfolgenden Abschnitten. Um fair mit den operativen Mitarbeitern umzugehen und kurze Arbeitszeiten zu verhindern, werden jedoch keine Schichten nur für diese Nachfragespitzenintervalle geplant. Ebenso zu beobachten ist in Abbildung 21, dass der Verlauf im Vergleich zur Rollernachfrage leicht um einige Stunden versetzt ist. Dies hängt damit zusammen, dass zwischen dem Mobilitätsbedarf der Kunden und dem Batterie-Tausch-Bedarf der Roller die Nutzung der Roller durch die Kunden stattfindet und erst nach der Nutzung die Roller einen Batterie-Tausch-Bedarf aufweisen.

5.3.2 Batterie-Tausch-Optimierung

Die Optimierung der Versorgungsfahrten für den Batterie-Tausch bildet den Kern der entwickelten App. Wie in den vorherigen Kapiteln erwähnt, überschneiden sich die Kriterien einer optimalen Route aus wissenschaftlicher Sicht nicht vollständig mit den praktischen Anforderungen im operativen Einsatz. Ein praktisches Projekt, das in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung findet, ist das „On Road Integrated Optimization and Navigation“ (ORION) Projekt des Kurier-, Express- und Paket-Dienstleisters UPS (Holland et al., 2017), mit dem sich das vorliegende Forschungsvorhaben umfassend auseinandergesetzt hat. Mit Hinblick auf den Zeitumfang, die Projektmittel und den personellen Ressourcen ging dieses Projekt weit über die Möglichkeiten des vorliegenden Forschungsvorhabens hinaus. Daher konnte das Vorgehen von UPS im Forschungsvorhaben kaum nachgestellt werden. Jedoch bieten die Artikel und Berichte zum ORION-Projekt besondere Einblicke in die Herausforderungen im praktischen Einsatz einer dynamischen Routenoptimierung mit mehreren Stopps, die in der wissenschaftlichen Modellierung kaum Beachtung finden. Insbesondere die Wirkung einer dynamischen Optimierung auf die Fahrer muss berücksichtigt werden. Diese erwarten im Rahmen ihrer Tätigkeit zu einem gewissen Grad Stabilität und Planungssicherheit. Für das Forschungsvorhaben wurde daraus gelernt, dass beispielsweise ein einmal gesetztes Ziel durch die dynamische Optimierung nicht mehr verändert werden sollte. Ebenso sollte ein Fahrer nicht von einem Batterie-Tausch durch die halbe Stadt zum nächsten Batterie-Tausch geschickt werden, um daraufhin für den dritten Batterie-Tausch nahezu wieder zum Ort des ersten Tauschs zu müssen. Insgesamt wurden in der Optimierung einige praktische Nebenbedingungen berücksichtigt (siehe auch Kapitel 5.1.2), die mit den Eigenschaften der Route nur indirekt zusammenhängen, um ein relevantes und plausibles Ergebnis zu erzielen.

Das Optimierungsproblem im vorliegenden Anwendungsfall ist dynamisch und beinhaltet nicht-lineare Elemente. Das Ziel der Optimierung liegt in der Minimierung verschiedener Kosten, die sich teilweise konträr zueinander verhalten. Die nicht-linearen Aspekte tragen dazu bei, dass insbesondere von der Rechengeschwindigkeit her schnellere Verfahren zur optimalen Lösung des Problems, wie dem Simplex-Verfahren, hier nur bedingt einsetzbar sind bzw. ihre Schnelligkeit nicht ausgenutzt werden kann. Der dynamische Aspekt trägt im vorliegenden jedoch deutlich mehr zur Komplexitätssteigerung bei. Wie in der Prozessanalyse in Kapitel 5.1 ausführlich dargelegt, kann sich während einer Versorgungsfahrt die Situation für die Optimierung umfassend ändern. Ein Kunde kann einen Roller abstellen, der nach einer Miete und dem damit verbundenen Batterieverbrauch für einen Batterie-Tausch in Frage kommt. Auf der anderen Seite kann ein Kunde einen Roller nehmen, der bereits als Kandidat für den Batterie-Tausch in Betracht kam, aber für eine Miete eines Kunden noch genug Batteriefüllstand bereithält. Diese sehr hohe Dynamik schließt verschiedene beschleunigende Lösungsansätze aus. In Verbindung mit einem Expertengespräch kam unter anderem die

Umsetzung des Vorhabens

Herangehensweise einer Nachoptimierung in Betracht. Dieses Verfahren wird beispielsweise in der Routenplanung eingesetzt, um Umfahrungen zu generieren, wenn auf der Route neue Unfälle, Staus oder Baustellen auftreten. In diesem Fall würde eine optimale Route berechnet und bei einer Veränderung der Situation würde auf die beste Lösung unter geringster Veränderung der bestehenden Route hin optimiert werden. Dies reduziert den Lösungsraum deutlich und beschleunigt folglich die Lösungssuche. Das vorliegende Problem ist dafür jedoch eben viel zu dynamisch. Weiterhin kommt hier zum Tragen, dass nicht nur eine einzelne Versorgungsfahrt optimiert wird, sondern parallel mehrere Fahrten stattfinden. Eine Veränderung einer Versorgungsfahrtenroute durch das Verschwinden oder Erscheinen eines Rollers im Spektrum relevanter Kandidaten für einen Batterie-Tausch, kann indirekt Auswirkungen auf eine andere Route haben. So kann es zu einer Verkettung von Verschiebungen des Optimums kommen, weil sich der Zustand eines einzigen Rollers verändert hat.

