



Deutsche
Verkehrswissenschaftliche
Gesellschaft e.V.

Journal für Mobilität und Verkehr

Neue Formen der Mobilität



Inhaltsverzeichnis

Carsharing in Deutschland <i>Stefan Schmöller, Tanja Niels, Cornelius Hardt, Katrin Lippoldt, Florian Dandl, Klaus Bogenberger</i>	1
Ridepooling, Mobility-on-demand, fahrerlose Busshuttles – Zur Psychologie des Teilens von Fahrten in bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten <i>Alexandra König, Jan Grippenkoven</i>	10
Automatisierte Kleinbusse im Öffentlichen Personennahverkehr – Akzeptanz und Nutzungsintentionen in Deutschland <i>Nadine Kostorz, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer</i>	23
Verkehrliche und ökologische Wirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens <i>Michael Krail</i>	33
Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge – Mobilitätskonzepte mit Zukunftspotenzial? <i>Mascha Brost, Amelie Ewert, Christine Eisenmann, Sylvia Stieler, Katja Gicklhorn</i>	41
Internetbasierte Mobilitätsdienste – Ein Lösungsansatz zur effizienten individuellen Mobilität? <i>Thomas Schuster, Lukas Waidelich</i>	50
Herausragende Mobilität? Eine objektive Bewertungsheuristik für inter- und multimodale Mobilitätsplattformen <i>Christoph Becker, Steffen Fabian Link</i>	59

Carsharing in Deutschland

Stefan Schmöller, Tanja Niels, Cornelius Hardt, Katrin Lippoldt, Florian Dandl*, Klaus Bogenberger

Universität der Bundeswehr München, Institut für Verkehrswesen und Raumplanung (IVR), Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Deutschland

Abstract

In den letzten Jahrzehnten entwickelten sich verschiedene Carsharing-Modelle ausgehend vom stationsbasierten System, das nur Rundfahrten zuließ, bis hin zu free-floating Systemen mit flexibler Fahrzeugrückgabe innerhalb eines Geschäftsgebiets. Für Betreiber ist eine raumzeitliche Analyse der Nachfrage unabdinglich, um die Fahrzeugverfügbarkeit durch Reallokationen bestmöglich der Nachfrage anzugleichen. In diesem Artikel werden Carsharing-Systeme, aktuelle Entwicklungen, Nutzer- und Nachfrageanalysen sowie Reallokationsansätze vorgestellt.

Schlagwörter/Keywords:

Neue Mobilitätskonzepte, Verkehrsmittelwahl, Fahrgastbedürfnisse, Nutzeranforderungen, Nutzungsbarrieren

Carsharing ist ein Mobilitätsdienst mit Kraftfahrzeugen, die „einer unbestimmten Anzahl von Fahrern und Fahrerinnen auf der Grundlage einer Rahmenvereinbarung und einem die Energiekosten mit einschließenden Zeit- oder Kilometerarif oder Mischformen solcher Tarife angeboten und selbstständig reserviert und genutzt werden“ können (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017).

Im folgenden Artikel werden zunächst verschiedene Formen des Carsharing beschrieben, bevor auf Nutzer und Nutzung der verschiedenen Systeme eingegangen wird. Im Anschluss werden die für Betreiber zentralen Themen Verfügbarkeit und Reallokation beleuchtet. Zum Abschluss folgt ein kurzer Ausblick, welche Veränderungen im Carsharing durch die Einführung autonomer Fahrzeuge zu erwarten sind.

Verschiedene Formen des Carsharing

Auch wenn heutzutage sehr viele verschiedene Formen von Carsharing existieren, so lassen sich diese immer auf zwei Grundformen zurückführen: das stationsbasierte Carsharing und das flexible (free-floating) Carsharing. Während das stationsbasierte Carsharing in Deutschland schon seit 1988 mit der Gründung von StattAuto Berlin (mittlerweile Teil von greenwheels) existiert, wurde free-floating Carsha-

ring erst im Jahr 2009 von car2go, einem Tochterunternehmen von Daimler, in Ulm eingeführt. Auch wenn bei beiden genannten Formen von Carsharing jeweils die gemeinschaftliche Nutzung der Fahrzeuge im Vordergrund steht, so unterscheiden sie sich dennoch sehr stark in ihren Charakteristika. Wie der Name schon impliziert, sind die Fahrzeuge beim stationsbasierten Carsharing an sogenannte Stationen gebunden. Als Station wird dabei jeder Parkplatz verstanden, der dem entsprechenden Anbieter fest zugewiesen ist. Da eine solche Zuweisung im öffentlichen Straßenraum rechtlich nicht erlaubt ist, befinden sich diese Stellplätze meistens auf eigens zu diesem Zweck gekauften oder gemieteten Flächen. In der einfachsten und ältesten Form des stationsbasierten Carsharing ist jedes Fahrzeug einer festen Station zugeordnet, d.h. ein Kunde muss ein gemietetes Fahrzeug an der Station zurückgeben, an der er es auch abgeholt hat. Beim free-floating Carsharing hingegen sind auch Einwegfahrten möglich. Der Betreiber definiert ein Geschäftsgebiet, innerhalb dessen fast jeder Parkplatz des öffentlichen Raums genutzt werden kann. Durch entsprechende Verträge mit der Verwaltung kann festgelegt werden, welche Parkplätze für Carsharing-Anbieter freigegeben werden und welche Gebühren der Anbieter dafür bezahlen muss. Kunden müssen dann selbst keine Parkgebühren mehr übernehmen, diese sind stattdessen im Mietpreis des Fahrzeugs bereits enthalten.

* Korrespondierender Autor.

E-Mail: florian.dandl@unibw.de (F. Dandl)

Weitere Unterschiede zwischen den Systemen findet man auch in der Bepreisung der Angebote und im Ablauf eines Mietvorgangs. Beim stationsbasierten Carsharing werden Fahrzeuge im Allgemeinen einige Zeit im Voraus reserviert und in den Mietpreis werden sowohl Dauer des Mietvorgangs, als auch die gefahrene Distanz mit einberechnet. Beim free-floating Carsharing wird der Prozess des Mietens deutlich flexibler gehandhabt. Eine Reservierung ist nicht notwendig und auch nur in begrenztem Rahmen möglich. Überschreitet die Reservierungsdauer eine festgelegte Zeitspanne, so fallen auch für die Reservierung Kosten an. Jedes Fahrzeug hat eine Anzeige, an der man erkennen kann, ob ein Fahrzeug gebucht oder frei zur Reservierung ist. Ein freies Fahrzeug kann dann durch die Smartphone-App des Anbieters oder alternativ mit einer ID-Karte entriegelt bzw. gebucht werden. Bei den beiden bekanntesten Anbietern car2go und DriveNow (mittlerweile zusammengeschlossen als SHARE NOW) werden Mietpreise ausschließlich anhand der Buchungsdauer berechnet. Da dieses Modell zeitweise zu der Kritik führt, dass Kunden aufgrund des entstehenden Zeitdrucks zu rücksichtslosem Fahrverhalten tendieren, gibt es inzwischen auch Anbieter (z.B. MILES), die primär die gefahrene Distanz bepreisen. Um Missbrauch dieses Modells auszuschließen, werden dabei für Parkvorgänge ebenfalls Kosten veranschlagt. Insbesondere in Städten mit viel Verkehr kann dieses Modell für Kunden große Vorteile haben, da durch das Stehen im Stau keine Mehrkosten anfallen.

Mit der fortschreitenden Verbreitung von Carsharing haben sich allerdings auch noch weitere Systeme entwickelt. Diese kombinieren meist einzelne Charakteristika der beiden beschriebenen Grundformen und übernehmen damit auch deren Vor- und Nachteile. Eines dieser Systeme lässt sich am besten mit dem Begriff zonenbasiertes Carsharing beschreiben und wird z.B. von Flinkster in München betrieben. Dabei werden im Stadtgebiet mehrere kleinräumige Zonen definiert (in München deckungsgleich mit den Parkraumquartieren) und jedes Fahrzeug wird einer Zone zugewiesen. Innerhalb seiner Zone verhält sich das Fahrzeug dann wie eines im free-floating Carsharing. Ein Fahrzeug muss also am Ende einer Miete immer in seine Zone zurückgebracht werden, kann dort allerdings an jedem freigegebenen Parkplatz abgestellt werden. Eine andere Mischform von Carsharing ist stationsbasiertes Carsharing mit Einwegfahrten. Hierbei sind die Fahrzeuge zwar wiederum an Stationen gebunden, allerdings werden Einwegfahrten zwischen den Stationen erlaubt, d.h. die Fahrt kann an einer anderen Station enden als sie begann. Ein solches System wird in Deutschland bisher allerdings noch nirgends angeboten und wurde z.B. in Paris von Autolib' aufgrund hoher Verluste nach wenigen Jahren eingestellt. Andernorts sind solche Systeme allerdings nach wie vor anzutreffen, z.B. in Singapur (BlueSG) oder Shanghai (EVCARD).

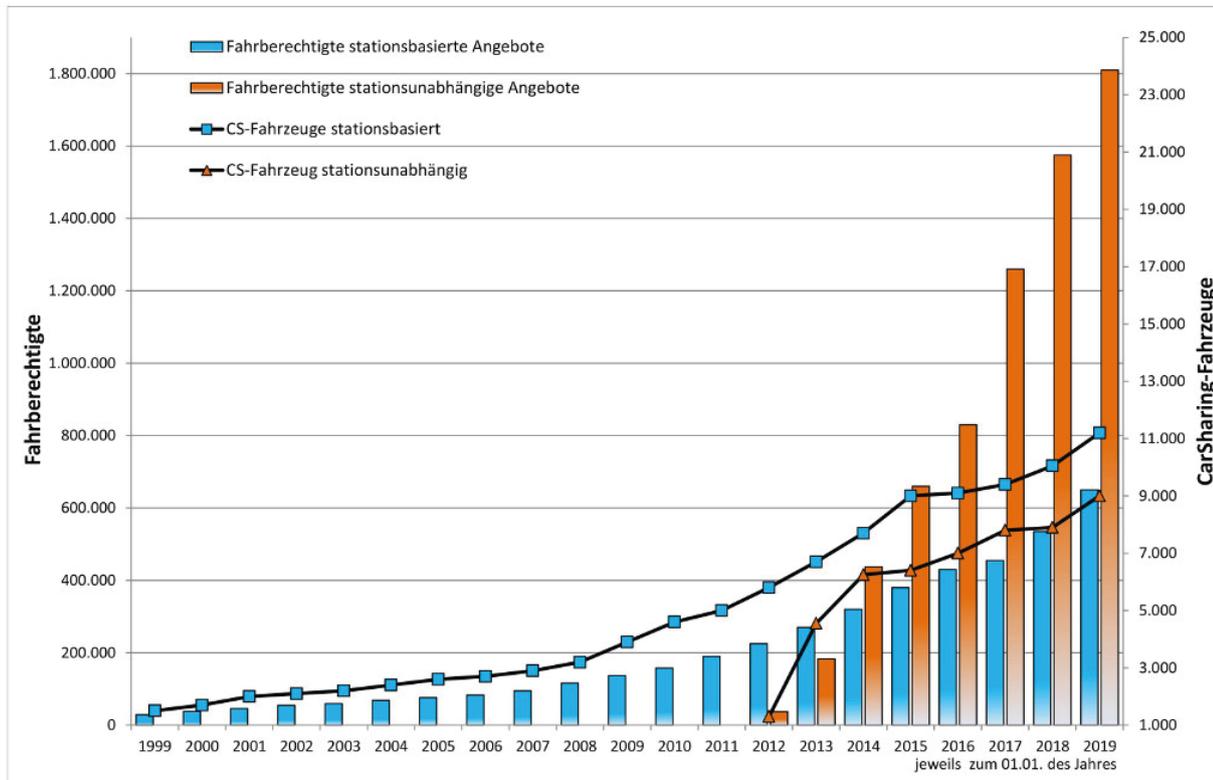
Einen Schritt weiter als die bisherigen Systeme geht ein erst kürzlich vom deutschen Autovermieter Sixt gestartetes Carsharing-System. Während alle bisher existierenden An-

bieter jeweils nur lokal innerhalb eines Stadtgebietes operieren (egal ob mit Stationen oder einem begrenzten Geschäftsgebiet) und maximal den Wechsel zwischen zwei fest definierten, nahegelegenen Geschäftsgebieten wie Köln und Düsseldorf zulassen, gibt es hier auch die Möglichkeit, überregionale Fahrten durchzuführen. Fahrzeuge können wie beim free-floating Carsharing in einem Geschäftsgebiet angemietet werden und gegen einen Aufpreis auch in jedem anderen Geschäftsgebiet oder an einer beliebigen Sixt-Station zurückgegeben werden. Derzeit bietet die Firma Sixt ihr Carsharing-Produkt in 3 großflächigen Geschäftsgebieten (Berlin, Hamburg und München) sowie in 8 weiteren Städten mit ausgewählten Standorten an. Möglich wird dies durch die, im Vergleich zu anderen Anbietern, deutschlandweit sehr viel größere Flotte. Dadurch kann überall ausreichend Verfügbarkeit gewährleistet werden, selbst, wenn viele überregionale Fahrten durchgeführt werden sollten.

Alle bisher beschriebenen Systeme sind betreiberbasiert. Der Betreiber ist Eigentümer der Fahrzeuge, legt das Tarifsystem fest und kann die gesamten Erträge aus den Fahrzeugmieten für sich verbuchen. Im Gegenzug ist er auch verantwortlich für Pflege und Wartung der Fahrzeuge, übernimmt Parkgebühren und Tankkosten und stellt einen Versicherungsschutz zur Verfügung. Als Gegenentwurf dazu hat sich insbesondere in den USA das peer-2-peer Carsharing weit verbreitet. Bei diesem System können Privatpersonen (oder auch Firmen) ihre eigenen Fahrzeuge zur Miete bereitstellen. Dazu stellt der Betreiber des Systems eine Internetplattform zur Verfügung, auf der man sein Fahrzeug anbieten kann, auf der aber auch potentielle Mieter nach Fahrzeugen suchen können. Jeder Vermieter kann dabei die Tarife für die Nutzung seines Fahrzeugs selbst festlegen. Der Ertrag aus einer Miete wird dann zwischen dem Vermieter und dem Betreiber der Plattform aufgeteilt, wobei der Vermieter den deutlich größeren Anteil erhält. Im Gegenzug übernimmt der Betreiber üblicherweise auch nur die Kosten für den Versicherungsschutz der Fahrzeuge. Bei dem Anbieter Turo z.B. ist der Vermieter für Pflege und Wartung zuständig (sofern nicht ein Mieter nachweisbare Verschmutzung hinterlassen hat) und der Mieter übernimmt Parkgebühren und Tankkosten. Dennoch kann sich ein solches System für alle auszahlen. Der Betreiber der Plattform kommt insbesondere mit deutlich niedrigeren Personalkosten aus, als Vermieter kann man mit seinem Fahrzeug Geld verdienen zu Zeiten, in denen es sonst ungenutzt wäre, und als Mieter hat man im Vergleich zu betreiberbasierten Carsharing-Systemen meist eine deutlich vielseitigere (und kostengünstigere) Auswahl an Fahrzeugen.

Nutzer von Carsharing-Systemen

Mittlerweile ist es in Deutschland in fast jeder mittleren bis größeren Stadt möglich, ein Carsharing-Fahrzeug zu finden. Für diese flächendeckende Ausbreitung sind insbeson-

Abbildung 1: Entwicklung der Mitgliederzahlen und Fahrzeuganzahlen im Carsharing in Deutschland. Quelle: Bundesverband Carsharing e.V.

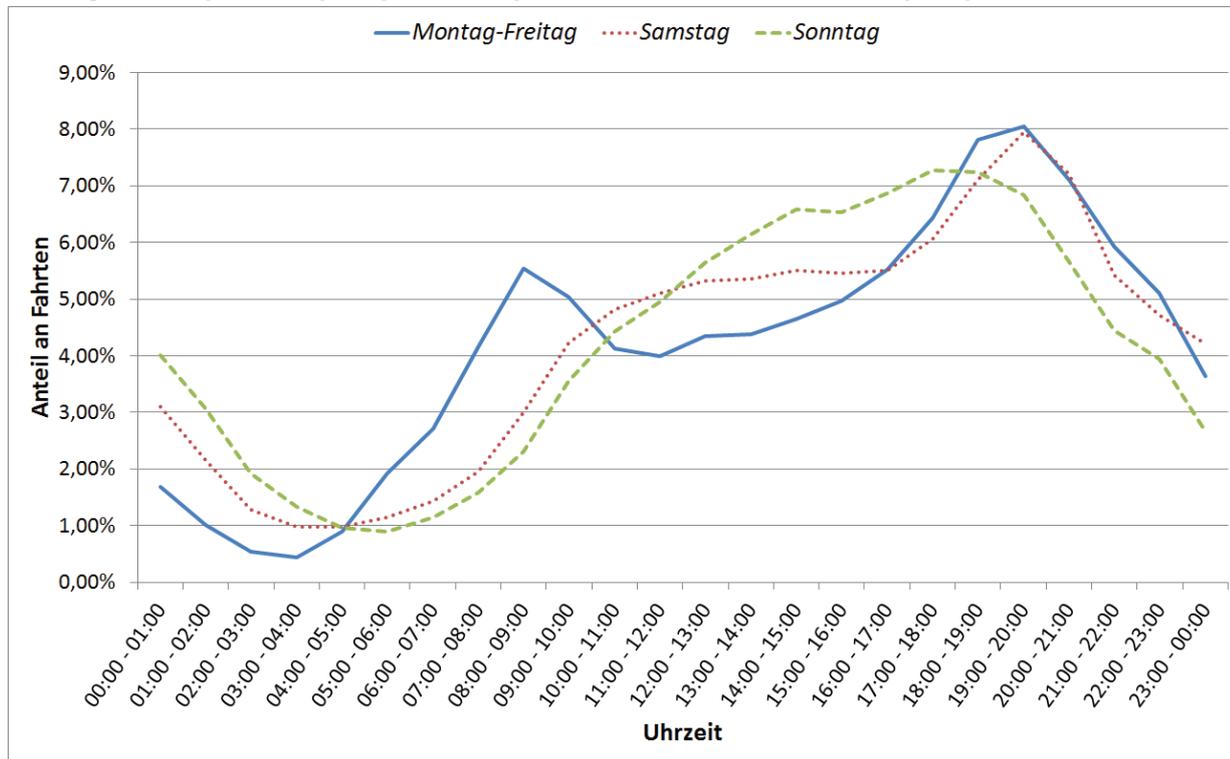
dere stationsbasierte Angebote verantwortlich, während free-floating Carsharing bisher nur in einigen Großstädten angeboten wird. Die Einführung dieser Angebote führte allerdings zu einem regelrechten Carsharing-Boom, wie auch aktuelle Zahlen des Bundesverbands Carsharing e.V. in Abbildung 1 zeigen.

Umfassende Studien unter Carsharing-Nutzern wie das Projekt WiMobil ("WiMobil", 2016) oder die aktuelle Mobilitätsstudie MiD 2018 (infas et al., 2018) zeigen dabei, dass diese Entwicklung überwiegend von einem eher kleinen Teil der Bevölkerung vorangetrieben wird. Die wichtigsten Merkmale, mit denen sich der Großteil der Carsharing-Mitglieder beschreiben lässt, lauten männlich, jung, höher gebildet und besser verdienend als der Durchschnitt. Die aktuelle MiD zeigt, dass ca. 62% der Carsharing-Mitglieder männlich sind und ca. 80% aller Mitglieder zwischen 18 und 49 Jahren alt sind, wobei der größte Anteil mit 32% in der Gruppe der 30 bis 39-jährigen zu finden ist. Das höhere Bildungsniveau zeigt sich insbesondere im Anteil der Fachhochschul- bzw. Universitätsabschlüsse. Während nur 22% der Nicht-Mitglieder einen solchen Abschluss haben, ist dieser Anteil bei den Mitgliedern mit 66% dreimal so groß. Beim durchschnittlichen Haushaltseinkommen zeigt sich ein ähnliches Bild. Während nur 10% der Carsharing-Mitglieder in Haushalten mit einem Nettoeinkommen von unter 2.000€ leben und dafür ca. 28% in Haushalten mit einem Einkommen von mehr als 5.000€ liegen diese Anteile bei Nicht-Mitgliedern bei 20% bzw. 17%.