Optimierungsparameter können über Einstellungen der operativen Planung weiterhin beeinflusst werden. Somit besteht die Möglichkeit, auf Veränderungen oder besondere Situationen im Geschäftsgebiet angemessen zu reagieren. Ebenso können in der operativen Planung zusätzliche Filter gesetzt werden, um die Optimierung zu beeinflussen. Sollte es beispielsweise notwendig sein, dass ein Roller innerhalb einer Versorgungsfahrt oder eines absehbaren Zeitraums angefahren werden muss, kann dies explizit berücksichtigt werden. Ebenso können Roller aus der Planung herausgehalten werden, wenn bestimmte Bedingungen vorliegen, die gegen den Batterietausch eines Rollers sprechen. Diese Flexibilität bei den Optimierungsparametern wird aber ebenso nur dann gewährleistet, wenn die Veränderungen auch zeitnah in der Optimierung der Versorgungsfahrten berücksichtigt werden. Ändert sich die Situation im Geschäftsgebiet so, dass von der operativen Planung eingegriffen werden muss und Parameter verändert werden, müssen die Versorgungsfahrt auch zügig darauf angepasst werden. Werden die Versorgungsfahrten so wie vor der Situationsveränderung geplant zu Ende gefahren, bleiben die Handlungen der operativen Planung ohne Bedeutung. Aufgrund der Dynamik, die dem Optimierungsproblem sowieso schon zu Grunde liegt, sorgt dies im vorliegenden Fall für keine zusätzlichen Anforderungen. Jedoch unterstreicht es die Notwendigkeit, dass die Optimierung stetig neu berechnet wird.

Für den vorgesehenen praktischen Einsatz unter Berücksichtigung des vorliegenden Bedarfs danach, die Dynamik zu beherrschen, liegt es auf der Hand, dass eine kurze Rechenzeit notwendig ist. Die Komplexität des Problems verhindert so in Kombination mit der Anforderung an die Rechenzeit, dass ein global optimierendes Verfahren zum Einsatz kommen kann. Daher wurde für das vorliegende Optimierungsproblem ein heuristisches Verfahren gewählt, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Folglich stellen die erzeugten Routen lokale Optima dar. Ohne zukünftige Batterie-Tausch-Bedarfe exakt zu kennen bzw. mit sehr hoher Genauigkeit vorhersagen zu können, ist die Erreichung des globalen Optimums für das vorliegende Optimierungsproblem jedoch nahezu unerreichbar.
[vertraulicher Teil ausgelassen]

5.3.3 Batterie-Tausch-App

Die Batterie-Tausch-App stellt das Medium bzw. das greifbare Produkt dar, durch welches das Optimierungsmodell den Prozess verändert und die Mitarbeiter mit diesen Veränderungen in Kontakt bringt. Aufgrund der oben beschriebenen Herausforderungen für die operativen Mitarbeiter im Umgang mit den Informationssystemen in den bis dahin vorhandenen Möglichkeiten war die

Umsetzung des Vorhabens

Entwicklung einer besseren und individuelleren Handhabung zwingend erforderlich. Folglich war die Einbeziehung des operativen Personals in den Entwicklungsprozess unabdingbar. Daher wurden in Workshops mit den Mitarbeitern Ideen gesammelt und Zwischenstände diskutiert. Der Beitrag der Befragten hatte dabei einen großen Mehrwert für die Entwicklung. So wurde ein besseres Verständnis über die Herausforderungen während der Versorgungsfahrten erlangt, Sonderfälle im Prozess konnten gesammelt werden und Anforderungen wurden vervollständigt und in den Kontext von einzelnen Handhabungsschritten gesetzt.

Ein weiter essenzieller Entwicklungsschritt war darüber hinaus der Test der Lösung. Zu diesem Zweck wurden Versorgungsfahrten im Entwicklungsprozess begleitet, um Erfahrungen mit Prototypen zu sammeln. Für fortgeschrittene Versionen wurde des Weiteren stetig das Feedback des operativen Personals eingeholt. Insbesondere auf unerwartetes und fehlerhaftes Verhalten der App wurde genauestens geachtet. Hierbei konnte es einerseits zu Verhalten kommen, dass nur im Einsatz auf der Straße nachvollziehbar ist. Beispielsweise können die erfahrenen operativen Mitarbeiter fundiertere Aussagen darüber treffen, ob eine Route für eine Versorgungsfahrt ineffizient oder gar „kryptisch“ war. Andererseits werden Fehler in der App erst im Praxiseinsatz deutlich, wenn Roller innerhalb einer Route doppelt angefahren werden oder eine falsche Position von Rollern angezeigt wird. Nach der initialen Fertigstellung der App wurde die Sammlung von Feedback in unregelmäßigen Abständen weiterbetrieben, um die App stetig zielorientierter zu gestalten, nutzerfreundlicher zu machen und selbstverständlich auf Veränderungen zu reagieren. Abbildung 22 zeigt ausgewählte Ansichten der App. [vertraulicher Teil ausgelassen]

Abbildung 22: Ausgewählte Ansichten der Batterie-Tausch-App

Neben dem Routing der Versorgungsfahrten und der vereinfachten Führung durch die Prozesse ist durch die App auch die Kommunikation zwischen operativer Planung und den operativen Mitarbeitern möglich. Somit können dringende Aufgaben direkt kommuniziert werden oder auf einfache Art und Weise nachträglich in die Route einer Versorgungsfahrt eingeordnet werden. Ebenso kann der operative Mitarbeiter schnell Informationen zurückspielen, sollte sich die Situation am Roller anders darstellen, als erwartet. Selbstverständlich wird damit auch der bilaterale Austausch möglich. Sollte beispielsweise ein Roller nicht an der erwarteten Position stehen, was auf einen Fehler im GPS zurückzuführen ist, kann die GPS-Position überprüft und aktualisiert werden. Die operativen Mitarbeiter auf einer Versorgungsfahrt haben insgesamt durch die App einen einfacheren Zugang zur operativen Planung sowie den technischen Experten, die mit der operativen Planung in Kontakt stehen, und finden darin einen allgemeinen Ansprechpartner sowie die Möglichkeit, spezielle technische Fragen zu stellen.

Zuletzt ist es durch die App, die damit verbundene Infrastruktur im Backend und die höhere Standardisierung der Prozesse ebenso möglich, die Versorgungsfahrten detaillierter auszuwerten. Entsprechend können mehr daten-basierte Erkenntnisse über die Versorgungsfahrten gesammelt werden und damit weitere Verbesserungspotentiale identifiziert und Verbesserungsinitiativen umfassender bewertet werden. Hierbei liegt der Fokus klar auf der Auswertung der Planung und der Prozessgestaltung. In Summe hat die App einen beträchtlichen Wertbeitrag auf vielfältige Art und Weise geleistet. Neben dem erzielten Fortschritt durch die App selbst, bildet sie die Grundlage für

Umsetzung des Vorhabens

systematische und zweckgerichtete Weiterentwicklung der operativen Prozesse in Planung sowie auch Durchführung.

6 Abweichungen vom Projektplan während der Umsetzung

Die Abweichungen des Projektplans und die praktische Umsetzung des Forschungsvorhabens müssen im Kontext ihres Umfeldes und ihrer Herausforderungen bewertet werden. Innerhalb des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es zu Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Projektplan und der geplanten Durchführung gekommen. Zum Ersten wurden strukturelle Veränderungen gegenüber dem geplanten Ablauf und der Arbeitsaufteilung vorgenommen, die sich aus dem Projekt heraus ergeben haben, sowie aus strategischen Entscheidungen des Unternehmens resultiert sind. Zum Zweiten ist es stellenweise zu Verzögerungen gekommen. Zuletzt konnte eines der Forschungsziele nicht erreicht werden. Im Folgenden sollen diese Punkte näher betrachtet werden.

Strukturelle Veränderungen gegenüber dem Plan und der geplanten Durchführung:

Die Planung des Projekts hatte initial für Arbeiten an Backend-Systemen und die Implementierung der Modelle einen externen Dienstleister vorgesehen. Während der Aufstellung des Projektplans befand sich die App-Entwicklung bei einem externen Dienstleister, wodurch die Vergabe der Arbeiten am Backend-System ebenso notwendig gewesen wäre.

- Im Zeitraum der Projektdurchführung wurde die App-Entwicklung aus strategischen Gründen jedoch in das Unternehmen verlagert. Folglich wurden zunehmend interne IT-Ressourcen aufgebaut, welche die Kompetenz für Arbeitspakete mit sich gebracht haben, die laut Plan über den externen Dienstleister eingeholt werden sollten. Dadurch wurden zunächst einzelne Aufgaben auch an die internen IT-Ressourcen vergeben.

Im Projektverlauf hat sich darüber hinaus die Zusammenarbeit und der regelmäßige Austausch mit weiteren Mitarbeitern des durchführenden Unternehmens zunächst organisch entwickelt. Im Laufe des Projekts wurde dieser Austausch zunehmend als unabdingbar bewertet, um die Projektergebnisse zu verbessern und den operativen Nutzen der Projektergebnisse sicher zu stellen. Überdies wurden zunehmend Methoden des agilen Arbeitens eingesetzt (z.B. Sprints mit iterativer Ergebnisdiskussion), welche die moderne Arbeitsweise für vergleichbare Projekte darstellt. Aufgrund der beobachteten Vorteile der Co-Lokation der Projektmitarbeiter mit operativen Mitarbeitern, der Notwendigkeit des hochfrequenten Austauschs und der vorhandenen Kompetenz in der IT wurde der IT-Anteil nicht weiter an den externen Dienstleister vergeben.

Verzögerungen:

Verzögerungen haben sich in verschiedenen Arbeitspaketen des Forschungsvorhabens ergeben und haben sich untereinander gegenseitig beeinflusst. Insbesondere hervorzuheben sind die ersten Arbeitspakete, für deren Durchführung die vorgezogene Umsetzung von späteren Arbeitspaketen notwendig wurde, wie in Kapitel 4.2 beschrieben.

- Aufgrund der zur Verfügung stehenden Mittel zu Beginn des Projektstarts, der Form und Qualität der Daten und der Heterogenität der Datenquellen hat die manuelle Auswertung zu Projektbeginn deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen, als initial geplant war. In sich selbst ist es in diesem Bereich zu Verzögerungen von maximal einem Quartal gekommen.

Abweichungen vom Projektplan während der Umsetzung

- Überdies stand das Unternehmen bei Projektbewerbung und -start in einer starken Abhängigkeit zu einem Drittanbieter, der unter anderem die Verantwortung der App-Entwicklung bis zur firmeninternen Lösung trug. So konnte die Entwicklung von wichtigen, neuen Funktionen in der App, wie beispielsweise das Tracken neuer Kennzahlen über das Nutzerverhalten, nicht ohne weitere Absprachen umgesetzt werden, was langfristig zu Verzögerungen im Forschungsprojekt geführt hat.

Da zudem Datenquellen teilweise sehr zeitaufwendig erschlossen werden mussten, kam es zu weiteren Verzögerungen in den ersten Arbeitspaketen.