Diese Merkmale sind dabei nicht nur typisch für deutsche Carsharing-Anbieter, sondern werden auch international in entsprechenden Studien bestätigt (Martin & Shaheen, 2011; Transportation Research Board and National Academies of Sciences, Engineering, 2016). Man muss allerdings auch festhalten, dass unterschiedliche Arten von Carsharing leicht unterschiedliche Zielgruppen ansprechen. In der Studie WiMobil zeigte sich, dass das Durchschnittsalter der Mitglieder beim stationsbasierten Anbieter Flinkster deutlich höher liegt als das der Mitglieder beim free-floating Carsharing von DriveNow. Außerdem geben diese Studien (wie z.B. auch Abbildung 1) jeweils ein Abbild der gesamten Mitgliedschaft. Hier werden also auch Personen berücksichtigt, die sich zwar bei einem Anbieter angemeldet haben, möglicherweise aber noch nie ein Carsharing-Fahrzeug genutzt haben. Insbesondere aus der Sicht eines Betreibers wäre es allerdings von deutlich größerem Interesse, zu wissen, wer Carsharing tatsächlich aktiv nutzt, um daraus abzuleiten, in welchen Städten und Regionen noch Potential vorhanden sein könnte.

Zeitliche Nutzungsanalyse

Für den Carsharing-Anbieter ist es nicht nur interessant, wer Carsharing nutzt, sondern auch wie es genutzt wird. Diese Frage lässt sich am besten beantworten, indem man bereits vorliegende Nutzungsdaten auf wiederkehrende Mus-

Abbildung 2: Verteilung der Buchungshäufigkeiten nach Tageszeit. Quelle: Schmöllner, Weigl, Müller & Bogenberger, 2015

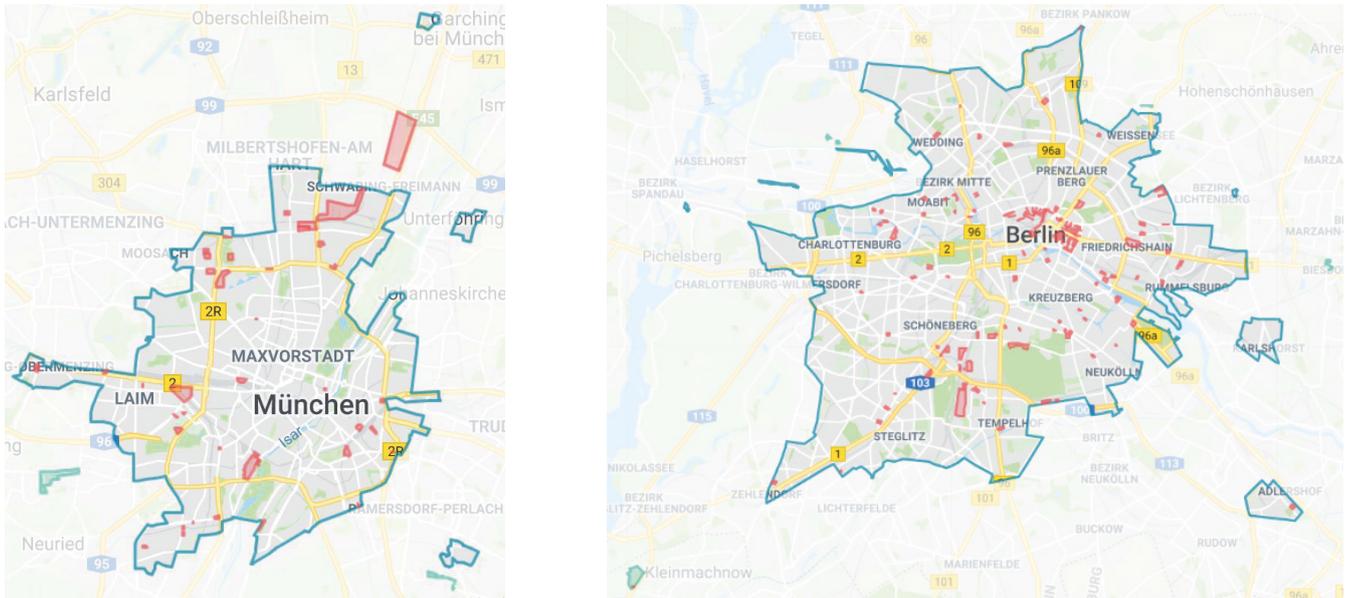
ter analysiert. Derartige Muster zeigen sich insbesondere in der tageszeitlichen Entwicklung der Buchungshäufigkeiten. Eine solche Tagesganglinie ist in Abbildung 2 zu sehen und zeigt die unterschiedlichen Verläufe der Buchungshäufigkeiten an verschiedenen Tagen bei DriveNow.

An den Tagen von Montag bis Freitag sind die Unterschiede eher gering, weshalb diese in einer Kurve zusammengefasst wurden. An diesen Tagen ist sowohl eine deutliche Morgen- als auch Abendspitze zu erkennen. An Wochenenden hingegen ist keine deutliche Morgenspitze erkennbar. Vielmehr verteilen sich die Buchungen gleichmäßig über den Tag, wobei sich zumindest samstags noch eine Abendspitze zeigt. Erkennbar ist auch, dass an Wochenenden ein deutlich höherer Anteil der Fahrten in der Nacht durchgeführt wird. All diese Eigenschaften lassen sich beispielsweise durch die Fahrtzwecke, die in WiMobil herausgefunden wurden, erklären. Dort zeigte sich, dass im free-floating Carsharing sehr viele Fahrten für Freizeitaktivitäten, insbesondere solche, die bevorzugt abends an Wochenenden stattfinden, durchgeführt werden. Aber auch Fahrten nach Hause, zum Einkaufen und mit Arbeitsbezug (zur Arbeit bzw. Dienstfahrt) waren sehr häufige Nennungen.

Räumlich-zeitliche Nutzungsanalyse

Die übergreifende Analyse der Nutzung von free-floating Carsharing-Systemen ist durch Tagesganglinien und Buchungshäufigkeiten gekennzeichnet, welche eine mak-

roskopische Analyse des Gesamtsystems ermöglichen. Aus Sicht des Betreibers ist indes eine genauere Analyse, insbesondere im mikroskopischen Bereich, unerlässlich, um die operativen Kennzahlen eines Systems sauber erfassen zu können. Hierzu sind vor allem die geographische Verortung der Nachfrage und die Systemperformance bezüglich dieser Nachfrage von besonderem Interesse. Ausgehend von einem klassischen Geschäftsgebiet, wie in Abbildung 3 dargestellt, ergeben sich hier einige Herausforderungen. Die in der Praxis entworfenen Geschäftsgebiete sind im Allgemeinen ein Resultat verschiedener Überlegungen; eine wichtige Rolle spielen unter anderem die Bevölkerungsdichte, die Anzahl potentieller Nutzer und die Möglichkeit, Fahrzeuge legal abzustellen. Ein Geschäftsgebiet soll für potentielle Nutzer möglichst attraktiv und für den Betreiber möglichst profitabel sein. Wie in Abbildung 3 zu sehen, schließen die Geschäftsgebiete in München und Berlin neben den Stadtzentren auch größere Teile der Stadtgebiete sowie einige Satelliten ein. Die blau umrandeten Bereiche zählen zu dem Kerngeschäftsgebiet, in dem der Nutzer seine Fahrt ohne zusätzliche Kosten beenden kann. Im Vergleich dazu gibt es verschiedene hellblau umrandete Satelliten, bei denen der Betreiber eine Gebühr für das Abstellen erhebt. Gründe für diese Gebühr sind entweder zusätzliche Parkkosten für den Betreiber (Bsp. Flughäfen) oder lange Standzeiten in nachfrageschwachen Gebieten, bei denen die Fahrzeuge häufig durch den Betreiber ins zentrale Geschäftsgebiet zurückgeführt werden müssen. Weiterhin sind innerhalb des Geschäftsgebiets Zonen definiert, in welchen der Service

Abbildung 3: Geschäftsgebiete DriveNow in München (links) und Berlin (rechts). Quelle: www.drive-now.com

explizit nicht angeboten wird, und Fahrzeuge daher nicht abgestellt und wieder angemietet werden können. Gründe dafür können temporäre Halteverbote aufgrund von Veranstaltungen, oder generelle Parkverbote in zum Beispiel Anwohnerparkgebieten oder auf größeren privaten Parkflächen sein.

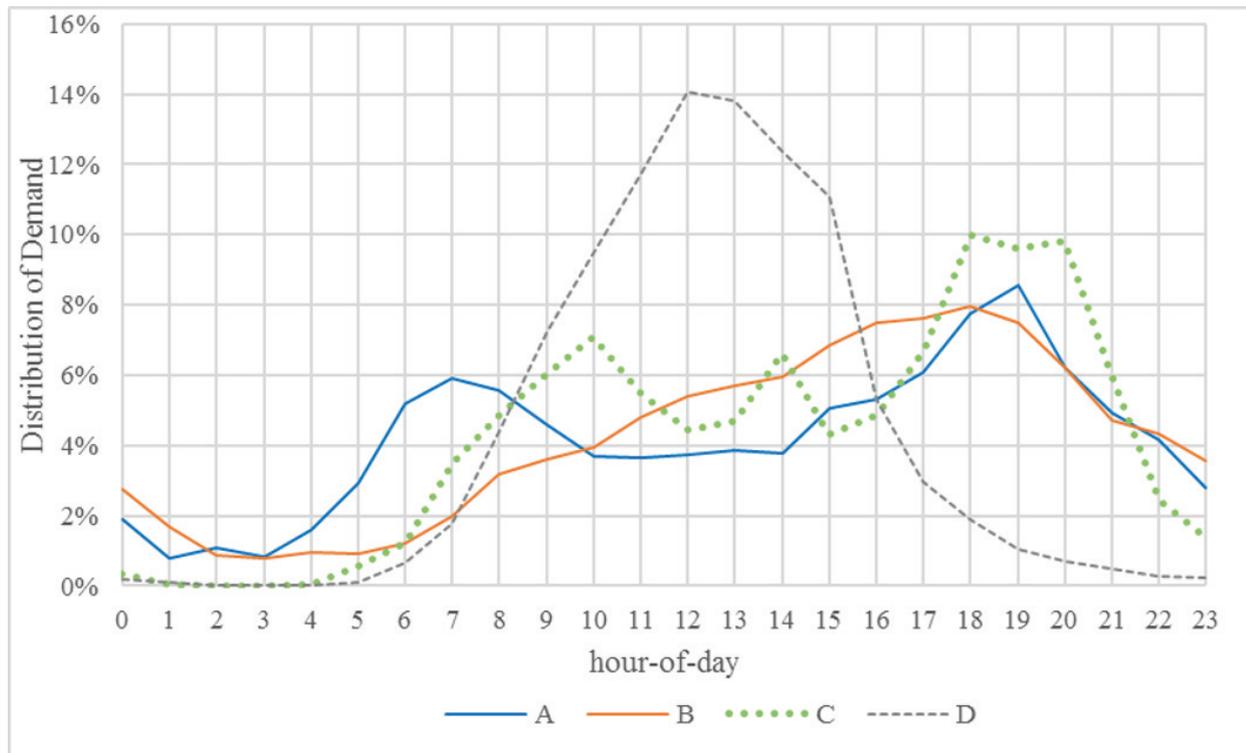
Um in einem derartigen Geschäftsgebiet mikroskopische Analysen durchführen zu können, ist eine Partitionierung in kleinere Bereiche notwendig. In der aktuellen Forschung haben sich hierzu im Wesentlichen zwei verschiedene Vorgehensweisen etabliert. Einerseits die punktuelle Betrachtung, bei der Kreise oder Polygone um Punkte von Interesse, wie bspw. Mobilitätsstationen, definiert werden, andererseits die Partitionierung des gesamten Geschäftsgebietes in gleichmäßige, flächendeckende Zellen wie Quadrate oder Hexagone. Für die Resultate einer flächendeckenden Partitionierung ist zu empfehlen, diese im Nachgang zu überarbeiten, um bspw. Areale, die nur Seen, Flüsse, oder Privatgelände umfassen, für spätere Analysen außen vor zu halten.

Die Partitionierung in Teilflächen ermöglicht es, verschiedene Zonen miteinander zu vergleichen, indem innerhalb der einzelnen Teilgebiete verschiedene Kenngrößen ermittelt werden (Hardt & Bogenberger, 2018). Als relevante Kenngröße bietet sich die Nachfrage an, um die Wahl des Geschäftsgebiets besser betriebswirtschaftlich messen zu können. Hierbei sind kumulierte Werte zwischen Arealen vergleichbar, wie auch die generellen Nachfragemuster („demand patterns“). Während die kumulierten Werte der Nachfrage einen Rückschluss über die generelle Nutzungsbereitschaft und -akzeptanz erlauben, zeigen die Nachfragemuster tägliche Nutzungsschemata und das Zusammenspiel im Kontext der täglichen Bewegungsmuster. Wie in Abbildung 4 zu sehen, können die Nachfragemuster der unter-

suchten Areale verschiedenen Schwankungen unterliegen. Die Identifikation derartiger Differenzen erlaubt es einerseits, die Fahrzeugflotte nach nachfragespezifischen Eigenschaften zu steuern, andererseits aber auch die preisliche Steuerung des Angebots. Durch den Vergleich der Areale im Bereich der Nachfrage lassen sich Bereiche mit gleichen Charakteristika im Geschäftsgebiet identifizieren. Wie in Abbildung 4 bereits erkennbar, wurden verschiedene Areale (Hardt & Bogenberger, 2018) zu Clustern mit gleichartiger Nachfragekurve zusammengefasst. Wesentliches Ergebnis war hier, dass insbesondere die innerstädtischen Bereiche ähnliche Nachfragemuster haben, welche auch denen in einigen Satellitenbereichen ähneln, und in Abbildung 4 als Cluster B dargestellt sind. Bereiche am Stadtrand haben hingegen andere Nachfragekurven, hier als Cluster A dargestellt. Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien (Boldrini, Bruno, & Conti, 2016). Weiterhin ist anzumerken, dass einige Areale im Bereich der Nachfrage eigene Nachfragemuster bilden, welche sich von denen der anderen Cluster abheben. Durch Analyse dieser Strukturen lassen sich so ortsspezifische Muster innerhalb eines Sharing-Systems besser erkennen und dem Betreiber ist es möglich, die Flottenverteilung mittels Reallokationen entsprechend zu steuern.

Verfügbarkeit und tatsächliche Nachfrage

Neben der Analyse der Nachfrage muss für ein vollständiges Bild des Systems auch die Möglichkeit der Kunden betrachtet werden, überhaupt ein Fahrzeug anmieten zu können. Hierbei ist die klare Abgrenzung von Verfügbarkeit und Fahrzeugangebot wichtig. Während sich die Verfügbarkeit (Availability) innerhalb eines Areals und eines bestimmten Zeitraumes über den Anteil der Zeit definiert, in dem min-

Abbildung 4: Nachfragemuster verschiedener Arealcluster, Quelle: Hardt & Bogenberger, 2018

destens ein Fahrzeug zur Anmietung bereitsteht, wird unter dem (Fahrzeug-)Angebot (Supply) die Anzahl an Fahrzeuge verstanden, welche innerhalb des Areals und des bestimmten Zeitraums durchschnittlich zur Verfügung standen. Die Verfügbarkeit ist damit ein qualitativer Begriff, welcher die zeitliche Verfügbarkeit darstellt, während das (Fahrzeug-)Angebot als quantitativer Begriff die Mengen der verfügbaren Fahrzeuge repräsentiert. Die Interpretation dieser Kennzahlen durch Kunden und Betreiber unterscheidet sich hier erheblich: Während Kunden eine möglichst hohe Verfügbarkeit an ihrem aktuellen Standort und die Auswahl zwischen verschiedenen Fahrzeugen, also ein hohes Angebot, wünschen, ist ein Betreiber eines solchen Systems eher daran interessiert, dass möglichst viele Fahrzeuge gleichzeitig in Nutzung sind, bzw. das Angebot an möglichst vielen nachfragerlevanten Orten verfügbar ist. Im Gegensatz zum Kunden sieht der Betreiber das gleichzeitige Angebot mehrerer Fahrzeuge innerhalb eines Areals daher als wenig erstrebenswert an, so dass in diesem Zusammenhang auch vom Verfügbarkeitsdilemma gesprochen werden kann.

Bei der Bestimmung eines optimalen Fahrzeugangebots je Areal ergibt sich für den Betreiber das Problem, dass die Nachfrage nach seinem Carsharing-Angebot nicht alleine aus den Nutzungsdaten gemessen werden kann. Die tatsächliche Nachfrage besteht nicht nur aus ausgeführten Buchungen, sondern auch aus Buchungswünschen, welche aufgrund fehlender Verfügbarkeit von Fahrzeugen oder der aktiven Ablehnung der zur Verfügung gestellten Fahrzeug/Preis-Kombinationen nicht realisiert wurden. Aus diesem

Grund wurden zusätzlich zu den Nutzungsdaten auch Daten aus den eingesetzten Smartphone-Apps untersucht (Niels & Bogenberger, 2017). Allerdings geben auch diese Daten keinen vollständigen Aufschluss über die tatsächliche Nachfrage: inwieweit ein Kunde Apps nutzt, um direkt eine Fahrzeugmiete zu starten, oder nur eine generelle Information zur Verfügbarkeit sucht, bleibt weitgehend unklar. Als alternativen Ansatz schlagen Hardt und Bogenberger zur Bestimmung der Nachfrage den Einsatz von Unconstraining-Methoden vor, die Nutzungsdaten und Verfügbarkeit gleichzeitig analysieren und zum Beispiel in der Hotel- und Flugbranche angewendet werden (Hardt & Bogenberger, 2019).

Reallokation

Die bereits erwähnte fehlende Fahrzeugverfügbarkeit ist nicht zwangsläufig Folge einer hohen Fahrzeugauslastung. Vielmehr kann sie auch Folge eines Problems sein, von dem fast alle Carsharing-Systeme mit Einwegfahrten betroffen sind und durch räumlich-zeitliche Analysen identifiziert werden können. Insbesondere in den Spitzenstunden sind einige Bewegungsmuster erkennbar, die einen großen Teil der Flotte betreffen, z.B. morgens von Wohngebieten ins Stadtzentrum bzw. in Gebiete mit vielen Arbeitsplätzen und Geschäften (Schmöller et al., 2015). Dies führt dazu, dass wiederholt eine große Anzahl an Fahrzeugen an Orten steht, an denen sie zum jeweiligen Zeitpunkt nicht benötigt wird. Im Gegensatz dazu kann teilweise Nachfrage nicht erfüllt wer-

den, da in den entsprechenden Gebieten keine Fahrzeuge (mehr) vorhanden sind. Es liegt somit eine unausgewogene Fahrzeugverteilung vor. Da der Betreiber aber möglichst viele Fahrtwünsche erfüllen will, liegt es in seinem Interesse, durch Reallokationen wieder eine für ihn möglichst vorteilhafte Fahrzeugverteilung herzustellen. Dabei unterscheidet man zwischen betreiberbasierten und nutzerbasierten Reallokationen.

Betreiberbasierte Reallokation

Diese Reallokationen werden von Mitarbeitern oder Dienstleistern ausgeführt. Die Schwierigkeit hierbei liegt in der Entscheidung, welche Fahrzeuge umgeparkt werden sollen und wo sie am wahrscheinlichsten benötigt werden. Diese Entscheidung alleine reicht aber noch nicht aus, um eine möglichst optimale Reallokationsstrategie zu entwickeln. Man muss dazu z.B. auch die Anzahl verfügbarer Mitarbeiter oder die Kosten einer einzelnen Reallokation beachten. Um all diese Aspekte in einem Modell zu berücksichtigen, hat es sich bewährt, all diese Restriktionen in einem Optimierungsproblem abzubilden (Jorge, Correia, & Barnhart, 2014; Weikl & Bogenberger, 2016). Darin können alle Beschränkungen als Nebenbedingungen eingebunden und die Zielsetzung (z.B. Gewinnmaximierung oder minimale Anzahl unerfüllter Fahrtwünsche) in einer entsprechenden Zielfunktion abgebildet werden. Weikl und Bogenberger untersuchten mithilfe von Feldtests die Auswirkungen gezielter Reallokationen auf Umsatz und Standzeiten und konnten Reduktionen der mittleren Standzeiten in der Gesamtflotte von bis zu 18% sowie eine Umsatzsteigerung zwischen 4,7% und 5,8% beobachten. Für diese Ergebnisse wurden zwischen 32 und 36 Fahrzeuge von 6 bis 8 Fahrern in 5-7 Stunden transferiert. Alle Umsetzungen wurden jeweils in Nächten von Sonntag auf Montag durchgeführt (Weikl & Bogenberger, 2016). Im Realbetrieb sind solche Fahrten kostenintensiv und hohe Nachtzuschläge sowie Parkplatzmangel an den Zielorten führen dazu, dass Reallokationen eher am Tag durchgeführt werden, obwohl dies zur Folge hat, dass die Fahrzeuge während dieser Zeit nicht für Kunden zur Verfügung stehen.