- Insbesondere die Feststellung, dass operative Tätigkeiten die Daten verfälschen, haben zu einer Umstrukturierung der Arbeitspakete für die Relokalisierung und die Akku-Tausch-Optimierung geführt. Im Letzteren konnten die notwendigen Daten erhoben und erschlossen werden, um die Verfälschungen der Daten für den ersten Punkt zu bereinigen. Letztendlich wurden dadurch die Arbeitspakete 1 bis 3 zur Modellierung der Relokalisierung um etwa zwei bis drei Quartale verzögert.
- Diese Umstrukturierung führte zu zusätzlichen Verzögerungen, da der Aufwand für die Umsetzung der Akku-Tausch-Optimierung unterschätzt wurde und mehr Zeit als ursprünglich geplant in Anspruch genommen hat. Dieser Punkt macht weniger als ein Quartal der oben beschriebenen Verzögerung aus.

Folgende unzureichende Ergebnisse haben darüber hinaus dazu beigetragen, dass Arbeitspakete verschoben wurden.

- Durch die ungenügenden Ergebnisse in der Modellierung der Relokalisierung wurden davon abhängige Arbeitspakete zunächst nicht gestartet. Diese Arbeitspakete wurden letztendlich mit einem ungenügenden Relokalisierungsmodell begonnen, um die Entwicklung an dieser Stelle nicht weiter aufzuhalten. Folglich ist es zu Verzögerungen der fortfolgenden Arbeitspakete für die IT-seitige Implementierung der Modelle um ein weiteres halbes Jahr gekommen.

Unerreichte Ziele:

Es konnte bis zum Projektabschluss keines der aufgestellten Relokalisierungsmodelle erfolgreich in allen Testphasen mit einem positiven Nutzen getestet und bewertet werden. Dazu haben zwei getrennt zu betrachtende Effekte maßgeblich beigetragen.

- Das beobachtete Nutzungsverhalten ist zu volatil und dynamisch, als dass die Aufgabe der Vorhersage der Standzeiten von Rollern von den aufgestellten Modellen mit den zugrundeliegenden Daten in ausreichender Genauigkeit erfüllt werden konnte. Zu Projektende wurden sehr komplexe Modelle mit sehr vielen Modellierungsschritten aufgestellt, die umfassende Variablen auch über Zeitreihen- und Clustering-Verfahren erzeugen und diese in solchen Ensemble-Methoden nutzen, die mehrere hyperoptimierte Verfahren des Maschinellen Lernens verbinden. Des Weiteren wurden verschiedene Ansätze der zyklischen Erneuerung und Anpassung der Modelle verfolgt. Die Ergebnisse aus den ersten Stufen des Tests waren dabei vielversprechend und werden über das Projekt hinaus getestet. Es ist jedoch

Abweichungen vom Projektplan während der Umsetzung

durchaus als realistisch einzuschätzen, dass die vorhandenen Daten und Verfahren die Dynamik und Volatilität grundsätzlich nicht im gewünschten Maße abbilden können und daher das angestrebte Projektziel nicht erreichbar machen.

- Zum Ende des Projekts mussten weitere Tests abgebrochen werden, da sich durch die Einschränkungen des alltäglichen Lebens durch die Ausbreitung des Coronavirus das Nutzungsverhalten deutlich verändert hatte. Die Modelle, die bis zum Auftreten der Einschränkungen des gesellschaftlichen Lebens aufgrund des Coronavirus erstellt wurden, wurden auf andere Muster des Nutzungsverhaltens trainiert und ein Test auf die veränderten Muster wäre weder vielversprechend noch fair gewesen. Die Alternative, Daten über die veränderten Muster zu sammeln, konnte ebenfalls nicht umgesetzt werden. Die Muster haben sich sehr schnell wieder verändert einhergehend mit den Veränderungen des Umgangs der Gesellschaft mit dem Virus. Daher war es nicht möglich einen ausreichend großen Datensatz für das Training der Verfahren zusammen zu stellen. Schlussendlich mussten Tests aufgrund der Pandemie abgebrochen werden.

7 Verwendung der Zuwendung

Dieses letzte Kapitel des Abschlussberichts steht in Verbindung mit den Berichtspflichten des Forschungsvorhabens. Es gibt dem Leser Einblicke in kommentierender Form über die nicht-öffentlichen Berichte, die gegenüber dem Projektträger abgelegt wurden (insbesondere jährliche Zwischenberichte, die Schlussrechnung und der Erfolgskontrollbericht). Die nachfolgenden Abschnitte gehen auf die Kosten des Forschungsvorhabens, dessen Notwendigkeit und die Verwertung der Ergebnisse ein.

7.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind in den Zwischennachweisen und der Schlussrechnung, die dem Projektträger VDI/VDE-IT vorliegen, dokumentiert. Im Folgenden sollen relevante Einzelpositionen aufgegriffen werden, die für die Durchführung des Projekts besondere Bedeutung haben.

Die größte Position der entstandenen Kosten sind die Personalkosten für Projektmanagement und IT. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass die Mitarbeiter auf den Stellen für Projektmanagement ebenso die datenanalytischen Aufgaben im Projekt übernommen haben, was durch die Benennung der Stelle nicht deutlich wird. Neben der Planung von Arbeitspaketen, administrativen Aufgaben, der Kommunikation mit internen und externen Partnern, der Organisation von Workshops, und der Prozessanalyse wurden von dieser Stelle auch die Modellierung und Datenanalyse übernommen. Diese Aufgaben wurden kontinuierlich über den gesamten Projektzeitraum durchgeführt und haben vom zeitlichen Aufwand her den Bedarf nach mindestens einem Vollzeitäquivalent verlangt. Auf der anderen Seite beinhaltet die IT-Stelle die Aufgaben der Entwicklungsarbeiten an App, Backend, Datenbanken und den zugrundeliegenden Infrastrukturen. Wie in den vorherigen Kapiteln dargelegt, war ein geringerer interner Einsatz von IT-Mitarbeitern im Forschungsvorhaben geplant als es die Arbeiten im Forschungsvorhaben letztendlich verlangt haben. An dieser Stelle sind daher Mehrkosten entstanden. Der Einsatz dieser Mitarbeiter war stark von den zu bearbeitenden Aufgaben abhängig und hat durchschnittlich etwa 40 – 60 % eines Vollzeitäquivalents verlangt.