Nutzerbasierte Reallokationen

Bei dieser Art der Reallokation werden verschiedene Ansätze verwendet, um Nutzer zu belohnen, wenn sie Fahrzeuge bewegen, die in nachfrageschwachen Gebieten stehen. Dabei können zwei Arten von Anreizen unterschieden werden: das Angebot von reduzierten Preisen auf der einen Seite und die Gutschrift von Boni für zukünftige Fahrten auf der anderen Seite. Beide Angebote werden vom Betreiber für einzelne Fahrzeuge meist nach längerer Standzeit eingestellt und sind in der App für den Kunden sichtbar. Die reduzierten Preise werden ohne eine besondere Einschränkung

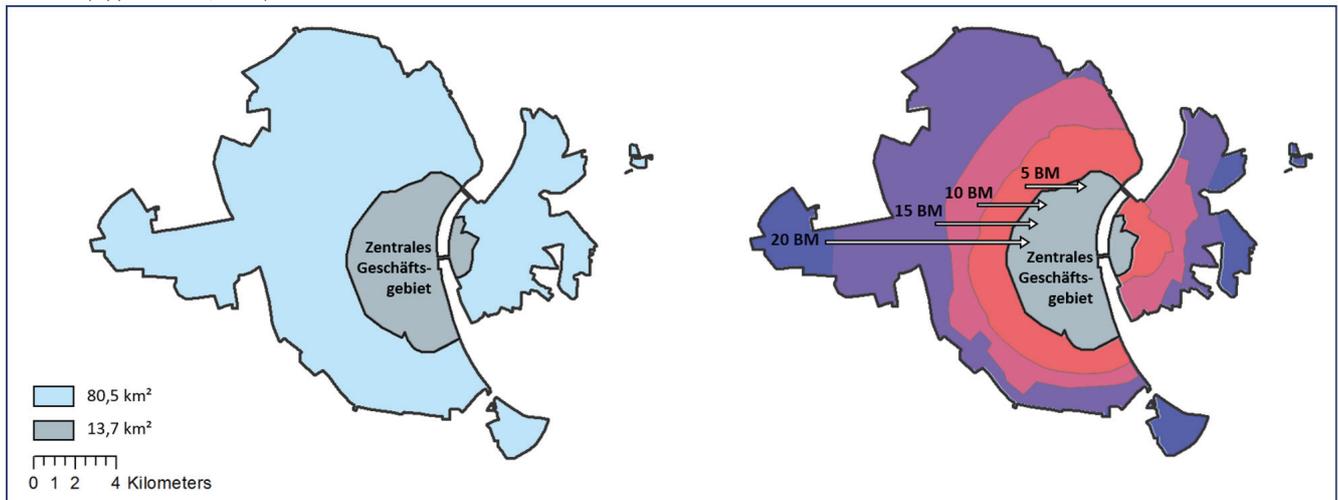
des Rückgabegebiets gewährt, während die Boni nur dann gutgeschrieben werden, wenn der Nutzer seine Fahrt innerhalb eines vorher definierten Bereichs des Geschäftsgebiets beendet. Ziel der Angebote ist es, die kostenintensiven betreiberbasierten Reallokationen zumindest teilweise zu ersetzen und die Verteilung der Fahrzeuge innerhalb des Geschäftsgebietes zu verbessern.

In den beiden Studien von Lippoldt et al. untersuchten die Autoren das Potenzial nutzerbasierter Reallokationen am Beispiel eines free-floating Carsharing-Systems in den Städten Mailand und Köln (Lippoldt, Niels, & Bogenberger, 2018, 2019). In beiden Städten identifizierte der Betreiber nachfragestarke Zonen im Zentrum und nachfrageschwächere Zonen im Randbereich des Geschäftsgebiets. Aus diesem Grund sind die Geschäftsgebiete wie in Abbildung 5 links dargestellt jeweils zweistufig definiert und der Betreiber setzt die oben genannten preislichen Anreize ein, um im zentralen Geschäftsgebiet eine höhere Verfügbarkeit zu erreichen und langen Standzeiten der Fahrzeuge in den Randbereichen entgegenzuwirken. Die Autoren analysierten unter anderem, wie gut die Angebote von den Kunden angenommen wurden und ob die Fahrzeugverteilung durch die vergünstigten Fahrten verbessert werden konnte.

Preisliche Anreize werden aufgrund der aktuellen Angebots- und Nachfragesituation für einzelne Fahrzeuge manuell vergeben. In beiden Städten entspricht der vergünstigte Minutenpreis, je nach eingestelltem Rabatt, einer Preisreduktion von ca. 30-40%. In Mailand werden je nach eingestelltem Angebot 15 oder 20 Bonusminuten gutgeschrieben, wenn das entsprechende Fahrzeug im zentralen Geschäftsgebiet zurückgegeben wird, in Köln sind die Bonusminuten in Abhängigkeit der Distanzen gestaffelt (siehe Abbildung 5 rechts). Die Analyse der Fahrzeugstandzeiten und der sogenannten Take Rate, also dem Prozentsatz an Angeboten, die tatsächlich zu einer Buchung führten, deutet darauf hin, dass die Bonusminuten von den Kunden in Mailand besser angenommen werden als die reduzierten Minutenpreise (Lippoldt et al., 2018). Allerdings lassen sich genaue Präferenzen und die Auswirkungen auf die Standzeiten der Fahrzeuge nur schwer quantifizieren. Während ein Fahrzeug im Außenbereich des Geschäftsgebiets in Mailand zwischen zwei Fahrten im Durchschnitt 520 Minuten steht, sind es zwischen dem Einstellen eines Angebots und der Buchung einer rabattierten Fahrt im Mittel nur ca. 300 Minuten. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Fahrzeuge durchschnittlich bereits ca. 640 Minuten in einem nachfrageschwachen Bereich stehen, bevor sie mit einem Angebot versehen werden. Der Erfolg eines Angebots hängt zudem von zahlreichen weiteren Faktoren ab, wie zum Beispiel der genauen Position des Fahrzeugs und der Uhrzeit der Angebotseinstellung.

Insgesamt wurden Fahrzeuge in Mailand bei 89% der Buchungen mit Bonusminuten im zentralen Geschäftsgebiet zurückgegeben, bei Fahrten mit reduziertem Minutenpreis (und ohne Einschränkung des Rückgabegebiets) waren es im-

Abbildung 5: Übersicht des Geschäftsgebiets in Köln. Links: zweistufiges Modell, rechts: Staffelung der angebotenen Bonusminuten, Eigene Darstellung auf Basis von (Lippoldt et al., 2019).



merhin 81%. Da bei Fahrten mit Bonusminutenangebot das Rückgabegebiet durch den Betreiber definiert ist, hängt die Verbesserung der Fahrzeugverteilung in diesem Fall maßgeblich davon ab, wie gut dieses Gebiet gewählt wurde. Gerade bei diesem Angebot ist ein deutlicher Mitnahmeeffekt sichtbar: Kunden nutzen das Angebot, mieten ein entsprechend rabattiertes Fahrzeug und stellen es direkt hinter der Grenze des zentralen Geschäftsgebiets ab. Dieser Effekt zeigt sich auch bei den Fahrdauern: mehr als 35% der Fahrten mit Bonusminutenangebot in Mailand sind kürzer als 10 Minuten. Während die durchschnittliche Fahrdauer bei Fahrten mit reduziertem Minutenpreis ca. 32 Minuten betrug, waren es bei Fahrten mit Bonusminutenangebot nur ca. 19 Minuten. Bei einer durchschnittlichen Fahrdauer von ca. 26 Minuten entsprechen 20 Bonusminuten einer Preisreduktion von ca. 75% Prozent bei der nächsten Fahrt. Während sich bezüglich der nutzerbasierten Reallokation in Köln grundsätzlich ähnliche Ergebnisse zeigten wie in Mailand, wird dem hier beschriebenen Mitnahmeeffekt in Köln durch die Staffelung der Bonusminuten entgegengewirkt (Lippoldt et al., 2019).

Wenn das Geschäftsgebiet und die Angebote sinnvoll gestaltet sind, können preisliche Anreize demnach unterstützend eingesetzt werden, um die Fahrzeugverteilung und -auslastung zu verbessern. Sie können betreiberbasierte Reallokationen allerdings nicht vollständig ersetzen: Wenn ein Fahrzeug sehr zeitnah bewegt oder in einen genau definierten Bereich gefahren werden soll, sind nutzerbasierte Reallokationen weniger geeignet. Zudem werden betreiberbasierte Reallokationen häufig mit zusätzlichen Dienstleistungen, wie zum Beispiel der Fahrzeugreinigung, dem Tanken oder dem Laden verbunden.

Ausblick

In Zukunft kann durch die Verwendung autonomer Fahrzeuge der Carsharing-Betrieb deutlich effizienter gestaltet

werden. Großräumige Reallokationen zwischen verschiedenen Arealen und sonstige Servicefahrten können deutlich günstiger durchgeführt werden, weil kein Personal involviert ist. Dadurch fallen sowohl die Zeitkosten des Personals weg, als auch die Transportkosten, die beim Befördern des Personals zu den jeweiligen Fahrzeugen entstehen. Zusätzlich verändert sich das Einzugsgebiet, das durch ein Fahrzeug abgedeckt werden kann, da die Fahrzeuge zum Kunden fahren können. Während bei Carsharing der maximal akzeptable Fußweg von Kunden das Einzugsgebiet eines Fahrzeugs auf ca. 300-500 m begrenzt (Seign, Rene; Bogenberger, 2012), ist zu erwarten, dass bei einem autonomen Mobilitätsdienst die maximale Wartezeit den wichtigsten limitierenden Faktor darstellt. Eine Studie, die sich auf Uber beruft, gibt 6 Minuten als maximale Wartezeit an (Spieser et al., 2016). Bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 30 km/h erhöht sich damit das Einzugsgebiet eines Fahrzeuges auf 3 km.

Mit Hilfe von Simulationen kann dieser Effizienzgewinn gemessen werden. In einer Studie, in der die Nachfrage für einen autonomen Mobilitätsdienst auf Buchungsdaten eines Carsharing-Betreibers in München basiert, wird gezeigt, dass ein autonomes Fahrzeug in etwa drei bis vier Carsharing-Fahrzeuge ersetzen kann (Dandl and Bogenberger, 2018b). Wegen der geringeren Fahrzeuganzahl und dadurch niedrigeren Fixkosten kann davon ausgegangen werden, dass der Mobilitätsdienst wesentlich günstiger als heutiges Carsharing angeboten werden kann, allerdings zusätzliche Fahrleistung durch Leerfahrten generiert werden könnten.

Inwiefern Mobilitätsdienste mit autonomen Fahrzeugen aus Nutzersicht eher als „autonomes Carsharing-System“ (Nutzer wählt explizit Fahrzeug aus) oder „autonomes Taxi-System“ (Betreiber weist Nutzer ein Fahrzeug zu) angeboten werden, bleibt abzuwarten, allerdings gibt es Hinweise, dass es bei sehr großen Flotten Sinn ergibt, wenn der Betreiber und nicht der Kunde die Fahrzeugauswahl vornimmt (Dandl and Bogenberger, 2018a).

Literatur

Boldrini, C., Bruno, R., & Conti, M. (2016). Characterising Demand and Usage Patterns in a large station-based Car Sharing System. 2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS) (Vol. 2016-Sept). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFCOMW.2016.7562141>

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2017). Gesetz zur Bevorrechtigung des Carsharing (Carsharinggesetz – CsgG). Retrieved from <https://www.gesetze-im-internet.de/csgg/BJNR223000017.html>

Dandl, F., & Bogenberger, K. (2018a). Booking Processes in Autonomous Carsharing and Taxi Systems. In 7th Transport Research Arena, Vienna. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1451436>

Dandl, F., & Bogenberger, K. (2018b). Comparing Future Autonomous Electric Taxis with an Existing Free-Floating Carsharing System. Accepted to IEEE ITS Transactions, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2857208>

Hardt, C., & Bogenberger, K. (2018). Empirical Analysis of Demand Patterns and Availability in Free-Floating Carsharing Systems. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1186-1193). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569700>

Hardt, C., & Bogenberger, K. (2019). Unconstraining Car-sharing Demand (in Review).

infas, DLR, IVT und infas 360 (2018): Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI). Available at: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf (Accessed: 8 Mai 2019).

Jorge, D., Correia, G. H. A., & 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. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2304358>

Lippoldt, K., Niels, T., & Bogenberger, K. (2018). Effectiveness of different incentive models in free-floating carsharing systems: A case study in Milan. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1179-1185). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569242>

Lippoldt, K., Niels, T., & Bogenberger, K. (2019). Analyzing the Potential of User-Based Relocations on a Free-Floating Carsharing System in Cologne. Transportation Research Procedia, 37, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.177>

Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2011). Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12(4), 1074-1086. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158539>

Niels, T., & Bogenberger, K. (2017). Booking Behavior of Free-floating Car Sharing Users – Empirical Analysis of Mobile Phone App and Booking Data with Focus on BEVs. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2650), 123-132. <https://doi.org/10.3141/2650-15>

Seign, R., Bogenberger, K. (2012). Prescriptions for the successful diffusion of carsharing with electric vehicles. In Conference on Future Automotive Technology Focus Electromobility (pp. 18-19).

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. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.008>

Spieser, K., Samaranayake, S., Gruel, W., & Frazzoli, E. (2016). Shared-Vehicle Mobility-on-Demand Systems: Fleet Operator's Guide to Rebalancing Empty Vehicles. In 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Transportation Research Board and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Car-Sharing: Where and How It Succeeds. (Vol. 108). Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/13559>

Weikl, S., & Bogenberger, K. (2016). Integrated Relocation Model for Free-Floating Carsharing Systems. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2563(1), 19-27. <https://doi.org/10.3141/2536-03>

WiMobil. (2016). Retrieved from <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/wimobil>

Ridepooling, Mobility-on-demand, fahrerlose Busshuttles – Zur Psychologie des Teilens von Fahrten in bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten

Alexandra König*, Jan Grippenkoven

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Deutschland

Abstract

Geteilte, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte besitzen ein großes Potential, unsere Mobilität im urbanen als auch im ländlichen Raum grundlegend zu verändern. Bestehende Kriterien zur Messung der Servicequalität in öffentlichen Verkehrssystemen müssen in Bezug auf diese Mobilitätskonzepte reflektiert und angepasst werden, da sie deren räumliche und zeitliche Flexibilität nicht abzubilden vermögen. Der Beitrag stellt erste Forschungsergebnisse vor und leitet Thesen und weiteren Forschungsbedarf ab, die sich aus psychologischer Sicht ergeben.

Schlagwörter/Keywords:

Neue Mobilitätskonzepte, Verkehrsmittelwahl, Fahrgastbedürfnisse, Nutzeranforderungen, Nutzungsbarrieren

1. Einführung

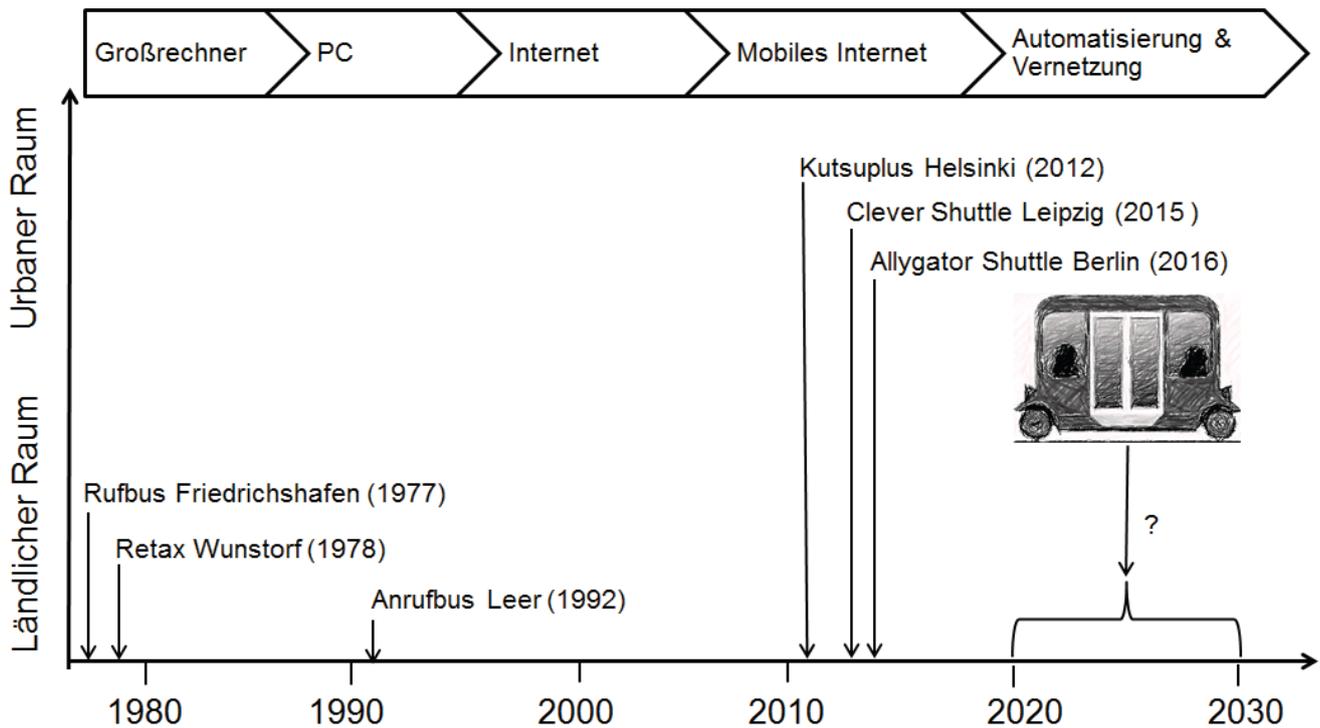
1.1 Bedarfsgesteuerte, geteilte Mobilitätsformen – alter Wein in neuen Schläuchen?

MOIA, CleverShuttle, ioki und Co., die zurzeit mit Pilotprojekten auf dem deutschen Markt aktiv sind, bieten mit ihren Ridesharing- oder Ridepooling-Services keine vollkommen neuen Mobilitätskonzepte an. Bedarfsgesteuerte und geteilte ÖPNV-Services im Flächenbetrieb gibt es bereits seit den Siebzigerjahren. Sie werden unter Bezeichnungen wie *Anrufbus*, *Anrufsammeltaxi* oder *Retax* nach wie vor betrieben (Abbildung 1). Waren diese bedarfsgesteuerten Angebote ursprünglich durch die telefonische Fahrtenbuchung und Disposition mittels einfacher rechnergestützter Dispositionssysteme in ihrer Leitungsfähigkeit eingeschränkt (OECD, 2014), ermöglicht die fortschreitende Digitalisierung heute neue Freiheitsgrade für einen noch effizienteren und nachfrageorientierten Betrieb. Die internetbasierte Buchung und Disposition verspricht einerseits eine höhere Effizienz für das Flottenmanagement der Betreiber und schafft andererseits die Grundlage für eine verbesserte Individualisierung und eine erhöhte Transparenz des Services für Kunden (König, Meyer & Grippenkoven, 2017). Die Flexibilisierung von Mobilitätsangeboten, die durch Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie er-

möglicht werden, stellt eine konsequente Fortsetzung des wachsenden Wunsches des Menschen im 21. Jahrhundert nach individualisierten Angeboten dar. Diesem Wunsch entsprechen in anderen Lebensbereichen unter anderem auch der Wandel des klassischen Fernsehens und Radios hin zu variablen audiovisuellen on-Demand-Medien oder auch die Transformation traditioneller *nine-to-five*-Arbeitsplätze zu Arbeitsmodellen, die hinsichtlich Zeit und Ort flexibel sind. Das zeitgleich wachsende Streben nach einer Verkehrswende hin zu ökologisch nachhaltigen Fortbewegungsarten verstärkt den Bedarf nach neuen Mobilitätsdiensten in der Lücke zwischen einem als umweltschädlich betrachteten, motorisierten Individualverkehr und einem als unflexibel wahrgenommenen öffentlichen Nahverkehr, der individuellen Mobilitätswünschen nicht nachkommen kann. Entsprechend entspringen dem Mobilitätsmarkt in kürzer werdenden Zeitabständen neue Mobilitätsangebote in der Art von z.B. Moia, CleverShuttle oder ioki, die intelligente Algorithmen nutzen, um Fahrgästen individualisierbare und nahtlose Mobilitätslösungen im Sinne einer *Mobility-as-a-Service* anzubieten (Burrows & Bradburn, 2015). Die unabhängig davon voranschreitende technische Entwicklung automatisierter Fahrzeuge stellt einen weiteren Treiber dar, der ein disruptives Potential mit Blick auf den Mobilitätsmarkt besitzt und die Entwicklung bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte zukünftig beschleunigen wird.

* Korrespondierende Autorin.

E-Mail: alexandra.koenig@dlr.de (A. König)

Abbildung 1: Zeitpunkt der Entstehung bedarfsgesteuerter geteilter Mobilitätskonzepte im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung (Auswahl)

Quelle: eigene Abbildung

Zusammenfassend haben digitale und bedarfsgesteuerte Mobilitätsdienste wie beispielsweise ioki (ioki, 2019) also ihre Ursprünge in bedarfsgesteuerten Bedienformen des ÖPNV, unterscheiden sich jedoch durch die Flexibilität und Dynamik deutlich von Anrufbussen und Sammeltaxen. Der Einsatz von intelligenten Routingalgorithmen, die Bereitstellung von Echtzeitinformationen, die flexible digitale Buchungsmöglichkeit, sowie die algorithmusgestützte Fahrzeugdisposition bieten für Mobilitätsdienstleister die Möglichkeit, einen Service anzubieten, der sich den Bedürfnissen der Kunden in einer bislang nicht dagewesenen Weise anpassen könnte.

1.2 Digitale, geteilte und bedarfsgesteuerte Mobilitätservices – sechs Neuheitswerte aus psychologischer Sicht

Die Nutzung digitaler, geteilter und bedarfsgesteuerter Mobilitätsservices geht für Kunden dieser Mobilitätsservices im Vergleich zu traditionellen Angeboten des ÖPNV mit zahlreichen Neuerungen einher. Aus psychologischer Perspektive besonders relevant sind die folgenden sechs neuen Eigenschaften gegenüber herkömmlichen Verkehrsangeboten: 1) die *Flexibilität des Servicekonzepts*, 2) Unklarheiten in der *Benennung* der neuartigen Mobilitätsformen, 3) das damit einhergehende *Konzeptverständnis* zukünftiger Nutzer(innen), 4) ein *erhöhter Informationsbedarf* durch die fehlende Fahrplan- und Routenbindung, 5) die *Zahlungsbe-*

reitschaft für die neuen Dienste bzw. die Höhe der *Kompensationsforderung* für die Akzeptanz von Umwegfahrten sowie 6) Veränderungen in der *wahrgenommenen Sicherheit* durch das bedarfsgesteuerte Bedienkonzept, insbesondere in Bezug auf autonome Fahrzeuge. Im Folgenden werden die sechs Neuheitswerte im Einzelnen vorgestellt und der sich daraus ergebende Forschungsbedarf aus psychologischer Perspektive aufgezeigt.

Flexibilität des Servicekonzepts. Das Bedienkonzept digitaler und geteilter bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste unterscheidet sich stark von herkömmlichen angebotsorientierten Diensten. Die zeitliche und räumliche Flexibilität und Dynamik des Mobilitätsservices geht mit neuen Anforderungen an die Spontaneität und Flexibilität der Nutzer(innen) einher. In bedarfsgesteuerten Systemen sind weder Abfahrts- noch Ankunftszeit fest, weil sich durch das Teilen der Fahrten und der damit verbundene Zu- und Ausstieg weiterer Fahrgäste die Route dynamisch ändern kann. Der Verzicht auf feste Abfahrts- und Ankunftszeiten ist eine systemimmanente Eigenschaft digitaler bedarfsgesteuerter Systeme, der es erlaubt, dass sich der Service an die Fahrgastwünsche anpasst. Für Fahrgäste kann das bedarfsgesteuerte und geteilte Bedienkonzept solcher Mobilitätskonzepte jedoch auch mit Unsicherheiten bezüglich der Route und der Ankunftszeiten einhergehen. In diesen neuen Mobilitätsdiensten verändert sich die Rolle des Fahrgastes vom passiven Konsumenten, der seine Fahrtenplanung an einem

Fahrplan orientiert, hin zu einem aktiven Prosumenten, denn der Fahrgast muss seine Mobilität aktiv mitgestalten, indem er Fahrtenanfragen und Buchungen vornimmt und sich über Änderungen der Abfahrts- und Ankunftszeit sowie den Abfahrtsort informiert. Von Nutzer(innen) solcher bedarfsgesteuerter Systeme wird also ein hohes Maß an Eigeninitiative in der Mobilitätsplanung gefordert. Kurz gesagt – ohne meine Buchung findet die Fahrt nicht statt. Dass dieser Wandel von einer eher passiven Konsumentenrolle zur aktiven Gestalter-Rolle eine Herausforderung und damit Nutzungshürde darstellen kann, zeigte die Umstellung auf einen Bedarfsverkehr im Pilotbetrieb des *Reallabor Schorn-dorf* (König, Brost, Gebhardt, Karnahl & Brandies, 2019). Aspekte der Servicequalität, wie Zuverlässigkeit, Takt und Pünktlichkeit, die für linien- und fahrplangebundene Dienste gelten, erhalten in solchen bedarfsgesteuerten Mobilitätservices, deren Route sich dynamisch berechnet, eine neue Bedeutung. Bisherige Forschungsergebnisse zur Relevanz der Serviceeigenschaften können deshalb nicht einfach auf diese neuen digitalen Systeme übertragen werden. Es ergeben sich zahlreiche Forschungsfragen in Bezug auf die Flexibilität des Servicekonzepts aus Fahrgastperspektive. Welche Serviceeigenschaften spielen eine besondere Rolle für die Akzeptanz der Nutzer(innen)? Wie groß darf der Korridor der Abweichung von der direkten Route maximal sein, damit der Service noch genutzt wird? Wie können Fahrgäste in ihrer aktiven Rolle als Gestalter ihrer eigenen Mobilität unterstützt werden?

Benennung. Die Neuartigkeit des Servicekonzepts der digitalen, geteilten und bedarfsgesteuerten Mobilitätsdienste spiegelt sich in der Vielzahl der, zumeist englischen Begriffe wider, die für deren Beschreibung in Fachjournals und den Populärmedien verwendet werden. Abbildung 2 ver-

deutlicht die Begriffsvielfalt, die auf dem Mobilitätsmarkt für digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätservices Einzug gehalten hat. Während sich Begriffe wie *Carsharing* oder *Bikesharing* bereits im deutschsprachigen Raum etabliert haben, sind *Ridepooling*, *Ridehailing* oder *Mobility-on-demand* noch deutlich weniger verbreitet. Auch Expert(inn)en zeigen Schwierigkeiten in der Abgrenzung der Begriffe wie *Mobility-as-a-service* und *Mobility-on-demand* (Viergutz & König, 2017). Aus psychologischer Sicht ergibt sich vor allem eine Herausforderung in der Inkonsistenz der verwendeten Begriffe. So wird der Begriff des *Ridesharings* von zahlreichen Anbietern verwendet, die damit eigentlich Konzepte des *Ridepoolings* beschreiben wollen. Ridesharing hat sich im Bereich der individuellen Personenbeförderung bereits etabliert. Ein Beispiel hierfür ist die Mitfahrzentrale BlaBla-Car. Hierbei werden Fahrten zwischen privaten Fahrern und Fahrgästen vermittelt, die das gleiche Fahrziel haben, wobei der Fahrer das Fahrziel bestimmt (Herwig, 2017). Bedarfsgesteuerte, geteilte Mobilitätskonzepte bieten hingegen keine Fahrten an, die ohnehin stattfinden. Stattdessen werden hierbei Routen nach Fahrtwunschübermittlung an den Anbieter generiert. Die Inkonsistenz in der Verwendung der Begriffe stellt eine relevante Barriere für das Systemverständnis der Nutzer(innen) dar, da die Begriffe zudem meist nicht in ausreichender Weise das sich dahinter verbergende Servicekonzept des Mobilitätsangebots beschreiben. Kritisch zu hinterfragen ist auch die Verwendung englischer Terme für diese neuen Mobilitätskonzepte, da sie vermutlich weniger intuitiv verständlich sind als Begriffe wie „Anrufbus“ oder „Anrufsammeltaxi“. Jedoch muss davon ausgegangen werden, dass diese Anglizismen mit Bedacht von den neuen Serviceanbietern gewählt werden, um das Image eines „Arme Leute-Taxis“ zu vermeiden, das häufig mit Anrufbussen oder Sammeltaxen verbunden wird, wie Mehlert

Abbildung 2: Begriffsvielfalt digitaler, bedarfsorientierter Bedienung

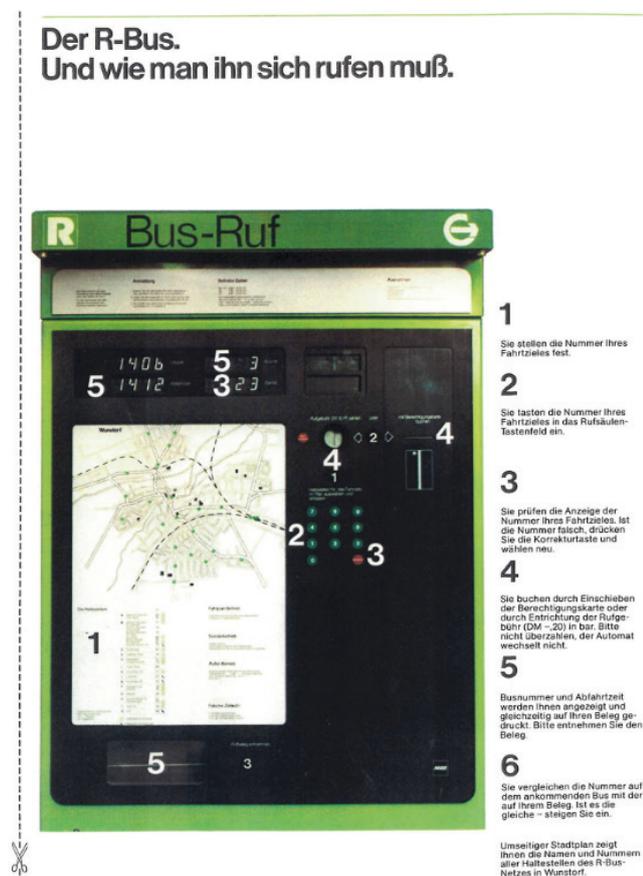


Quelle: eigene Abbildung

(2001) schreibt. Hieraus ergibt sich die Forschungsfrage, welche Begriffe bzw. Namen geeignet sind, um das Bedienkonzept des Mobilitätsangebots verständlich zu vermitteln und keine zusätzliche Nutzungsbarriere durch fehlende Fach- und Sprachkenntnisse darzustellen?

Konzeptverständnis. Durch die Vielfalt der zum Teil äquivalent verwendeten Bezeichnungen innovativer Mobilitätsdienste kann ein mangelndes Konzeptverständnis der zukünftigen Nutzer(innen) entstehen und eine maßgebliche Nutzungshürde darstellen. Die Nachfragesteuerung und Flexibilität des Servicekonzepts, sowie die Verwendung sogenannter virtueller Haltepunkte erschweren die Einordnung des neuen Mobilitätssystems in die den Nutzern bekannten konventionellen Mobilitätskategorien. Dies ist problematisch, da ein gutes Verständnis darüber, wie ein neues System funktioniert, eine notwendige Voraussetzung für dessen Akzeptanz und Nutzung darstellt (Rogers, 1995). Zudem weist das Servicekonzept der neuen digitalen, bedarfsgesteuerten Dienste eine hohe Heterogenität zwischen den einzelnen Anbietern dieser Dienste auf. Unterschiede zwischen den Anbietern bestehen zum Beispiel darin, ob eine Haltestellenbedienung erfolgt oder eine Tür-zu-Tür-Be-

Abbildung 3: Vermittlung des Bedienkonzepts neuer bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte in den Siebzigerjahren mithilfe eines Flyers für den R-Bus in Wunstorf



Quelle: Schneider (2017)

förderung möglich ist, wie weit im Voraus die Fahrt gebucht werden muss oder auf welcher Grundlage der Fahrpreis berechnet wird. Diese Unterschiedlichkeiten erschweren ein konsistentes Verständnis und eine klare Einordnung des Servicekonzepts. Wie schon im Bereich des Car- oder Bike-sharings unterstützt die Digitalisierung den Trend zum Teilen von Gütern, der auch als *Sharing Economy* oder *kollaborativer Konsum* bezeichnet wird, im Bereich der Mobilität (Haucap, 2015). Während Car- und Bikesharing-Konzepte eine sequentielle Nutzung der Verkehrsmittel vorsehen, teilen Fahrgäste diese bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepte im Sinne des Ridepoolings zur selben Zeit. Das bedeutet, dass diese Mobilitätssysteme viel eher öffentlichen und damit geteilten Systemen entsprechen als Carsharing-Systeme, die eher dem Individualverkehr zuzuordnen sind. Wie im Abschnitt zur Flexibilität des Servicekonzepts bereits erwähnt, bewirkt das Teilen der Fahrten mit weiteren Fahrgästen Abweichungen von der direkten Route. Diese Umwege sind systemimmanente Eigenschaften des Bedienkonzepts und müssen den Fahrgästen als solche vermittelt werden. Die Abbildung 3 zeigt, mit welchen Mitteln der Bestellprozess des R-Bus in Wunstorf in den Siebzigerjahren erklärt wurde. Abbildung 4 zeigt, wie der Mobilitätsanbieter MOIA den Buchungsprozess seines Ridesharing-Services mithilfe eines Videoclips erklärt. Aus der Betrachtung ergeben sich Forschungsfragen, die sich auf die verständliche Vermittlung des Mobilitätskonzepts und die Erhöhung des Konzeptverständnisses beziehen. Welche Informationen sind notwendig und hilfreich, um das flexible Servicekonzept zu verstehen? Welche Medien, wie animierte Videos, Tutorials oder auch spielerische Konzepte sind geeignet, um das Verständnis der zukünftigen Nutzer(innen) in Bezug auf den Service zu erhöhen?

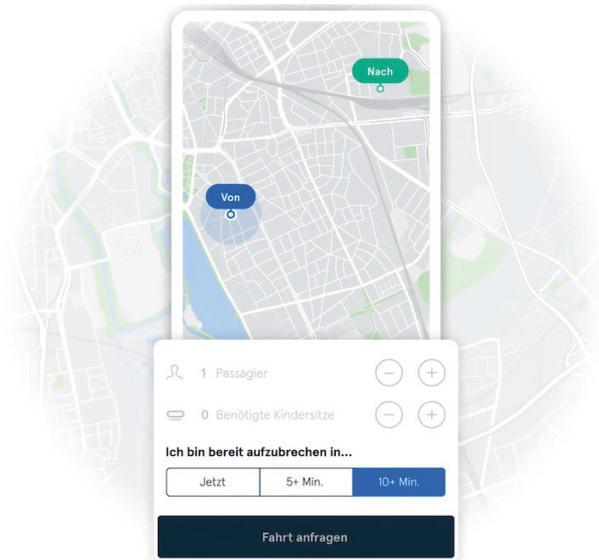
Erhöhter Informationsbedarf. Da in digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätssystemen feste Fahrpläne und Routen durch eine nachfragebasierte und algorithmusgesteuerte Fahrtenplanung ersetzt werden, steigt der Informationsbedarf der Fahrgäste. Durch das Teilen von Fahrten ergeben sich spontane Routenänderungen auch während der Fahrt. Insbesondere Echtzeitinformationen sind erforderlich um die Fahrgäste transparent über spontane Routenänderungen und damit verbundene Anpassungen der Abfahrts- und Ankunftszeit zu informieren. Die Bereitstellung von detaillierten und zuverlässigen Informationen ist wichtig, um Nutzer(innen) trotz der Flexibilität ein Gefühl der Nachvollziehbarkeit und damit der Kontrollierbarkeit zu vermitteln. Nur durch eine hohe Transparenz kann vermieden werden, dass das Mobilitätskonzept abgelehnt wird, weil es als unzuverlässig wahrgenommen wird oder Erwartungen der Fahrgäste nicht erfüllt. Daraus ergeben sich Forschungsfragen in Bezug auf die Qualität und Quantität der bereitgestellten Informationen. Welche Art der Informationsbereitstellung kann die Nachvollziehbarkeit des Servicekonzepts erhöhen?

Abbildung 4: Vermittlung des Bedienkonzepts des MOIA-Angebots in einem animierten Videoclip (Screenshot)

Zeit und Wünsche angeben

Sag uns, ob du jemanden mitnimmst und Kindersitze brauchst. Bestimme dann, wann es losgehen soll und frag dann deine Fahrt an.

Erneut abspielen >



Quelle: Moia (2019)

Zahlungsbereitschaft und Kompensationsforderung.

Für neuartige bedarfsgesteuerte Angebote werden zumeist auch neue Preissysteme angewandt, die sich von den Tarifsystemen des ÖPNV und auch untereinander stark unterscheiden. Zumeist liegt der Fahrpreis für den Kunden zwischen dem ÖPNV- und dem Taxipreis. So wird angenommen, dass sich für Fahrgäste der Komfort aufgrund der individualisierbaren Fahrtenplanung und der kürzeren Zugangswege erhöht. Andererseits muss auch davon ausgegangen werden, dass das Teilen von Fahrten mit zusteigenden Fahrgästen und den damit verbundenen Umwegfahrten die Zahlungsbereitschaft von Nutzer(innen) einschränkt. Das Teilen von Fahrten geht demnach mit Komforteinbußen einher. Wer bereit ist zu teilen, sollte dafür belohnt werden. Das Teil-Taxi-System MyTaxiMatch bietet eine pauschale Preisermäßigung von 50 % an, wenn Fahrgäste bereit sind, zugunsten eines höheren Besetzungsgrades des Fahrzeuges Umwegfahrten in Kauf zu nehmen (Betzholz, 2017). Aus psychologischer Sicht ergeben sich an dieser Stelle die folgenden Forschungsfragen: Wie hoch ist die Zahlungsbereitschaft bzw. die Kompensationsforderung für geteilte, bedarfsgesteuerte Systeme, die für den Fahrgast mit einer spontanen Abweichung von der direkten Route einhergehen können? Inwieweit beeinflussen die Fahrtlänge und der Umwegfaktor die Kompensationsforderung? Auf welche Weise beeinflussen soziodemografische Eigenschaften die Kompensationsforderung? Können andere als monetäre Anreizsysteme genutzt werden, um die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten zu erhöhen?