Beide Stellen wurden zusätzlich von Werkstudenten bzw. Praktikanten unterstützt. Diese Aufwände werden buchhalterisch als Sachkosten behandelt. Der tatsächliche Umfang des Einsatzes der Werkstudenten bzw. Praktikanten ging dabei ebenso über den geplanten Einsatz hinaus. Bei wechselnden Kompetenzfeldern dieser studentischen Hilfskräfte unterstützten diese bei unterschiedlichen Arbeitspaketen und Aufgaben des Forschungsvorhabens. Deutliche Unterstützung leisteten sie insbesondere in administrativen Aufgaben, der Prozessanalyse, in der Literaturrecherche, der Programmierung der Batterie-Tausch-App und der Modellierung. Hinzu kommen vielfältigere kleinere Aufgaben. Somit haben sie einen vielfältigen und deutlichen Mehrwert für das Forschungsvorhaben geleistet.

Ein mit den Personalkosten eng verbundener Posten der Sachkosten sind Kosten für Weiterbildungen. Zunächst muss dabei beachtet werden, dass obwohl der Einsatz der Methoden des Maschinellen Lernens die Fähigkeiten bei Programmiersprachen wie R und Python voraussetzt, es sich hierbei um keine klassischen IT-Kompetenzen handelt. Für den Einsatz dieser Methoden mussten also die Kompetenzen bei der Stelle des Projektmanagements aufgebaut werden. Heutzutage ist dafür auch

Verwendung der Zuwendung

eine Vielzahl an kostenfreien Quellen verfügbar. Zur Wahrung der Qualität und Aktualität der Weiterbildung wurde jedoch unter anderem auch auf kostenpflichtige Inhalte zurückgegriffen.

Eine letzte große Position der Sachkosten, die hier erwähnt sein soll, sind die Kosten für das Hosting der neu geschaffenen Infrastrukturen. Um die Daten zu beziehen, die Modelle zu implementieren und die Batterie-Tausch-App zu betreiben, war es notwendig, die entsprechenden Infrastrukturen dahinter bei einem passenden Anbieter zu hosten. Dieser sollte sich neben dem Betrieb auch mit der entsprechenden Sicherung und Sicherheit der Systeme beschäftigen. Mit Übergang der Systeme in den operativen Betrieb wurden die dabei entstehenden Kosten nur noch teilweise dem Projekt zugerechnet.

7.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die praktische Relevanz der Datenanalyse für die Prognoseerstellung (AP 1) ergibt sich aus dem Bedarf nach ressourcenschonendem und effizientem Handeln. Dieses Handeln wird dadurch erreicht, dass Ressourcen zielorientiert zur Angebotserzeugung eingesetzt werden, um den Bedarf der Kunden so zu decken, dass die geringstmögliche Menge an Ressourcen verwendet wird. Die angemessene Reaktion auf die Nachfrage der Kunden in modernen dynamischen und agilen Märkten setzt jedoch voraus, dass die Nachfrage möglichst präzise prognostiziert wird. Möglichst genaue Prognosen verlangen datenanalytische Methoden, die Daten über die Nutzung und externe Einflüsse verarbeiten und Aussagen über zukünftiges Verhalten mit hoher Genauigkeit ermöglichen.

Die Notwendigkeit der nutzerbasierten Relokalisierung (AP 2 – 6, 10) wurde im Projektantrag für das Forschungsvorhaben ausführlich dargelegt. Fehlt ein regulierendes Eingreifen in ein Free-Floating-Sharing-System, wird die Verfügbarkeit von Fahrzeugen fortwährend reduziert und das System verliert die Fähigkeit, Mobilitätsbedarfe zu decken. Dadurch erlischt für die Nutzer, die nicht bereit oder nicht in der Lage sind, sich ein eigenes Fahrzeug anzuschaffen, der Zugang zu individueller Mobilität – ein Kernmerkmal des Mobilitäts-Sharings. Durch die Setzung von richtigen Anreizen im Rahmen der nutzerbasierten Relokalisierung kann das System durch minimales Eingreifen in einen nahezu selbstregulierenden Zustand versetzt werden.

Neben der Regulierung des Free-Floating-Sharing-Systems ist auch die Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge unabdingbar, um deren Verfügbarkeit und somit die Mobilitätsbedarfsdeckung durch die Fahrzeuge zu gewährleisten. Ein essenzieller Bestandteil besteht in der Sicherstellung der Energieversorgung der Fahrzeuge, welche durch den ständigen Austausch der Akkus erreicht wird. Um die Nicht-Verfügbarkeit der Fahrzeuge bedarfsgerecht zu minimieren, ist eine datenbasierte Optimierung des Prozesses notwendig (AP 7 – 9). Aufgrund der sich dynamisch ändernden Situation durch die kontinuierliche Nutzung der Fahrzeuge durch die Kunden bestehen an diese Optimierung hohe Ansprüche bzgl. Flexibilität und Rechenzeit. Die Deckung des Mobilitätsbedarfs kann nur dadurch bestmöglich sichergestellt werden, wenn diese Optimierung stetig durchgeführt wird, während sich ein Versorgungsfahrzeug bereits on-Route befindet, was ein sehr hohes Komplexitätsniveau für diese Aufgabe bedeutet.

7.3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Aus Sicht der wissenschaftlichen Verwertung stehen aktuell keine finalen Erkenntnisse über die verhaltensökonomische Wirkung der Anreize in der nutzerbasierten Relokalisierung zur Verfügung.