Wahrgenommene Sicherheit. Digitale, bedarfsgesteuerte Systeme sollen dem Fahrgast einen höheren Grad an Individualisierbarkeit und Spontaneität in der persönlichen Mobilität bieten. Es ist jedoch zu vermuten, dass die Flexibilität und Dynamik des Servicekonzepts auch mit einer

Reduzierung der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit einhergeht. Wenn das Verständnis der Nutzer(innen) für das Servicekonzept Lücken aufweist und keine ausreichende Echtzeitinformationen bereitgestellt werden, können dynamische Veränderungen der Route und der Abfahrts- und Ankunftszeiten mit einem Gefühl der subjektiven Unsicherheit einhergehen. Das Teilen von Fahrten mit Unbekannten in kleinen Fahrzeugen kann zu Einschränkungen in der Sicherheitswahrnehmung der Fahrgäste führen, wenn zudem Abweichungen von der gewohnten Route entstehen. Zu vermuten ist, dass die wahrgenommene Kontrollierbarkeit der Situation und der persönlichen Sicherheit zudem negativ durch den Wegfall eines Fahrers als Auskunftsperson in autonomen Shuttles beeinflusst wird. Auch hier stellen sich Fragen, wie eine nutzerzentrierte Gestaltung des Servicekonzepts die wahrgenommene Sicherheit der Fahrgäste in der Nutzung der Mobilitätssysteme verbessern kann? Welche Gegenmaßnahmen können Unsicherheiten reduzieren? Wie können die verschiedenen Rollen und Aufgaben des Fahrers in fahrerlosen Systemen kompensiert werden, z.B. als Auskunftgeber, Helfer für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste oder als Sicherheitsautorität?

1.3 Neue bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte und der Bedarf nach neuen psychologischen Modellen und Theorien

Die zahlreichen zuvor beschriebenen psychologischen Forschungsfragestellungen rund um bedarfsbesteuerte Mobilitätsangebote illustrieren, dass die öffentliche Mobilität von Personen nicht nur eine logistische Herausforderung ist, sondern in erster Linie eine Dienstleistung an einem Menschen, der diese Dienstleistung annehmen muss. Nur wenn der Mensch als Mobilitätsnutzer und Kunde mit seinen Bedürfnissen in der Servicegestaltung als zentraler

Baustein der Wertschöpfungskette verstanden und beachtet wird, ist es möglich, nachhaltige und geteilte öffentliche Mobilitätsformen als Konkurrenz zum motorisierten Individualverkehr ernsthaft zu diskutieren. Die Betrachtung der psychologischen Forschungsfragen erfordert die Anpassung und Erweiterung klassischer Theorien und Modelle zu Beschreibung der Verkehrsmittelwahl, die sich zumeist auf angebotsorientierte, fahrplangebundene Dienste beziehen. Qualitätskriterien, deren Bedeutung für die Kundenzufriedenheit von Linienverkehren in zahlreichen Studien bestätigt wurden (Vgl. Bourgeat, 2015; De Oña, de Oña, Eboli, Forciniti & Mazzulla, 2016), können nur bedingt auf bedarfsgesteuerte Mobilitätsangebote übertragen werden. Qualitätskriterien, wie Verfügbarkeit oder Zeit, die in der DIN-Norm 13816 beschrieben werden, verändern im Angesicht von digitalen, geteilten und bedarfsgesteuerten Angeboten ihre Bedeutung und müssen in ihrer Bedeutung für die Zufriedenheit von Kunden überprüft werden, da sich ihre Definition für solche neuen Mobilitätsdienste ändert (Deutsches Institut für Normung, 2007). In der bestehenden wissenschaftlichen Forschungsliteratur finden sich verschiedenste theoretische Ansätze zur Erklärung des Mobilitätsverhaltens und der Verkehrsmittelwahl. Zwei anerkannte Ansätze sind sogenannte *Rational Choice-Ansätze* und *einstellungsbasierte Theorien*. Im Folgenden wird erläutert, welche Restriktionen sich für die Anwendung der Ansätze auf digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte ergeben und welche Anpassungen bzw. Erweiterungen der Theorien vorgenommen werden müssen, um diese neuartigen Mobilitätssysteme abbilden zu können.

Rational Choice-Ansätze (RC) unterliegen der Annahme, die auch unter dem Begriff des *homo oeconomicus* verbreitet ist, dass Individuen in Entscheidungssituationen diejenige Alternative bevorzugen und wählen, die eine Maximierung des Nutzens verspricht (Diekmann & Voss, 2004). Ausgangspunkt der RC-Theorien sind bestimmte Annahmen, die besagen, dass Individuen über Nutzen durch den Erhalt oder die Verwendung von Gütern oder Dienstleistungen erhalten und unter Restriktionen (Nutzen und Kosten) handeln, sowie stabile Präferenzen besitzen (Franzen, 1997). Im Sinne des RC-Ansatzes handeln Individuen nutzenmaximierend, um ihre persönlichen Gewinne zu vergrößern und ihre Verluste so klein wie möglich zu halten. In der Forschung werden RC-Ansätze wegen ihres hohen Abstraktionsgrades kritisiert und ihre Güte für die Beschreibung von realitätsnahen Entscheidungen angezweifelt (Zemlin, 2005). Entsprechend kann angenommen werden, dass RC-Ansätze die Komplexität und Dynamik des Servicekonzepts von digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätsdiensten nicht ausreichend präzise abbilden können. RC-Ansätze unterliegen zudem der Annahme, dass die Individuen über die notwendigen Informationen für die Wahlentscheidung verfügen. Gerade für neuartige, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte ist diese Annahme nicht haltbar, wenn die Nutzer(innen) keine Erfahrungen mit dem System gesammelt haben und

zudem das Servicekonzept häufig nicht ausreichend verständlich vermittelt wird, sodass der Aufbau eines mentalen Modells des Mobilitätskonzepts erschwert wird. Zudem geht die Theorie davon aus, dass das Handeln der Menschen nicht durch Werte und Normen, wie dem Umweltbewusstsein oder kooperativ-altruistischen Motiven, geleitet wird, die wahrscheinlich für die Nutzung von geteilten, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten von Relevanz sind, sondern ausschließlich von nutzenorientierten Motiven. Hierbei ist zu überprüfen, ob die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten und den damit verbundenen Umwegen nur durch die Erwartung von niedrigeren Kosten für die Fahrt gewährleistet werden kann, oder ob auch andere, eher intrinsische Motive, wie ein umweltbewusstes Mobilitätsverhalten relevante Motivatoren darstellen. Interessant ist hierbei auch die Frage, wie stark diese mobilitätsbezogenen Einstellungen in die Entscheidung einfließen, ein solches geteiltes System zu nutzen?

Die Kritik an verhaltensorientierten Modellen, wie den RC-Ansätzen zur Beschreibung der Verkehrsmittelwahl auf Basis objektiver Kriterien (v.a. Kosten und Zeit), führte zur Entwicklung von einstellungsbasierten Modellen. Diese verstehen die Verkehrsmittelwahl als Resultat der subjektiven Bewertung der Eigenschaften bestimmter Verkehrsmittel, die von Einstellungen determiniert werden (Zemlin, 2005). Eine einstellungsbasierte Theorie ist die *Theorie des geplanten Verhaltens* (Theory of planned behavior) von Ajzen (1991), die die drei Determinanten für die Nutzungsintention beschreibt: *Einstellung*, *soziale Norm* und *wahrgenommene Verhaltenskontrolle*. So wendeten beispielsweise Bamberg und Schmidt (1993) die Theorie des geplanten Verhaltens für die Vorhersage der individuellen Verkehrsmittelwahl an. Das Modell geht davon aus, dass die wahrgenommene Verhaltenskontrolle einen direkten Einfluss auf das tatsächliche Verhalten hat. Es ist anzunehmen, dass dieser Zusammenhang für digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte noch bedeutender wird, da die Kontrollierbarkeit des Systems durch dynamische Routenanpassungen höchstwahrscheinlich abnimmt. In Bezug auf das Teilen von Fahrten nimmt die Modelldeterminante *soziale Norm* höchstwahrscheinlich eine größere Bedeutung für die Wahl geteilter, bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste ein. Zu vermuten ist, dass den kulturellen Hintergründen und der Sozialisierung der Nutzer(innen) hierbei eine bedeutende Rolle zuteil wird. Einstellungsbasierte Theorien betonen zumeist die Bedeutung des vergangenen Verhaltens, der Erfahrungen und der Gewohnheiten (Bamberg, Ajzen & Schmidt, 2003): “[...] der Stand der Forschung hat zudem gezeigt, dass der Habitualisierung, also dem Einfluss von Gewohnheiten, eine ganz erhebliche Bedeutung für die Verkehrsmittelwahl zukommt.“ (Zemlin, 2005, S. 65). Für digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätsdienste muss an dieser Stelle jedoch angemerkt werden, dass Routinen und Gewohnheiten aufgrund des Neuheitswerts der Angebote noch nicht gebildet wurden und deshalb auch keine spezifischen Einstellungen in Zusammen-

hang mit der Nutzung der Systeme zu erwarten sind. Im Gegensatz dazu bestehen hingegen meist jahrelang gefestigte Verhaltensgewohnheiten in der Nutzung von Pkw, die zugunsten der Nutzung eines neuen Systems aufgebrochen werden müssen.

Aufgrund der fehlenden Erfahrungen mit neuartigen Verkehrssystemen werden seit einigen Jahren verstärkt Technikakzeptanzmodelle für die Bewertung von innovativen Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepten eingesetzt (vgl. Chen & Chao, 2011; Wolf & Seebauer, 2014). Technikakzeptanzmodelle wie das Technology Acceptance Model (TAM, Davis, 1989) oder die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT, Venkatesh, Morris, Davis & Davis, 2003) betrachten stärker die Acceptability, welche die prospektive Bewertung eines zukünftigen Produkts oder einer Maßnahme beschreibt und somit der Akzeptanz vorgelagert ist, die erst nach der Nutzung entsteht (Schade & Schlag, 2003). Zusammenfassend zeigt sich der Bedarf nach einer Erweiterung psychologischer Theorien und Modelle für die Be-

schreibung der Nutzungsintention, von Nutzungsbarrieren und nutzungserleichternden Faktoren in Bezug auf digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte.

2. Neue Analysemethoden für neue geteilte Mobilitätsdienste

Wie das vorangegangene Kapitel darzustellen versuchte, benötigen die Wissenschaft und die Praxis neue Methoden und Modelle für die Analyse neuer Mobilitätsdienste. Die neuen Analysemethoden sind notwendig, um verschiedene Mobilitätskonzepte auf ihre Nutzerfreundlichkeit und Servicequalität hin zu vergleichen. Zudem unterstützen die Methoden bei der Identifikation der optimalen Ausprägung von Servicecharakteristika aus Nutzersicht und möglichen Nutzungsbarrieren. Neue Methoden sollten sich unter anderem damit auseinandersetzen, wie das Teilen von Fahrten aus den Perspektiven unterschiedlicher Stakeholder

Abbildung 5: Auswahl von Methoden zur nutzerzentrierten Forschung digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte: 1) Discrete Choice Experiment, 2) Revealed Preference Studie zum Informationsbedürfnis, 3) Spielerische Konzeptvermittlung mittels eines digitalen Lernspiels (Serious Game), 4) Transdisziplinäre Forschung im Reallabor



Quellen: eigene Abbildungen

erforscht werden kann. Bei der Betrachtung neuartiger Services und Produkte kann es sich dabei als förderlich erweisen, interdisziplinäre Forschungsansätze zu verfolgen, um die Grenzen einer einzelnen Wissenschaftsdisziplin zu erweitern.

Die Abbildung 5 illustriert Methoden unterschiedlicher Disziplinen, die für die nutzerzentrierte Betrachtung digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte verwendet wurden. Ein Discrete Choice Experiment, das in den Wirtschaftswissenschaften häufig eingesetzt wird, wurde angewandt um den Nutzenbeitrag einzelner Serviceeigenschaften, wie der Fußwegdistanz zum Einstiegsort, zu modellieren, denn es stellt sich beispielsweise die Frage, wie weit der Abholort maximal vom Standort des Fahrgastes entfernt sein sollte und gleichzeitig eine effiziente Bündelungsfunktion zu ermöglichen (Abbildung 5, Nr. 1). Auch Human Factors-Methoden sollten eingesetzt werden, da die Nutzerschnittstelle zum Mobilitätskonzept zumeist eine Buchungs-App ist, in deren Entwicklung die Usability und die User Experience der Bedienung beachtet werden sollten, damit die Buchung und Nutzung des Services möglichst leicht, barrierefrei und komfortabel gestaltet werden kann.

Eine Studie, die den Einfluss der Informationsdarstellung auf die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten in fahrerlosen und herkömmlichen digitalen bedarfsgesteuerten Systemen untersuchte, wurde von König, Wirth und Gripenkoven (2019) durchgeführt (Abbildung 5, Nr. 2). Hierbei sollten Gestaltungsaspekte identifiziert werden, die die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten erhöhen, um so Verkehrsbelastungen und daraus resultierende Schadstoffemissionen zu reduzieren.

Die Abbildung 5 (Nr. 3) zeigt zudem ein digitales Lernspiel (Serious Game), dessen Ursprünge in den Erziehungswissenschaften liegen. Das Serious Game B.u.S. wurde entwickelt, um zukünftigen Nutzer(inne)n digitaler Mobilitätsdienste auf spielerische Weise beim Wissenserwerb und der Konzeptbildung zu unterstützen und somit die Einstellung gegenüber dem System zu verbessern und die Nutzungstention zu erhöhen (König, Wegener, Pelz & Gripenkoven, 2017). In der Entwicklung neuer digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste bietet sich zudem die Möglichkeit, zukünftige Nutzer(innen) und weitere relevante Stakeholder schon in einer sehr frühen Phase zu involvieren, um das Mobilitätsangebot entsprechend der unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer(innen) zu entwickeln. Partizipative und transdisziplinäre Ansätze, wie die Methode der *Co-Creation* (Defila & Di Giulio, 2018) und des *Reallabors* (Abb. 5 Nr. 4, Gebhardt & König, 2019), erweisen sich hierbei als geeignet, um das Zielsystem gemeinsam mit den Nutzer(innen) zu entwickeln und früh Nutzungsbarrieren zu identifizieren. Weiterhin reduziert die Bürgerbeteiligung die Wahrscheinlichkeit, dass das System an den Bedürfnissen der Nutzer(innen) vorbei entwickelt wird und erhöht so die Wahrscheinlichkeit, dass das System tatsächlich genutzt und nachhaltig auf dem Markt Bestand haben

wird. Zudem dienen diese Beteiligungsformate der Information der Bürger(innen) und unterstützen den Aufbau des Konzeptverständnisses und beugen damit den in Abschnitt 1.2 beschriebenen Herausforderungen vor.

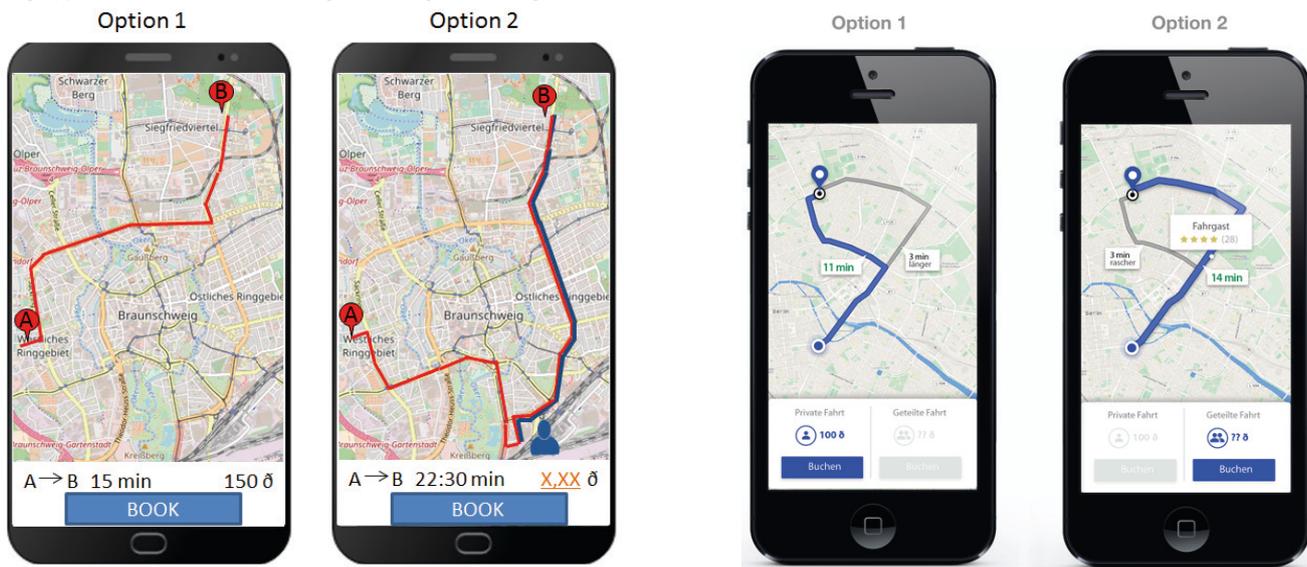
3. Erste Ergebnisse aus der nutzerzentrierten Betrachtung des Teilens von digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten

Unter Verwendung der im vorangehenden Abschnitt eingeführten Methoden wurden durch die Autoren bereits einige aufschlussreiche Erkenntnisse zur nutzerzentrierten Gestaltung digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste gewonnen.

In einem Discrete Choice Experiment mit 410 Teilnehmern wurde untersucht, inwieweit sich die Relevanz einzelner Serviceeigenschaften bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte, wie der Vorbuchungszeit, in Abhängigkeit vom Wegezweck verändert (König & Gripenkoven, in review A). Die Ergebnisse wiesen auf die Relevanz der sechs untersuchten Serviceeigenschaften von bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten für die Nutzungsbereitschaft hin: Fußwegdistanz zum Einstiegsort, Fahrpreis, Fahrzeit, Veränderungen der Abfahrzeit, Vorbuchungszeit und der Informationsbereitstellung. Hierbei zeigt sich, dass vor allem im zeitkritischen Nutzungsszenario eines Arztbesuches als Wegezweck mögliche Veränderungen in der Abfahrzeit sowie der Fahrzeit durch den spontanen Zustieg weiterer Reisenden durch Teilnehmer als kritisch empfunden wurden. Variationen auf diesen Faktoren verringerten die Bereitschaft zur Nutzung im Kontext dieses Szenarios.

Der Fahrpreis wird in zahlreichen Studien als einer der wichtigsten Faktoren für die Bewertung eines Mobilitätservices angesehen (Vgl. De Oña, de Oña, Eboli & Mazzulla, 2013). Aus diesem Grund stellen monetäre Anreize einen vielversprechenden Ansatz dar, um die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten in digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten zu erhöhen, die für den Fahrgast häufig mit einem Umweg einhergehen. So schlug der VDV in dem skizzierten Szenario *Triumph des Öffentlichen Verkehrs* ein Preismodell vor, dass die Nutzung von geteilten autonomen Fahrzeugen gegenüber privaten autonomen Fahrzeugen attraktiver macht (VDV, 2015). Mit der Frage, wie hoch eine Preismäßigung für geteilte Fahrten in Abhängigkeit von Fahrtlänge und Umwegfaktor im Vergleich zu privaten Fahrten in autonomen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten sein muss, damit Fahrgäste bereit sind, eine Fahrt mit Unbekannten zu teilen, setzten sich König und Gripenkoven (in review B) in einer weiteren Untersuchung auseinander. Es zeigte sich, dass mit wachsendem Umwegfaktor und größerer Fahrtlänge die Nutzungsbereitschaft der Teilnehmer sinkt und die Kompensationsforderung steigt. Eine kumulative Verteilungsfunktion zeigte, dass bei einer Halbierung des Fahrtgeldes 90 % der potentiellen Nutzer

Abbildung 6: Links: Szenario Privatfahrt (links) und geteilter Fahrt (rechts) mit Umwegfaktor 1.5 und Fahrtbeginn in entgegengesetzte Richtung. Rechts: Buchungssapp mit Auskunft über Bewertung des zusteigenden Fahrgastes



Quellen: eigene Abbildungen

eine geteilte 10-minütige Fahrt einer nichtgeteilten 11-minütigen Fahrt (Umwegfaktor 1.1) vorziehen würden, jedoch ist eine höhere Ermäßigung erforderlich, wenn Fahrtzeit und Umwegfaktor steigen. Damit zeigt die Studie, dass die erforderliche Preisermäßigung für geteilte Fahrten in Abhängigkeit der Fahrtzeit und des Umwegfaktors berechnet werden sollte, da ein pauschaler Ermäßigungssatz, wie die 50%ige Ermäßigung bei MyTaxiMatch (Betzholz, 2017), nicht grundsätzlich einen ausreichenden Anreiz zum Teilen der Fahrt darstellt. Weiterhin weisen die Ergebnisse der Studie auf die Relevanz der Informationsdarstellung hin. Der Korridor, innerhalb dessen sich der entstehende Umweg durch den Zustieg weiterer Fahrgäste befindet, sollte nicht zu groß sein. Gerade eine Fahrt, die in die dem Fahrtziel entgegengesetzte Fahrtrichtung beginnt, reduziert die Nutzungsbereitschaft deutlich (Abbildung 6, links).