Verwendung der Zuwendung

Das Forschungsvorhaben konnte innerhalb des Projektzeitraums aufgrund der Komplexität vorhergehender Entwicklungen und des externen Einflusses der Corona-Pandemie diese Fragestellung bisher nicht beantworten. Insbesondere Fragestellungen zur Häufigkeit des Gebrauchmachens der Anreize, die daraus resultierende Bewegungsrichtung (z.B. Häufigkeit der Bewegung in Zonen mit ebenso schwacher Nachfrage) sowie die Interaktion mit externen Einflüssen werden bei weiteren Arbeiten am Relokalisierungsmodell eine wichtige Rolle spielen. Eine wissenschaftliche Verwertung derartiger Ergebnisse ist davon abhängig, ob der Erkenntnisreichtum aus den zukünftig gewonnenen Ergebnissen für die wissenschaftliche Gemeinschaft als interessant betrachtet wird.

Die Erkenntnisse zum Nutzerverhalten und daraus abgeleiteter Prognosen werden intern vielfältig verwertet. Die Antizipation des kurz- bis langfristigen Verhaltens der Nutzer sind zentraler Bestandteil der Planung und Durchführung der operativen Prozesse von emmy. Daher werden die Erkenntnisse sowie dem vorgelagert die Infrastrukturen zur kontinuierlichen Erzeugung weiterer Kenntnisse beständig genutzt. Für die Verwertung über das Projekt hinaus wurden aggregierte Informationen zum Nutzungsverhalten in die mCLOUD hochgeladen.

Wie diesem Bericht zu entnehmen ist, wird die entwickelte Akku-Tausch-App ebenso intern verwertet und wird von den Mitarbeitern in den operativen Prozessen verwendet. Eine wirtschaftliche Verwertung dieser App über die interne Nutzung hinaus wird nicht angestrebt. Der damit verbundene Aufwand wäre unter Berücksichtigung des potenziellen Kundenkreises und des Kerngeschäfts von emmy nicht angemessen. Des Weiteren befindet sich die App in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Die entwickelten Infrastrukturen zum Betrieb von Backend und App werden aus wettbewerblichen Gründen nicht wirtschaftlich verwertet.

Durch die hinzu gewonnenen Kenntnisse im Bereich des Einsatzes von datenanalytischen Methoden konnte emmy seine Ausgangsposition für zukünftige Projekte zur datenbasierten Prozessoptimierung verbessern. Die Erkenntnisse können auf zukünftige Fragestellungen bezüglich der Identifikation von Unwirtschaftlichkeit in Prozessen, der Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen oder vorausschauender Planung angewandt werden. Dies sorgt für eine langfristige Verwertung in Form von stetig nachhaltigeren Prozessen.

Literaturverzeichnis

- Aeschbach, P., Zhang, X., Georghiou, A., & Lygeros, J. (2015). Balancing bike sharing systems through customer cooperation—a case study on London’s Barclays Cycle Hire. *2015 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, 4722–4727.
- Albinski, S. J. (2015). *A branch-and-cut method for the Vehicle Relocation Problem in the One-Way Car-Sharing*.
- Belk, R. (2014). You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online. *Journal of Business Research*, 67.
- Biondi, E., Boldrini, C., & Bruno, R. (2016). Optimal charging of electric vehicle fleets for a car sharing system with power sharing. *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1–6.
- BMW. (2018). *Den digitalen Wandel gestalten*. Digitalisierung. <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Dossier/digitalisierung.html>
- BMW. (2019). *Elektromobilität in Deutschland*. Elektromobilität. <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html>
- Boldrini, C., Incaini, R., & Bruno, R. (2017). Relocation in car sharing systems with shared stackable vehicles: Modelling challenges and outlook. *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1–8.
- Botsman, R. (2010). *Rachel Botsman: The case for collaborative consumption* [TED Talk]. TEDxSydney, Sydney. https://www.ted.com/talks/rachel_botsman_the_case_for_collaborative_consumption/transcript
- Botsman, R. (2013). The sharing economy lacks a shared definition. *Fast Company*, 21, 2013.
- Botsman, R. (2015). Defining the sharing economy: What is collaborative consumption—and what isn’t. *Fast Company*, 27, 2015.
- Boyacı, B., Zografos, K. G., & Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 718–733.
- Brandstätter, G., Gambella, C., Leitner, M., Malaguti, E., Masini, F., Puchinger, J., Ruthmair, M., & Vigo, D. (2016). Overview of optimization problems in electric car-sharing system design and management. In *Dynamic perspectives on managerial decision making* (S. 441–471). Springer.
- Brandstätter, G., Kahr, M., & Leitner, M. (2017). Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 17–35.
- Brendel, A. B., Brauer, B., & Hildebrandt, B. (2016). *Toward user-based relocation information systems in station-based one-way car sharing*.

Literaturverzeichnis

- Brinkmann, J., Ulmer, M. W., & Mattfeld, D. C. (2015). Short-term strategies for stochastic inventory routing in bike sharing systems. *Transportation Research Procedia*, *10*, 364–373.
- Brinkmann, J., Ulmer, M. W., & Mattfeld, D. C. (2016). Inventory routing for bike sharing systems. *Transportation research procedia*, *19*, 316–327.
- Bruglieri, M., Colorni, A., & Luè, A. (2014A). The vehicle relocation problem for the one-way electric vehicle sharing: An application to the Milan case. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *111*, 18–27.
- Bruglieri, M., Colorni, A., & Luè, A. (2014). The relocation problem for the one-way electric vehicle sharing. *Networks*, *64*(4), 292–305.
- Bundesregierung, D. (2018). Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. *Die Bundesregierung*, Berlin.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1550276/3f7d3c41c6e05695741273e78b8039f2/2018-11-15-ki-strategie-data.pdf?download=1>
- Bundesverband CarSharing e.V. (2020). *Aktuelle Zahlen und Daten zum CarSharing in Deutschland*.
<https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-daten-zum-carsharing-deutschland>
- Caggiani, L., & Ottomanelli, M. (2012). A modular soft computing based method for vehicles repositioning in bike-sharing systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *54*, 675–684.
- Caggiani, L., & Ottomanelli, M. (2013). A dynamic simulation based model for optimal fleet repositioning in bike-sharing systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *87*, 203–210.
- car2go Group GmbH (Hrsg.). (2017). *Factsheet car2go*.
https://www.car2go.com/media/data/germany/microsite-press/files/factsheet-car2go_november-2017_en.pdf
- Cavanagh, K. (2017). *Operational Challenges in Servicizing the Transportation Industry*.
- Chen, B., Pinelli, F., Sinn, M., Botea, A., & Calabrese, F. (2013). Uncertainty in urban mobility: Predicting waiting times for shared bicycles and parking lots. *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, 53–58.
- Cohen, B., & Kietzmann, J. (2014). Ride on! Mobility business models for the sharing economy. *Organization & Environment*, *27*(3), 279–296.
- Consultancy.uk. (2015). *The 25 cities in Europe with the highest traffic congestion*.
<https://www.consultancy.uk/news/2558/the-25-cities-in-europe-with-the-highest-traffic-congestion>
- Contardo, C., Morency, C., & Rousseau, L.-M. (2012). *Balancing a dynamic public bike-sharing system* (Bd. 4). Cirrelt Montreal, Canada.

Literaturverzeichnis

- De Lorimier, A., & El-Geneidy, A. M. (2013). Understanding the factors affecting vehicle usage and availability in carsharing networks: A case study of Communauto carsharing system from Montréal, Canada. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(1), 35–51.
- Degele, J., Gorr, A., Haas, K., Kormann, D., Krauss, S., Lipinski, P., Tenbih, M., Koppenhoefer, C., Fauser, J., & Hertweck, D. (2018). Identifying e-scooter sharing customer segments using clustering. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–8.
- Dütschke, E., Schneider, U., Schlosser, C., Sevin, D., & Wilhelm, T. (2016). Elektromobile Sharing-Angebote: Wer nutzt sie und wie werden sie bewertet? *Begleitforschung zu den Modellregionen Elektromobilität des BMVI — Ergebnisse des Themenfeldes Nutzerperspektive*.
- Eccarius, T., & Lu, C.-C. (2020). Adoption intentions for micro-mobility—Insights from electric scooter sharing in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84, 102327.
- Fanti, M. P., Mangini, A. M., Roccotelli, M., Silvestri, B., & Digiesi, S. (2019). Electric Vehicle Fleet Relocation Management for Sharing Systems based on Incentive Mechanism. *2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1048–1053.
- Febbraro, A., Sacco, N., & Saeednia, M. (2012). One-way carsharing: Solving the relocation problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2319(4), 113–120.
- Feng, Y., & Wang, S. (2017). A forecast for bicycle rental demand based on random forests and multiple linear regression. *2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 101–105.
- Folkestad, C. A., Hansen, N., Fagerholt, K., Andersson, H., & Pantuso, G. (2020). Optimal charging and repositioning of electric vehicles in a free-floating carsharing system. *Computers & Operations Research*, 113, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104771>
- Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 216–227.
- Freese, C., Schönberg, A. T., & Horstkötter, D. (2014). Shared mobility: How new businesses are rewriting the rules of the private transportation game. *Roland Berger Strategy Consultants, München*.
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., & Pantziou, G. (2016). Design and management of vehicle-sharing systems: A survey of algorithmic approaches. In *Smart cities and homes* (S. 261–289). Elsevier.
- Hamari, J., Sjöklint, M., & Ukkonen, A. (2016). The sharing economy: Why people participate in collaborative consumption. *Journal of the association for information science and technology*, 67(9), 2047–2059.
- Hardt, C., & Bogenberger, K. (2016). The Price of Shared Vehicles—On current and future Pricing Strategies in Mobility Sharing Systems. *Transp. Res. Board 95th Annu. Meet.*

Literaturverzeichnis

- Herrmann, S., Schulte, F., & Voß, S. (2014). Increasing acceptance of free-floating car sharing systems using smart relocation strategies: A survey based study of car2go Hamburg. *International conference on computational logistics*, 151–162.
- Holland, C., Levis, J., Nuggehalli, R., Santilli, B., & Winters, J. (2017). UPS optimizes delivery routes. *Interfaces*, 47(1), 8–23.
- Hülsmann, F., Wiepking, J., Zimmer, W., Schmolck, B., Schönau, M., Waldenfels, R., Sunderer, G., Götz, K., & Sprinke, Y. (2018). Share–Wissenschaftliche Begleitforschung zu car2go mit batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen. *Laufendes Forschungsvorhaben, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Präsentation Zwischenergebnisse Juni*. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/share-Wissenschaftliche-Begleitforschung-zu-car2go-mit-batterieelektrischen-und-konventionellen-Fahrzeugen.pdf>
- Jorge, D., & Correia, G. (2013). Carsharing systems demand estimation and defined operations: A literature review. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 13(3), 201–220. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2013.13.3.2999>
- Jorge, D., Correia, G. H., & Barnhart, C. (2014). Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4), 1667–1675.
- Ko, J., Ki, H., & Lee, S. (2019). Factors affecting carsharing program participants' car ownership changes. *Transportation Letters*, 11(4), 208–218.
- Kortum, K., & Machemehl, R. P. E. (2012). *Free-Floating Carsharing Systems Innovations in membership prediction, mode share, and vehicle allocation optimization methodologie.pdf*. University of Texas at Austin.
- Kuhnimhof, T., & Nobis, C. (2018). *Mobilität in Deutschland- MiD: Ergebnisbericht*.
- Liu, J., Sun, L., Li, Q., Ming, J., Liu, Y., & Xiong, H. (2017). Functional zone based hierarchical demand prediction for bike system expansion. *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 957–966.
- Martin, C. J. (2016). The sharing economy: A pathway to sustainability or a nightmarish form of neoliberal capitalism? *Ecological economics*, 121, 149–159.
- Nationale Plattform Elektromobilität. (2018). Fortschrittsbericht 2018–Markthochlaufphase. *Berlin, Germany, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung GGMEMO (Ed.)*.
- Neumann-Saavedra, B. A., Vogel, P., & Mattfeld, D. C. (2015). Anticipatory service network design of bike sharing systems. *Transportation Research Procedia*, 10, 355–363.
- Nourinejad, M., Zhu, S., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2015). Vehicle relocation and staff rebalancing in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 98–113.