Das Ergebnis der Studie von König und Gripenkoven (in review B) weist ebenso wie das Ergebnis einer Studie von Gripenkoven, Fassina, König und Dreßler (2019) darauf hin, dass Unsicherheiten, basierend auf einem intransparenten Systemverhalten (z.B. Abweichung von direkter Route, Veränderungen in der Ankunftszeit) und Bedenken gegenüber anderen Fahrgästen, erhebliche Nutzungsbarrieren für fahrerlose, bedarfsgesteuerte Mobilitätsdienste darstellen. So brachte eine Teilnehmerin ihre Bedenken in der Onlinestudie zur Kompensationsforderung für geteilte Fahrten auf den Punkt: „Ein Taxi würde ich mir nachts nicht mit einem Mann teilen, wenn ich alleine bin.“

In einer weiteren Studie von König, Wirth und Gripenkoven (in Bearbeitung) wurde deshalb untersucht, inwieweit eine ausführliche Informationsbereitstellung über die zusteigenden Fahrgäste in der Buchungssapp die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten erhöhen kann. Es zeigte sich, dass sich vor allem Frauen Informationen über die zusteigenden

Fahrgäste wünschen. Der Einfluss der Informationsbereitstellung auf die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten war besonders stark, wenn die Auskunft- und Aufsichtsfunktion des Fahrers in fahrerlosen Mobilitätskonzepten entfiel. Hierbei erwies sich vor allem ein Bewertungssystem, wie in Abbildung 4, rechts dargestellt, als förderlich für die Bereitschaft zum Teilen von Fahrten in autonomen Fahrzeugen, da es das Sicherheitsempfinden steigert.

Auf Basis einer Studie, die die Vermittlung des persönlichen und gesellschaftlichen Nutzens des Mobilitätssystems als relevanten Einflussfaktor für die Bereitschaft zur Nutzung von Rufbussen im ländlichen Raum nachgewiesen hatte (König, Meyer & Gripenkoven, 2017), entwickelten König, Wegener, Pelz und Gripenkoven (2017) das digitale Lernspiel B.u.S., um Wissen über flexibilisierte, bedarfsgesteuerte Mobilitätsdienste spielerisch zu vermitteln und die Einstellung gegenüber den Systemen zu verbessern. Erste Ergebnisse aus der Evaluationsstudie des sogenannten Serious Games in Schulklassen (N = 71) weisen darauf hin, dass die Schüler(innen), die das Spiel gespielt hatten, ein besseres Konzeptverständnis und eine positivere Einstellung gegenüber neuen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten aufweisen als die Schüler(innen) der Kontrollgruppe, die eine Onlinerecherche zum Thema durchgeführt hatten (König, Kowala, Wegener, & Gripenkoven, in Bearbeitung).

4. Ableitung von Thesen basierend auf ersten Erkenntnissen aus der nutzerzentrierten Betrachtung geteilter, bedarfsgesteuerter Mobilitätskonzepte

Auf Grundlage der empirischen Studien zur nutzerzentrierten Sicht auf digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte können erste Thesen abgeleitet werden.

Neue, geteilte Mobilitätsservices gehen für Nutzer(innen) mit einem **erhöhten Informationsbedarf** einher, da die Auskunftsfunktion von a priori erstellten Fahrplänen entfällt.

Veränderungen der Abfahrts- und Ankunftszeit durch **dynamische Routenanpassungen** durch das Teilen von Fahrten mit weiteren Fahrgästen beeinträchtigen die Bewertung des Systems insbesondere für Fahrten mit zeitkritischen Wegezwecken. Die Garantie einer zeitlichen Ankunfts-korridors scheint sinnvoll um die Bereitschaft zur Nutzung zu erhöhen.

Eine einheitliche und konsistent verwendete **Benennung** der Mobilitätsdienstleistungen ist notwendig, damit zukünftige Fahrgäste ein Konzeptverständnis entwickeln.

Die Aufklärung der Fahrgäste über **systemimmanente Eigenschaften**, wie die Flexibilität der Abfahrtszeit und Route, die sich durch das Teilen der Fahrten ergeben, stellt eine wichtige Bedingung für die Akzeptanz der neuen Dienste dar.

Die **Rolle des Fahrgastes** ändert sich vom passiven Konsumenten zum aktiven Prosumenten. Der Fahrgast muss seine Mobilität aktiv mitgestalten indem er beispielsweise Buchungen vornimmt und sich über Änderungen informiert. Dabei sollte der Fahrgast mithilfe eines nutzerfreundlichen und transparenten Buchungssystems unterstützt werden, das ausführliche Informationen bereitstellt.

Die erforderliche **Preisermäßigung** für geteilte Fahrten sollte in Abhängigkeit der Fahrtzeit und des Umwegfaktors berechnet werden. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine pauschale Ermäßigung (z.B. 50% bei *MyTaxiMatch*) keinen ausreichenden Anreiz um die Fahrt mit Unbekannten zu Teilen und Umwege in Kauf zu nehmen.

Bisherige **Modelle und Theorien** zur Beschreibung und Analyse der Verkehrsmittelwahl (z.B. Theorie des Geplanten Verhaltens) können aufgrund der neuartigen Serviceeigenschaften, die eine Flexibilität und Dynamik mit sich bringen, nicht ohne weiteres auf digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätsservices übertragen werden. Zudem fehlen Theorien, die sich explizit mit den Determinanten zum Teilen von Fahrten beschäftigen.

Durch das *Einfrieren* der dynamisch generierten Route sollten sehr **spontane Veränderungen** der Abfahrtszeit kurz vor Fahrtantritt vermieden werden.

5. Offene Forschungsfragen zum Teilen von Fahrten in digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten

Aus ersten Betrachtungen digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste aus psychologischer Perspektive ergeben sich zahlreiche weitere Forschungsfragen, die im Folgenden kurz skizziert werden und in weiteren Forschungsprojekten adressiert werden sollten, um eine nutzergerechte Entwicklung digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätssysteme zu gewährleisten.

- Wie hoch ist die Toleranz von Fahrgästen bezüglich Abweichungen von der direkten Route? Wie groß darf der Umwegfaktor der *Fahrtroutenabweichung* vom Direktweg maximal sein, um eine hinreichende Akzeptanz der Fahrgäste zu gewährleisten?
- Welche *Informationen* und welche Art der Informationsdarstellung wünschen sich Fahrgäste bezüglich des dynamischen Bedienkonzepts digitaler, bedarfsgesteuerter Mobilitätsdienste hinsichtlich Routenverlauf, Zustiegsorte, Störungen etc.?
- Inwieweit kann eine *Personalisierung* des Mobilitätsdienstes zur Kundenzufriedenheit beitragen?
- Für welche *Nutzungsszenarien und Wegezwecke* sind digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte besonders geeignet? Wie verändert sich die Relevanz einzelner Serviceeigenschaften, wie der Vorbuchungszeit, in Abhängigkeit vom Wegezweck?
- Wie können *Echtzeit-Informationen* zur Route, Ankunftszeit etc. und deren dynamische, systemimmanente Veränderungen den Fahrgästen übermittelt werden? Kann dadurch das Gefühl der subjektiven Kontrollierbarkeit der Situation erhöht werden?
- Wie kann der Fahrgast in seiner neuen Rolle als *aktiver Prosument* unterstützt werden? Wie sollte eine *Künstliche Intelligenz* gestaltet sein, die als *persönlicher Mobilitätsassistent* die Mobilitätsplanung für mich übernimmt?
- Wie können die *Informationen* zur Veränderung der Route und der Zeit *dargestellt* werden, so dass die Bereitschaft zum Teilen weniger stark sinkt und auch längere Umwege akzeptiert werden (z.B. Zoomingfaktor)?
- Welche *Anreizsysteme* sind geeignet, um die Motivation zum Fahrteteil in (fahrerlosen) digitalen, bedarfsgesteuerten Mobilitätsservices zu erhöhen? Wie geeignet erweisen sich Incentivierungsansätze wie Social Nudging, Umweltframing, finanzielle Anreizsysteme und Kooperationen mit Partnerunternehmen?
- Welche Maßnahmen sind geeignet, um die *wahrgenommene Sicherheit* in fahrerlosen, bedarfsgesteuerten Mobilitätskonzepten zu erhöhen?
- Welche Anforderungen besitzen *spezifische Nutzergruppen*, wie Kinder oder mobilitätseingeschränkte Reisende, an digitale, bedarfsgesteuerte Mobilitätskonzepte in Bezug auf Fahrzeugkonzept, Servicekonzept und Buchungsapp?

Literaturangaben

Bamberg, S., Ajzen, I. & Schmidt, P. (2003). Choice of travel mode in the theory of planned behavior: the roles of past behavior, habit, and reasoned action. *Basic and Applied Social Psychology* 25(3). S. 175-187. DOI: 10.1207/S15324834BASP2503_01

Bamberg, S. & Schmidt, P. (1993): Verkehrsmittelwahl — eine Anwendung der Theorie geplanten Verhaltens. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, Heft 1, S. 25-37.

Betzholz, D. (2017). Fremde Menschen können sich Taxifahrten künftig teilen. *Welt.de*. Available online: <https://www.welt.de/regionales/hamburg/article171206896/Fremde-Menschen-koennen-sich-Taxifahrten-kuenftig-teilen.html> [22.04.2019].

Bourgeat, P. (2015). A revealed/stated preference approach to bus service configuration, *Transportation Research Procedia*, 6, 411-42. doi: 10.1016/j.trpro.2015.03.031

Burrows, A. & Bradburn, J. (2015). Journeys of the Future. Bericht. Abrufbar unter: https://www.atkinsglobal.com/~media/Files/A/Atkins-Corporate/uk-and-europe/uk-thought-leadership/reports/Journeys%20of%20the%20future_300315.pdf [Zugriff: 11.04.2019].

Chen, C. F., & Chao, W. H. (2011). Habitual or reasoned? Using the theory of planned behavior, technology acceptance model, and habit to examine switching intentions toward public transit. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(2), 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2010.11.006>

Davis, F.D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319-339

Defila, R., & Di Giulio, A. (2018). Partizipative Wissenserzeugung und Wissenschaftlichkeit – ein methodologischer Beitrag. In: R. Defila & A. Di Giulio (Hrsg.), *Transdisziplinär und transformativ forschen. Eine Methodensammlung* (S. 39-67). Wiesbaden: Springer VS.

De Oña, J.; De Oña, R.; Eboli, L. & Mazzulla, G. (2013). Perceived service quality in bus transit service: A structural equation approach. *Transport Policy*, 29, 219-226

De Oña, J., de Oña, R., Eboli, L., Forciniti, C. & Mazzulla, G. (2016): Transit passengers' behavioural intentions: the influence of service quality and customer satisfaction, *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(5), S. 385-412. DOI: 10.1080/23249935.2016.1146365

Deutsches Institut für Normung (2007). DIN EN 13816:2002-07. Transport – Logistik und Dienstleistungen – Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität. Abrufbar unter: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nadl/normen/wdc-beuth:din21:43796300> [10.04.2019]

Diekmann, A. & Voss, T. (2004). Die Theorie rationalen Handelns. Stand und Perspektiven. In: A. Diekmann & T. Voss (Hrsg.): Rational-Choice-Theorie in den Sozialwissenschaften. Anwendungen und Probleme. München: Oldenbourg, S. 13-29.

Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). Service Quality Attributes Affecting Customer Satisfaction for Bus Transit. *Journal of Public Transportation*, 10(3), S. 21-34.

Gebhardt, L. & König, A. (2019). Die „TraSy-Methode“ – ein Vorgehen für die transdisziplinäre Entwicklung soziotechnischer Systeme. R. Defila & A. Di Giulio (Hrsg.). *BaWü-Lab Methodenbuch*. S. 17-61. Springer

Grippenkoven, J.; Fassina, Z.; König, A.; & Dreßler, A. (2019). Perceived Safety: a necessary precondition for successful autonomous mobility services. In: D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann, L. Onnasch, S. Röttger, A. Toffetti, and R. Wiczorek (Eds.) (in progress/2019). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference*. ISSN 2333-4959 (online). Available from <http://hfes-europe.org>

Haucap, J. (2015). Ökonomie des Teilens – nachhaltig und innovativ? Die Chancen der Sharing Economy und ihre möglichen Risiken und Nebenwirkungen. *Ordnungspolitische Perspektiven*, Nr. 69, düsseldorf university press (dup). ISSN 2190-992X. Abrufbar unter: http://www.dice.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Wirtschaftswissenschaftliche_Fakultaet/DICE/Ordnungspolitische_Perspektiven/069_OP_Haucap.pdf [11.04.2019]

Herwig, N. (2017). Sharing Economy – Neue Geschäftsmodelle der urbanen Mobilität. *IZNE Working Paper Series* Nr. 17/2, Internationales Zentrum für Nachhaltige Entwicklung, Bonn.

Franzen, A. (1997). Umweltsoziologie und rational choice: das Beispiel der Verkehrsmittelwahl. *Umweltpsychologie*, 1(1).

Grippenkoven, J.; Fassina, Z.; König, A.; & Dreßler, A. (2019). Perceived Safety: a necessary precondition for successful autonomous mobility services. In: D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann,

L. Onnasch, S. Röttger, A. Toffetti, and R. Wiczorek (Eds.) (in progress/2019). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference*. ISSN 2333-4959 (online). Available from <http://hfes-europe.org>

ioki (2019). Inspiring Smart Mobility. ioki Homepage. <https://ioki.com/> [10.04.2019].

König, A., Brost, M., Gebhardt, L., Karnahl, K. und Brandies, A. (2019). Reallabor Schorndorf: Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Entwicklung und dem Pilotbetrieb des Bedarfsbusses. *Fachtagung Mobilität & Kommunikation*, 21.-22. Feb. 2019, Dresden.

König, A.; Wirth, C. & Grippenkoven, J. (in preparation). *Travelers' Information Needs Concerning Shared Rides in Autonomous Mobility-on-Demand-Systems*.

König, A. & Grippenkoven, J. (in review A). *Modelling travelers' requirements for ridepooling services*. *ETRR*.

König, A. & Grippenkoven, J. (in Bearbeitung). *The Actual Demand Behind Demand-Responsive Transport: Applying the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology to Explain Usage Intentions of Demand-Responsive Bus Service*.

König, A. & Grippenkoven, J. (in review B). *Travelers' Willingness to Share Rides in Autonomous Mobility-on-Demand-Systems Depending on Travel Distance and Detour*.

König, A., Kowala, N., Wegener, J. & Grippenkoven, J. (in Bearbeitung). *Introducing a mobility-on-demand system to prospective users with the help of the serious game B.u.S.*

König, A., Meyer, F. & Grippenkoven, J. (2017). *Bewertung der bedarfsgesteuerten Bedienung im ÖPNV aus Nutzersicht: Evaluation des Anruf-Autos in Rodenberg und des Ruf-Busses in Nuthe-Urstromtal auf Basis einer Befragung von Nutzern und Nicht-Nutzern*. *Der Nahverkehr* (11), 45-50.

König, A., Wegener, J., Pelz, A. & Grippenkoven, J. (2017). *Serious Games: A playful approach to reduce usage barriers of innovative public transport systems*. *Proceedings of the European Transport Conference 2017*, 04.-06. Okt. 2017, Barcelona, Spanien.

Lütjens, K., Radde, M., Liedtke, G., Maertens, S., Standfuß, T., Scheier, B. & Viergutz, K. (2018). *Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs*. *Wirtschaftsdienst*, 98 (7), 512-518. DOI: 10.1007/s10273-018-2324-5

Mehlert, C. (2001): *Die Einführung des AnrufBus im ÖPNV. Praxiserfahrungen und Handlungsempfehlungen*. Bielefeld:

Erich Schmidt (Schriftenreihe für Verkehr und Technik, Bd. 91).

Moia (2019). So geht's. Moia Homepage. <https://www.moia.io/de-DE/so-gehts> [02.05.2019]

OECD (2014). International experiences on Public Transport Provision in Rural Areas. Paris: International Transport Forum. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cspa_ruralareas.pdf [05.02.2019].

Rogers, E. (1995) Diffusion of innovations. 2nd Edition. The Free Press, New York, United States

Schade, J. & Schlag, B. (2003). Acceptability of Transport Pricing Strategies. Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour 6(1). S. 45-61. DOI: 10.1016/S1369-8478(02)00046-3

Schneider, D. (2017). Der R-Bus: Ein Stück Verkehrsgeschichte aus Wunstorf. Wunstorfer Auepost. <https://www.auepost.de/magazin/stadtgeschichte/der-r-bus-ein-stueck-verkehrsgeschichte-aus-wunstorf-11403/> [02.05.2019]

Seebauer, S. (2011). Individuelles Mobilitätsverhalten in Großstädten. Erklärungsmodell und Veränderungsmöglichkeiten für die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Dissertation. Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich.

VDV – Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2015). Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. Positionspapier, Köln. <https://www.vdv.de/position-autonome-fahrzeuge.pdf> [23.04.2019].

Venkatesh, V.; Morris, M.G.; Davis, G.B. & Davis, F.D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Towards a unified view. MIS Quarterly, 27 (3), 425-478

Viergutz, K. & König, A. (2017). Analyse des Bedeutungsverständnisses neuartiger Schlagwörter in der deutschsprachigen Verkehrs- und Mobilitätsforschung. 8. Pegasus-Jahrestagung 2017, 22.-24. September 2017, Aachen

Wolf, A., & Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 196-211. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.007>

Zemlin, B. (2005). Das Entscheidungsverhalten bei der Verkehrsmittelwahl. BoD – Books on Demand.

Automatisierte Kleinbusse im Öffentlichen Personennahverkehr – Akzeptanz und Nutzungsintentionen in Deutschland

Nadine Kostorz*, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer

Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland

Abstract

Der Einsatz automatisierter Kleinbusse im öffentlichen Personennahverkehr gewinnt für die Zukunft zunehmend an Relevanz. Nutzerakzeptanz und ihre Einflussfaktoren sind jedoch bisher weitestgehend unerforscht. Zur Analyse der Wahrnehmung der Kleinbusse wurde eine explorative Studie in Form einer deutschlandweiten Onlinebefragung durchgeführt. Die deskriptive Auswertung der Ergebnisse zeigt eine Offenheit gegenüber der neuen Technologie. Als wichtigste Einstellung wurde mit der Hauptkomponentenanalyse die „Positive Einstellung zu automatisierten Kleinbussen“ identifiziert.