Literaturverzeichnis

- Pal, A., & Zhang, Y. (2017). Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, 92–116.
- Parzinger, G., Rid, W., Müller, U., & Grausam, M. (2016). Elektromobilität im Carsharing: Status quo, Potenziale und Erfolgsfaktoren. *Begleitforschung zu den Modellregionen Elektromobilität des BMVI — Ergebnisse des Themenfeldes Flottenmanagement*.
- Raviv, T., Tzur, M., & Forma, I. A. (2013). Static repositioning in a bike-sharing system: Models and solution approaches. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3), 187–229.
- Reiss, S., & Bogenberger, K. (2017). A Relocation Strategy for Munich's Bike Sharing System: Combining an operator-based and a user-based Scheme. *Transportation Research Procedia*, 22, 105–114.
- Rudloff, C., & Lackner, B. (2013). Modeling demand for bicycle sharing system—neighboring stations as a source for demand and a reason for structural breaks. *Transportation research board annual meeting*.
- Schiller, T., Pottebaum, T., & Scheidl, J. (2017). Car sharing in europe—Business models, national variations and upcoming disruptions. *Deloitte*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/CIP-Automotive-Car-Sharing-in-Europe.pdf>
- Schmöller, S., Weikl, S., Müller, J., & Bogenberger, K. (2015). Empirical analysis of free-floating carsharing usage: The Munich and Berlin case. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 34–51.
- Schnieder, M., & West, A. (2019). Evaluation of alternative battery charging schemes for one-way electric vehicle smart mobility sharing systems based on real urban trip data. *2019 IEEE 5th International forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, 296–301.
- Schor, J. (2016). Debating the sharing economy. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 4(3), 7–22.
- Schulte, F., & Voß, S. (2015). Decision support for environmental-friendly vehicle relocations in free-floating car sharing systems: The case of car2go. *Procedia CIRP*, 30, 275–280.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen. (2019). *Stadtentwicklung und Wohnen. Lebensweltlich Orientierte Räume (LOR) in Berlin*. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/basisdaten_stadtentwicklung/lor/
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Chung, M. S. (2009). North American Carsharing: 10-Year Retrospective. *Journal of the Transportation Research Board*, 2110, 35–44. <https://doi.org/10.3141/2110-05>
- Shaheen, S., & Chan, N. (2016). *Mobility and the Sharing Economy: Potential to Overcome First-and Last-Mile Public Transit Connections*.
- Shaheen, S., & Cohen, A. (2019). *Shared Micromobility Policy Toolkit: Docked and Dockless Bike and Scooter Sharing*.

Literaturverzeichnis

- Sprei, F., Englund, C., Habibi, S., Pettersson, S., Voronov, A., Wedlin, J., & Engdahl, H. (2017). Comparing electric vehicles and fossil driven vehicles in free-floating car sharing services. *5th European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress, 14-16 March, 2017, Geneva, Switzerland*.
- Stolle, W. O., Rodewyk, V., Peine, A., Steinmann, W., & Rodriguez Gil, A. (2019). The De mystification of Car Sharing—An in-depth analysis of customer perspective, underlying economics, and secondary effects. *A.T. Kearney*.
- Sutherland, W., & Jarrahi, M. H. (2018). The sharing economy and digital platforms: A review and research agenda. *International Journal of Information Management, 43*, 328–341.
- Tan, C. (2008). *Honda car-sharing scheme in Singapore to end*.
- Thu, N. T. H., Dung, C. T. P., Linh-Trung, N., Le, H. V., & others. (2017). Multi-source data analysis for bike sharing systems. *2017 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, 235–240.
- Vogel, P., & Mattfeld, D. C. (2011). Strategic and operational planning of bike-sharing systems by data mining—a case study. *International conference on computational logistics*, 127–141.
- Waserhole, A., & Jost, V. (2016). Pricing in vehicle sharing systems: Optimization in queuing networks with product forms. *EURO Journal on Transportation and Logistics, 5*(3), 293–320.
- Weigl, S., & Bogenberger, K. (2013). Relocation strategies and algorithms for free-floating car sharing systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 5*(4), 100–111.
- Weigl, S., & Bogenberger, K. (2015). A practice-ready relocation model for free-floating carsharing systems with electric vehicles—mesoscopic approach and field trial results. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 57*, 206–223.
- Zakaria, R., Dib, M., Moalic, L., & Caminada, A. (2014). Car relocation for carsharing service: Comparison of CPLEX and greedy search. *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Vehicles and Transportation Systems (CIVTS)*, 51–58.