Schlagwörter/Keywords:

Automatisierung im ÖPNV, automatisierte Kleinbusse, Nutzerakzeptanz

Einleitung

Aufgrund des technischen Fortschritts rücken autonome Fahrzeuge immer stärker in den Fokus der Mobilitätsbranche. Eine erfolgreiche Einführung könnte sowohl die Pkw-Besitzverhältnisse als auch das Mobilitätsverhalten sowie Geschäftsmodelle im gesamten Automobil- und Mobilitätssektor verändern (Röhrleef et al. 2015). Eine vielversprechende Form automatisierter Fahrzeuge sind Kleinbusse, die im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) eingesetzt werden können, da man hofft, durch das zusätzliche Angebot den motorisierten Individualverkehr zu reduzieren. Grundsätzlich sind verschiedene Anwendungen möglich: sowohl als Ersatz in Gebieten mit geringer Nachfrage, als auch zusätzlich zum bestehenden Angebot, beispielsweise als Zubringer oder als On-Demand-Dienst (Röhrleef et al. 2015; Lenz und Fraedrich 2015). Häufig wird die Nutzerakzeptanz von Experten als eine für den Erfolg dieser Fahrzeuge bedeutende Größe genannt. Dabei ist noch nicht ausreichend erforscht, welche Faktoren die Akzeptanz beeinflussen oder welche Gruppen zukünftige Nutzer dieser Fahrzeuge sein können. Im Rahmen dieser Studie wird die Akzeptanz der Fahrzeuge als Bereitschaft zur Nutzung verstanden, da eine Akzeptanz im Sinne der Toleranz den Erfolg nicht vorantreiben würde. Die tatsächliche Nutzung ist aufgrund der bisher kaum bzw. nur sehr

eingeschränkter Verfügbarkeit der Kleinbusse schwierig zu erfassen. Deshalb beschränkt sich die vorliegende Studie auf die Untersuchung der Akzeptanz im Sinne der Nutzungsabsicht. Bisherige Studien lassen vermuten, dass etablierte Akzeptanzmodelle wie die „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ nicht alle, für die Automatisierung relevanten, Prädiktoren beinhalten und somit neue Einflussfaktoren in die Modelle einbezogen werden müssen. Zudem sind die Studien meist im Rahmen von Testbetrieben erhoben worden (z.B. Nordhoff et al. 2017; Madigan et al. 2017, 2016; Eden et al. 2017a, 2017b) und berücksichtigen somit nur die Meinung einer bestimmten Gruppe, der der Zugang gewährt wurde, oder interessierter Personen, die aktiv am Testbetrieb teilgenommen haben. Eine Studie mit vielfältiger, repräsentativerer Stichprobe fehlt bislang. Um Teile dieser Forschungslücke zu schließen, wurde im Mai 2018 eine deutschlandweite Onlinebefragung zur Wahrnehmung und Nutzungsintention automatisierter Kleinbusse durchgeführt. Neben einstellungsbasierten Items enthielt die Befragung soziodemographische und mobilitätsbezogene Aspekte sowie Fragen zur Technikaffinität und zur Anbindung des Wohnorts, um durch einen explorativen Ansatz den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Akzeptanz zu untersuchen. Im Rahmen dieses Artikels werden erste Ergebnisse durch die Beantwortung folgender Fragen vorgestellt: Was denken Personen in Deutsch-

* Korrespondierende Autorin.

E-Mail: nadine.kostorz@kit.edu (N. Kostorz)

land über automatisierte Kleinbusse? Wann und wie würden diese genutzt werden? Welche Chancen und Risiken werden mit dem Einsatz automatisierter Kleinbusse verbunden? Die Ergebnisse werden zunächst deskriptiv analysiert. Im Anschluss wird eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt, um die Datenkomplexität zu verringern und zentrale Einstellungen im Kontext automatisierter Kleinbusse zu identifizieren.

Literaturrecherche

Die Wissenschaft beschäftigt sich bereits seit einigen Jahren mit dem automatisierten Fahren. Häufig stehen bei bisherigen Studien die Akzeptanz verschiedener Automatisierungsstufen, die Zahlungsbereitschaft und der Value of Time im Vordergrund (siehe z.B. Stegmüller 2018; Zmud et al. 2016; Kyriakidis et al. 2015; Schoettle und Sivak 2014). Die meisten Studien beziehen sich jedoch auf den automatisierten Individualverkehr; einen Überblick geben Becker und Axhausen (2017). Studien, die sich mit automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV beschäftigen, sind deutlich seltener. So variiert auch die Bezeichnung der Fahrzeuge in der Literatur noch. Man findet beispielsweise die Begriffe Shuttle, Robocab, Pod oder Automated Road Transport System. Letztendlich wird in den Studien jedoch dieselbe Fahrzeugart untersucht, die durch folgende Eigenschaften charakterisiert wird:

- Das Fahrzeug erreicht mindestens Automatisierungsstufe 4 nach SAE J3016.
- Das Fahrzeug hat eine Kapazität für ca. 6-12 Personen.
- Das Fahrzeug befindet sich nicht in Privatbesitz eines Haushalts.
- Das Fahrzeug hat einen elektrischen Antrieb.

Seit 2014 hat die Anzahl an Test- und Demonstrationsbetrieben von Kleinbussen stetig zugenommen. Leider haben nur wenige dieser Testbetriebe Untersuchungen zur Nutzerakzeptanz durchgeführt oder bisher veröffentlicht. Zudem ist unklar, welcher Selektivität diese Studien – durch speziell ausgewählte oder interessierte Teilnehmer bei Testbetrieben – unterliegen. Prinzipiell lassen sich bisherige Forschungsvorhaben in zwei Gruppen kategorisieren: deskriptive Analysen und vollständige Akzeptanzmodelle. Bei ersteren werden Befragungen zur Akzeptanz durchgeführt und deskriptive Ergebnisse wie Mittelwerte oder Verteilungen veröffentlicht, aus denen Tendenzen zur Akzeptanz abgeleitet werden können. Letztere nutzen Befragungen, um Einflussfaktoren zu bestimmen und Modelle aufzustellen, mit denen die Akzeptanz anhand bestimmter Faktoren prognostiziert werden kann. Im Folgenden werden nun zunächst Ergebnisse deskriptiver Studien und anschließend bisherige Modellansätze vorgestellt.

Studien aus Lausanne (Christie et al. 2016) und Sion (Eden et al. 2017a, 2017b) belegen, dass Passagiere in Testbetrie-

ben die Kleinbusse insgesamt positiv bewerten. Das Fahrzeug wird als hilfreich, einfach zu nutzen und als zukünftig wichtiger Teil des ÖPNV bewertet. Auch der innovative Aspekt dieser Fahrzeuge wird positiv wahrgenommen. Trotzdem wird der Kleinbus im Vergleich zu heute genutzten Verkehrsmitteln in vielen Fällen nicht besser beurteilt. Einige Probanden kritisieren den Komfort und die niedrige Geschwindigkeit (< 15 km/h). Andere finden die Interaktion mit dem Fahrzeug problematisch, da das Fahrzeugverhalten als unvorhersehbar eingestuft wird. Nordhoff et al. ermitteln bei Untersuchungen im Rahmen des Testbetriebs auf dem EUREF Campus in Berlin eine positive Korrelation zwischen den Fahrzeugeigenschaften sowie der Fahrzeugeffektivität und der Nutzungsintention. In Neuhausen am Rheinfall stellen Wicki und Bernauer (2018) kleine Unterschiede bei der Evaluation verschiedener Risiken und Chancen zwischen verschiedenen Altersgruppen sowie Männern und Frauen fest. Frauen sorgen sich beispielsweise eher bezüglich Arbeitsplatzverlusten und dem Kontrollverlust beim Fahren. Im Allgemeinen wird die Automatisierung von Männern häufiger skeptisch betrachtet. Personen unter 40 befürchten tendenziell weniger Spaß beim Fahren und ebenfalls Arbeitsplatzverluste.

Madigan et al. (2016) untersuchen basierend auf Venkatesh et al.'s (2003) „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (UTAUT) den Einfluss von erwarteter Performance, erwartetem Aufwand und sozialem Einfluss auf die Nutzungsintention. Bei allen drei Faktoren wird ein signifikanter Einfluss nachgewiesen, jedoch können nur 22% der Varianz erklärt werden. Aufgrund dessen wird das Modell nach Venkatesh et al. (2012) modifiziert. In der Folgestudie ergibt sich, dass hedonistische Motivation, erwarteter Aufwand, sozialer Einfluss und Rahmenbedingungen bessere Prädiktoren für die Nutzungsintention sind. Ein alternatives Modell zur Prognose der Nutzungsintention stellen Nordhoff et al. (2016) auf: Das „4P Acceptance Model“ vereint diverse Einflussfaktoren der Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen. Neben Prädiktoren aus der UTAUT und dem „Pleasure-Arousal-Dominance-Framework“ nach Mehrabian und Russell beinhaltet es auch psychologische, soziodemografische und kontextuelle Variablen sowie Fahrzeug- und Mobilitätseigenschaften. Eine validierende Studie dieses Modells ist allerdings bisher nicht veröffentlicht. Salonen und Haavisto (2019) prüfen im Rahmen des Testbetriebs in Espoo die Eignung der „Theory of Interpersonal Behaviour“ von Harri Triandis zur Erklärung der Akzeptanz. Diese besagt, dass Verhalten von Einstellungen, der sozialen Norm, Emotionen, Gewohnheiten und Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Bei qualitativen Interviews stellt sich heraus, dass Einstellungen, die soziale Norm und Emotionen zur Änderungsabsicht des Verhaltens führen. Die tatsächliche Nutzung der Kleinbusse korreliert jedoch stark mit den Rahmenbedingungen, wie der Route und dem flexiblen Einsatz der Fahrzeuge. Sie schlussfolgern, dass es nur zu einer Verhaltensänderung kommen wird, wenn die Kleinbusse

besser die Nutzerbedürfnisse erfüllen als bisherige Angebote.

Bisher beschränken sich die meisten Akzeptanzstudien bezüglich automatisierter Kleinbusse im ÖPNV auf den europäischen Raum. Nordhoff et al. (2018) führen eine weltweite Onlinebefragung durch, um den geographischen und kulturellen Einfluss auf die Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen als Zubringer zu untersuchen. Es wird ein Einfluss des Entwicklungsstatus als auch des BIP eines Landes festgestellt: Je höher diese Kennzahlen sind, desto niedriger ist die Akzeptanz für autonome (Klein-)Busse. Bedenken wie mangelnder Datenschutz können eher in westlichen Ländern festgestellt werden. Eine Hauptkomponentenanalyse resultiert in einer Komponente, der allgemeinen Einstellung zu automatisierten Kleinbussen. Diese beinhaltet unter anderem die Nutzungsintention, Benutzerfreundlichkeit sowie Spaß und Vertrauen. Nordhoff et al. (2018) geben jedoch auch für diese Studie an, dass die Stichprobe nicht repräsentativ sei.

Zur Analyse der Nutzerakzeptanz und ihrer Einflussfaktoren gibt es also empirische Untersuchungen und Modelle aus Testbetrieben sowie wenige weiter gefasste Ansätze. Insgesamt sind die Einflussfaktoren jedoch noch nicht ausreichend erforscht. Des Weiteren stammen die meisten Erkenntnisse aus Testbetrieben, die gegebenenfalls einer selektiven Stichprobe unterliegen. Aufgrund der steigenden Anzahl an Testbetrieben und der zunehmenden Medienpräsenz der Kleinbusse in der letzten Zeit erreichen diese mittlerweile einen Bekanntheitsgrad, der über Fachkreise hinausgeht. Somit ist der richtige Zeitpunkt für die Durchführung einer explorativen Studie mit größerer und repräsentativerer Stichprobe, auch wenn die Probanden die Fahrzeuge noch nicht in der Realität genutzt haben.

Onlinebefragung

Zur Untersuchung der Nutzerakzeptanz von automatisierten Kleinbussen wurde im Mai 2018 im Rahmen des Forschungsprojektes „Einsatzmöglichkeiten von autonom und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen im ÖPNV“ eine deutschlandweite Onlinebefragung durchgeführt. Ziel des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Projektes ist die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten der Kleinbusse sowie hierfür benötigter Voraussetzungen. An dem zweijährigen Projekt sind die Unternehmen PTV Planung Transport Verkehr AG, PTV Transport Consult GmbH, Rödl & Partner sowie das Institut für Fahrzeugsystemtechnik und das Institut für Verkehrsweisen des Karlsruher Instituts für Technologie beteiligt. Nach einer Analyse aller bisherigen Testbetriebe und bestehender Forschungsvorhaben wurde ein Fragebogen zur Analyse der Nutzerakzeptanz und relevanter Einflussfaktoren entwickelt. Der Fragebogen setzt sich aus den folgenden Elementen zusammen:

1. Fragen zur Soziodemographie (Person und Haushalt)
2. Fragen zu aktuellem Mobilitätsverhalten
 - 2.1. Nutzungshäufigkeit verschiedener Verkehrsmittel und zweckgebundene Nutzung
 - 2.2. Einstellung zu aktuellen Verkehrsmitteln
 - 2.3. Anbindung an ÖPNV und Mobilitätstools (Führerschein, Zeitkarte, Pkw-Verfügbarkeit etc.)
3. Einführung automatisierter Kleinbusse
4. Fragen zu automatisierten Kleinbussen
 - 4.1. Kenntnis der Technologie vor der Befragung
 - 4.2. Einstellung zu automatisierten Kleinbussen
 - 4.3. Mögliche Vor- und Nachteile
 - 4.4. Nutzungsintention in verschiedenen Situationen
5. Fragen zu Technik
 - 5.1. Besitz von technischen Geräten (Smartphone, Smartwatch, Tablet)
 - 5.2. Nutzungshäufigkeit verschiedener Funktionen
 - 5.3. Einstellung zu Technik und technischen Innovationen
 - 5.4. Nutzung von Fahrassistenzsystemen

Die Teilnehmer der Befragung wurden via Mail rekrutiert. Potentiell eigneten sich alle volljährigen, in Deutschland lebenden Personen. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig. Um Selbstselektionseffekte zu minimieren, wurde in der Einladung bewusst darauf verzichtet, das konkrete Thema der Studie zu nennen. Insgesamt nahmen 1.078 Personen teil. Die Stichprobe wurde nach Geschlecht, Alter und Raumtyp quotiert; Zielquoten und realisierte Quoten können Tabelle 1 entnommen werden. Nach der Datenplausibilisierung verblieben 900 Personen in der Stichprobe zur weiteren Analyse. Durchschnittlich benötigten die Teilnehmer ca. 14 Minuten, um den Fragebogen auszufüllen.

Tabelle 1: Stichprobenquoten

Quoten	Ziel	erreicht
Alter		
18 bis 24 Jahre	9,7%	9,2%
25 und 34 Jahre	13,9%	15,3%
35 und 44 Jahre	14,6%	14,3%
45 und 54 Jahre	19,9%	19,2%
55 und 64 Jahre	17,6%	16,7%
65 Jahre und älter	24,4%	25,4%
Geschlecht		
Weiblich	50,3%	51,1%
Männlich	49,7%	48,9%
Raumtyp		
Gemeinde mit < 20.000 Einwohnern	37,7%	40,9%
Stadt mit 20.000 - 100.000 Einwohnern	22,7%	27,5%
Stadt mit 100.000 - 500.000 Einwohnern	17,9%	14,8%
Stadt mit > 500.000 Einwohnern	21,8%	16,7%

Der im Fokus der Befragung stehende Kleinbus wird in Teil 3 der Befragung durch folgende Fotos und Eigenschaften charakterisiert:

Abbildung 1: Einführung automatisierter Kleinbusse, Bildrechte KIT IfV, PTV, KVV

Deskriptive Analyse

Aus verschiedenen Bereichen der Akzeptanzforschung ist bekannt, dass Einstellungen das Verhalten der Menschen stark beeinflussen (vgl. Fishbein und Ajzen 1975).

Dies gilt insbesondere für neue oder unbekannte Technologien (Venkatesh et al. 2003). Aufgrund dessen beinhaltet der Fragebogen Items zu Einstellungen bezüglich verschiedener Verkehrsmittel und neuer Technologien. Tabelle 2 zeigt die verschiedenen, einstellungsbasierten Items sowie

Tabelle 2: Deskriptive Analyse der einstellungsbasierten Items

A. Einstellungen bezüglich aktueller Verkehrsmittel					
Item		Mean	SD	N	
<i>ÖV</i>					
ÖV1	Für mich ist es schwierig alltägliche Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückzulegen.	2.92	1.50	890	
ÖV2	Ich fahre gerne mit Bus und Bahn, weil ich mich dabei nicht auf den Verkehr konzentrieren muss.	2.94	1.38	884	
ÖV3	Ich kann die Fahrzeit in Bus und Bahn gut für andere Dinge nutzen.	2.76	1.27	870	
ÖV4	In öffentlichen Verkehrsmitteln kommen mir Personen manchmal auf unangenehme Weise zu nahe.	2.73	1.23	871	
ÖV5	Bei einer besseren Anbindung würde ich mehr öffentliche Verkehrsmittel nutzen.	2.67	1.26	870	
ÖV6	Umstiege und Wartezeiten hindern mich an der Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln.	2.76	1.29	874	
ÖV7	Ich bin mit der ÖV-Anbindung an meinem Wohnort zufrieden.	2.38	1.32	900	
<i>Sozialer Einfluss</i>					
SozE1	Menschen, die mir wichtig sind, denken, dass ich öffentliche Verkehrsmittel nutzen sollte.	3.50	1.20	800	
<i>Ridesharing</i>					
Sharing1	Ich finde es interessant mich mit (unbekannten) Mitfahrern während der Fahrt auszutauschen.	3.69	1.21	861	
<i>Pkw</i>					
Pkw1	Wenn ich in einem Auto sitze, fühle ich mich sicher und geschützt.	2.18	0.97	892	
Pkw2	Autofahren bedeutet für mich Spaß und Leidenschaft.	2.63	1.23	889	
Pkw3	Autofahren bedeutet für mich Freiheit.	2.29	1.18	882	
Pkw4	Ich kann meinen Alltag sehr gut ohne Auto gestalten.	3.08	1.42	891	
<i>Umweltschutz</i>					
Umwelt1	Ich fühle mich verpflichtet, durch die Wahl meiner Verkehrsmittel einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.	2.95	1.20	875	

B. Einstellungen bezüglich automatisierter Kleinbusse

Item		Mean	SD	N
<i>Umweltschutz</i>				
Umwelt2	Um die Umwelt zu schonen, würde ich zukünftig automatisierte (Klein-)Busse nutzen.	2.62	1.14	846
<i>Sozialer Einfluss</i>				
SozE2	Ich würde automatisierte Kleinbusse eher nutzen, wenn mir nahestehende Personen dies empfehlen würden.	3.96	1.18	834
SozE3	Personen, die mir wichtig sind, würden denken, dass ich automatisierte Kleinbusse nutzen soll.	3.07	1.10	764
SozE4	Ich wäre stolz darauf, mir nahestehenden Personen von der Nutzung automatisierter Kleinbusse zu berichten.	2.96	1.21	838
<i>Sicherheit</i>				
Sicherheit1	Ohne präsenten Fahrer könnten sich andere Fahrgäste mir gegenüber unangemessen verhalten.	2.80	1.12	822
<i>Erwarteter Aufwand</i>				
Aufwand1	Ich würde nicht lange brauchen, um zu lernen, wie man einen automatisierten Kleinbus nutzt.	1.94	0.94	850
Aufwand2	Die Nutzung eines automatisierten Kleinbusses wäre für mich schwierig zu verstehen.	3.95	1.09	834
<i>Allgemeine Einstellung zu automatisierten Kleinbussen</i>				
Bus1	Die Einführung automatisierter Kleinbusse ist eine gute Idee.	2.26	1.06	843
Bus2	Durch automatisierte Kleinbusse würde der öffentliche Nahverkehr besser/attraktiver werden.	2.42	1.09	835
Bus3	Automatisierte Kleinbusse werden zukünftig ein wichtiger Teil des öffentlichen Nahverkehrs sein.	2.35	1.03	816
Bus4	Automatisierte Kleinbusse würden meinen Alltag erleichtern.	2.88	1.18	819
<i>Hedonistische Motivation</i>				
Spaß1	Mit einem automatisierten Kleinbus zu fahren, würde mir Spaß machen.	2.58	1.20	824
<i>Pkw-Ersatz</i>				
Pkw5	Ich könnte mir vorstellen auf einen eigenen Pkw zu verzichten, falls mich der automatisierte Kleinbus jederzeit dort abholt, wo ich losfahren möchte und mich bis zu meinem Ziel fährt.	2.88	1.39	849
<i>Geschwindigkeit</i>				
Tempo1	Mir ist es wichtig, dass mich ein automatisierter Kleinbus schneller befördert als alternative Verkehrsmittel.	2.54	1.10	849
<i>Kosten</i>				
Kosten1	Mir ist es wichtig, dass die Fahrt mit einem automatisierten Kleinbus günstiger ist als alternative Verkehrsmittel.	2.31	1.08	861
<i>Testbetrieb</i>				
Test1	Ich würde gerne mehr über automatisierte Kleinbusse erfahren und einen Testbetrieb in der Nähe meines Wohnortes nutzen.	2.47	1.16	853

C. Einstellungen bezüglich Technik

Technik1	Ich kenne die meisten Funktionen meiner technischen Geräte.	1.88	0.91	896
Technik2	Ich interessiere mich für technische Innovationen und Digitalisierung im Haushalt (z.B. Smart Home).	2.69	1.29	896
Technik3	Mich stört es, dass viele technische Geräte kompliziert zu bedienen sind.	2.93	1.24	892

deren mittlere Bewertung. Die Teilnehmer der Befragung wurden gebeten, sämtliche Items auf einer Likert-Skala von 1 = „Trifft voll zu“ bis 5 = „Trifft gar nicht zu“ zu bewerten. N variiert, da die Möglichkeit, „Ich weiß nicht“ zu antworten, gegeben war.

Insgesamt fällt die Bewertung der (Klein-)Busse sehr positiv aus. Über 60% der Probanden stimmen der Aussage zu, dass die Einführung dieser eine gute Idee sei (Item Bus1, 1 oder 2 auf der Skala). Über 50% glauben, dass automatisierte Kleinbusse zukünftig ein wichtiger Teil des ÖPNVs sein werden (Item Bus3) und dass dieser durch (Klein-)Busse attraktiver wird (Item Bus2). 40% können sich sogar vorstellen, auf den eigenen Pkw zu verzichten, wenn (Klein-)Busse auf Abruf von Tür zu Tür bedienen (Pkw5). Das soziale Umfeld der Befragten scheint insgesamt wenig Einfluss auf die heutige und zukünftige Verkehrsmittelwahl zu haben (Item SozE1, SozE2, SozE3): Beim Vergleich der (Klein-)Busse mit anderen Verkehrsmitteln scheinen Kosten etwas wichtiger zu sein als die Geschwindigkeit (Item Tempo1, Kosten1).

Um die Hintergründe der Kleinbusbewertung besser zu verstehen, werden die Probanden zudem gebeten, den Eintritt verschiedener Vor- und Nachteile beim Einsatz der Kleinbusse zu bewerten. Mehr Mobilität für mobilitätseingeschränkte oder ältere Personen und eine bessere Anbindung durch Kleinbusse werden als die wahrscheinlichsten Vorteile bewertet (68% und 65%, 1 oder 2 auf der Skala). Am unwahrscheinlichsten erscheint den Probanden eine sinkende Unfallrate (37%). Die wahrscheinlichsten Nachteile sind Arbeitsplatzverluste von Busfahrern (50%) und Interaktionsprobleme mit anderen Verkehrsteilnehmern (52%). Im Freitextfeld zur Benennung des größten Risikos und der größten Chance beim Einsatz autonomer Busse werden am häufigsten das Unfallrisiko (Risiko) und der Umweltschutz (Chance) genannt.

Zudem wird die Nutzungsintention für verschiedene Einsatzformen der Kleinbusse untersucht. Differenziert wird hierbei zwischen folgenden Einsatzformen:

- Traditionellem Linienverkehr mit fester Route und festen Abfahrtszeiten
- Zubringern zu bzw. von Haltestellen des bestehenden ÖVs
- Shuttles in abgegrenzten Bereichen
- On-Demand-Service mit fester Route, der bei Bedarf zur gewünschten Haltestelle kommt
- On-Demand-Service ohne feste Route, der in vorgegebenen Gebieten von Tür zu Tür bedient.

Bei letzteren beiden Einsatzformen wird zudem zwischen privater, Taxi-ähnlicher Nutzung und Nutzung mit Mitfahrern unterschieden. Insgesamt würden die meisten Personen einen Kleinbus als Shuttle nutzen wollen. Der Einsatz im abgegrenzten Bereich birgt das geringste Sicherheitsrisiko für die Befragten und steigert die Nutzungsintention. Die private Nutzung (ohne weitere Mitfahrer) erhält weniger Zuspruch als die Nutzung mit Mitfahrern. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Bezeichnung „Kleinbus“ mit Mitfahrern

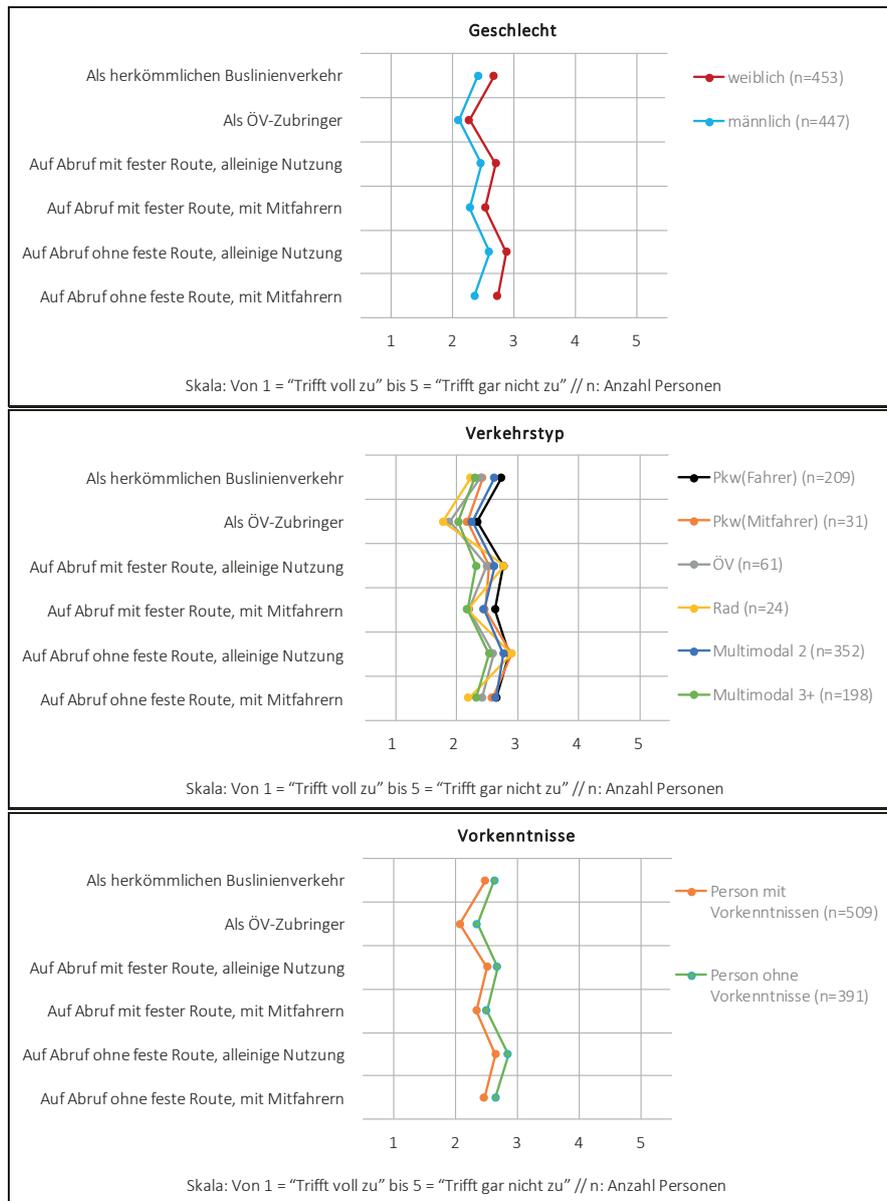
assoziiert wird. Zudem werden in der Befragung keine Annahmen bezüglich der Preise für die verschiedenen Einsatzformen getroffen, so dass die Befragten gegebenenfalls von hohen Preisen für die private Nutzung ausgegangen sind. Der Vergleich persönlicher Nutzungsintentionen (siehe Abbildung 2) zeigt, dass Männer eine etwas höhere Nutzungsintention für alle Einsatzformen haben als Frauen. Zur weiteren Analyse wurden zudem Mobilitätstypen bestimmt, definiert durch alle Verkehrsmodi, die mindestens einmal pro Woche von einer Person genutzt werden. Fahrradnutzer, ÖV-Nutzer und hochmultimodale Personen (d.h. drei oder mehr Verkehrsmodi pro Woche) weisen die höchste Intention auf, autonome Kleinbusse zu nutzen, Autofahrer die niedrigste. Zudem weisen Personen mit Vorkenntnissen über autonome Kleinbusse eine leicht erhöhte Nutzungsbereitschaft auf. Die Unterschiede zwischen Altersgruppen, Wohnorten (d.h. ländlichen und städtischen Gebieten) und Einkommen sind bisher vernachlässigbar gering. Auch eine Korrelationsanalyse hat keine signifikanten Ergebnisse zwischen der Nutzungsintention und diesen soziodemografischen Merkmalen ergeben.

Weiterhin bewerten die Befragten die Nutzung des Kleinbusses für verschiedene Zwecke (Einkaufen, Arbeiten usw.) und als Alternative zu ihren derzeitigen Verkehrsmitteln. Hierbei wurde die Stichprobe geteilt. Eine Hälfte beantwortete die Frage unter der Annahme, dass der Kleinbus im Linienverkehr fährt, die andere ging davon aus, dass der Bus auf Abruf und von Tür zu Tür fährt. Die Ergebnisse beider Gruppen weisen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. Der Einsatz von Kleinbussen auf Freizeitwegen ist am beliebtesten (56%, 1 oder 2 auf der Skala), am wenigsten können sich die Probanden die Nutzung auf Geschäftswegen vorstellen (41%). Ferner würde ein Kleinbus auf Fahrten eingesetzt, die derzeit mit dem Taxi (62%) oder öffentlichen Verkehrsmitteln (63%) durchgeführt werden. Weniger Befragte würden Fuß- oder Radwege dadurch ersetzen (34%, 33%, 1 oder 2 auf der Skala). Insgesamt wird der Einsatz von Kleinbussen sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten als sinnvoll eingestuft.

Hauptkomponentenanalyse

Um Informationen zu verdichten und einstellungs-basierte Einflussfaktoren zu identifizieren, wird eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) mit Varimax-Rotation durchgeführt (vgl. Backhaus et al. 2016). Dabei werden alle Einstellungsitems aus Tabelle 2 berücksichtigt. Vorbereitend hierfür werden die Daten standardisiert. Darüber hinaus werden Items, wenn nötig, recodiert, um die Konsistenz der Skala zu gewährleisten. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (Wert > 0,9) bestätigt die Eignung der Daten für eine PCA. Bei der Analyse werden nur Befragte berücksichtigt, die alle Fragen ohne „Ich weiß es nicht“ beantwortet haben, da diese Antwort mit „Non-Response“ gleichgesetzt wird (N = 575). Mit

Abbildung 2: Vergleich der Nutzungsintention verschiedener Gruppen



dem Kaiser-Kriterium (Eigenwert > 1) werden sieben Komponenten extrahiert. Bei der Interpretation der Komponenten werden alle Items mit einer Ladung > |0.5| berücksichtigt.

- Komponente 1 = Positive Einstellung zu automatisierten Kleinbussen
- Komponente 2 = Positive Einstellung zur Nutzung des ÖVs
- Komponente 3 = Wohlbefinden im Pkw
- Komponente 4 = Leichtigkeit, ÖV im Alltag zu nutzen
- Komponente 5 = Hoher erwarteter Aufwand für die Nutzung der Kleinbusse
- Komponente 6 = Technikaffinität/Interesse an Innovationen
- Komponente 7 = Bedrängnis durch andere Personen im ÖV

Tabelle 3 fasst die Ergebnisse der PCA zusammen (Ladung und Cronbach's Alphas). Insgesamt erklären die sieben extrahierten Komponenten 63% der Varianz in den Einstellungen. Die interne Skalenkonsistenz wird durch Cronbach's Alpha ($\alpha > 0,7$) für Komponente 1, 2, 3 und 5 bestätigt. Für Komponente 6 ist diese fragwürdig ($\alpha = 0,6$) und für Komponente 4 und 7 inakzeptabel ($\alpha < 0,5$). Folglich werden Komponente 4 und 7 nicht weiter beachtet. Bei Komponente 6 ist eine mögliche Erklärung für den niedrigen Wert, dass nur drei Items auf diese Komponente laden und die Itemliste damit eher kurz ist. Die Korrelationsanalyse aller noch verbleibenden Komponenten mit der Nutzungsintention zeigt eine hohe Korrelation ($r > 0,5$ und $p < 0,0001$) zwischen Komponente 1 (positive Einstellung zu automatisierten Kleinbussen) und der Nutzungsintention für alle Einsatzformen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse

	Item	Ladung	Item	Ladung	Item	Ladung
Komponente 1 ($\alpha = 0.91$) Eigenwert = 7.63	Umwelt2	0.79	Bus2	0.80	Pkw5	0.65
	SozE2	0.67	Bus3	0.74	Tempo1	0.70
	SozE3	0.63	Bus4	0.79	Kosten1	0.62
	SozE4	0.76	Spaß1	0.81	Test1	0.77
	Bus1	0.76				
Komponente 2 ($\alpha = 0.77$) Eigenwert = 3.39	ÖV2	0.72	SozE1	0.69	Pkw4	0.73
	ÖV3	0.69	Sharing1	0.63		
Komponente 3 ($\alpha = 0.78$) Eigenwert = 2.47	Pkw1	0.76	Pkw3	0.83	Pkw2	0.83
Komponente 4 ($\alpha = 0.21$) Eigenwert = 2.01	ÖV1	0.77	ÖV6	0.51	ÖV7	0.72
	(Recodiert)		(Recodiert)			
	ÖV5	-0.53				
Komponente 5 ($\alpha = 0.71$) Eigenwert = 1.81	Aufwand1 (Recodiert)	0.63	Aufwand2	0.84		
Komponente 6 ($\alpha = 0.61$) Eigenwert = 1.79	Technik1	0.80	Technik2	0.68	Technik3 (Recodiert)	0.70
Komponente 7 ($\alpha = 0.49$) Eigenwert = 1.68	ÖV4	0.71	Sicherheit1	0.69		

Diskussion und Fazit

Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Akzeptanz und der damit einhergehenden Nutzungsintention von automatisierten Kleinbussen in Deutschland anhand einer großen, vielfältigen Stichprobe. Durch die Onlinebefragung konnten Menschen in ganz Deutschland erreicht werden und die Stichprobenselektivität aufgrund von Interesse (z.B. bei Besuch eines Testbetriebs) verringert werden. Da die Busse noch nicht im regulären Betrieb sind, konnten nur hypothetische Nutzungsabsichten erfragt werden. Die spätere tatsächliche Nutzung kann von der geäußerten Absicht abweichen. Bei den Fragen zur Nutzung verschiedener Einsatzformen wurden keine Annahmen bezüglich der Reisegeschwindigkeit oder Kosten gemacht. Dies ist dadurch begründet, dass beide Faktoren aktuell noch große Unsicherheiten mit sich bringen. Testbetriebe sind aktuell auf Geschwindigkeiten von 15 km/h beschränkt und die Nutzung dieser ist meist umsonst. Beides wird sich in Zukunft sehr wahrscheinlich ändern, jedoch ist noch nicht bekannt wann und wie. Da falsche Annahmen die Ergebnisse negativ beeinflussen könnten, wurde auf die Nennung konkreter Zahlenwerte verzichtet.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt eine grundsätzliche Offenheit der Probanden gegenüber automatisier-

ten Kleinbussen. Einige können sich sogar vorstellen, ihr eigenen Pkw zu ersetzen, wenn es einen Tür-zu-Tür-Service gibt, der alle Ziele erreicht. Der Großteil glaubt, dass die Nutzung der Kleinbusse nicht schwierig zu verstehen sein wird. Da die Nutzungsintention zwischen den verschiedenen Einsatzformen variiert, wird deutlich, dass die konkrete Implementierung des Systems die Nutzung beeinflussen wird. Die Untersuchung der Einsatzzwecke zeigt, dass der Kleinbus vermutlich verstärkt auf Freizeitwegen genutzt werden wird. Wahrscheinlich werden insbesondere heutige Taxi- und ÖV-Wege zukünftig durch den Kleinbus substituiert. Als Vorteil der Technologie werden insbesondere mehr Mobilität für ältere und mobilitätseingeschränkte Personen und Umweltschutz gesehen. Die größten Bedenken haben die Probanden bezüglich des Unfallrisikos und den Interaktionsproblemen mit anderen Verkehrsteilnehmern.

Eine Hauptkomponentenanalyse der einstellungsbasierenden Items resultiert in fünf konsistenten Komponenten:

- Positive Einstellung zu automatisierten Kleinbussen
- Positive Einstellung zur Nutzung des ÖV
- Wohlbefinden im Pkw
- Hoher erwarteter Aufwand für die Nutzung der Kleinbusse
- Technikaffinität/Interesse an Innovationen

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Madigan et al. (2016, 2017) kann nicht zwischen verschiedenen busbezogenen Einstellungen wie hedonistische Motivation oder erwarteter Performance differenziert werden. Stattdessen ergibt sich eine Komponente, die alle busbezogenen Items, außer den erwarteten Nutzungsaufwand vereint. Dies stimmt eher mit den Ergebnissen von Nordhoff et al. (2018) überein, die ebenfalls eine allgemeine Einstellungskomponente für Kleinbusse ermitteln konnten. Die positive Einstellung zu automatisierten Kleinbussen korreliert stark mit der Nutzungsintention dieser in den verschiedenen Einsatzformen.

Im Rahmen dieser Studie wurde klar, dass sowohl Einstellungen, als auch das aktuelle Mobilitätsverhalten sowie die Soziodemographie Einfluss auf die Nutzungsintention haben können. Im nächsten Schritt sollten diese Erkenntnisse nun in einem Modell zusammengefasst werden, um so das Zusammenspiel der einzelnen Einflussfaktoren genauer zu untersuchen. Im Forschungsprojekt konnte eine steigende Anzahl an Testbetrieben identifiziert werden. Somit werden die Erfahrungen der Bevölkerung mit automatisierten Kleinbussen in naher Zukunft häufiger und auch vielfältiger werden, da die Busse in verschiedenen Testbetrieben verschiedene Einsatzzwecke haben (z.B. als Zubringer oder Rentnershuttle in Ludwigsburg). Gleichzeitig gibt es in Monheim erste Vorhaben die Kleinbusse im regulären Linienbetrieb einzusetzen. Da sich die Technologie zunehmend weiterentwickelt, wird empfohlen die Akzeptanzforschung fortzusetzen, insbesondere wenn die Rahmenbedingungen des Einsatzes klarer definiert sind. Dann kann einerseits der Einfluss von Rahmenbedingungen (beispielsweise in Form der Preissensitivität von Nutzern oder des Einsatzgebietes) untersucht werden. Andererseits können zukünftige Studien vertiefen, welche Maßnahmen sich eignen um heute vorhandene Sicherheitsbedenken zu reduzieren.

Literaturverzeichnis

Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2016): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. 14., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-46076-4>.

Becker, Felix; Axhausen, Kay W. (2017): Literature review on surveys investigating the acceptance of automated vehicles. In: *Transportation* 44 (6), S. 1293-1306. DOI: 10.1007/s11116-017-9808-9.

Christie, Derek; Koymans, Anne; Chanard, Thierry; Lasgouttes, Jean-Marc; Kaufmann, Vincent (2016): Pioneering Driverless Electric Vehicles in Europe: The City Automated Transport System (CATS). In: *Transportation Research Procedia* 13, S. 30-39. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.004.

Eden, Grace; Nanchen, Benjamin; Ramseyer, Randolph; Évéquoz, Florian (2017a): Expectation and experience: Passenger acceptance of autonomous public transportation vehicles. Online verfügbar unter <http://publications.hevs.ch/index.php/publications/show/2299>.

Eden, Grace; Nanchen, Benjamin; Ramseyer, Randolph; Évéquoz, Florian (2017b): On the Road with an Autonomous Passenger Shuttle. In: Gloria Mark, Susan Fussell, Cliff Lampe, m.c schraefel, Juan Pablo Hourcade, Caroline Appert und Daniel Wigdor (Hg.): *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '17*. the 2017 CHI Conference Extended Abstracts. Denver, Colorado, USA, 06.05.2017 - 11.05.2017. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1569-1576.

Fishbein, Martin; Ajzen, Ick (1975): *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. In: Addison-Wesley, Reading, MA.

Kyriakidis, M.; Happee, R.; Winter, J.C.F. de (2015): Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 32, S. 127-140. DOI: 10.1016/j.trf.2015.04.014.

Lenz, Barbara; Fraedrich, Eva (2015): Neue Mobilitätskonzepte und autonomes Fahren: Potenziale der Veränderung. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.: Springer, S. 176-194.

Madigan, Ruth; Louw, Tyron; Dziennus, Marc; Graindorge, Tatiana; Ortega, Erik; Graindorge, Matthieu; Merat, Natasha (2016): Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): An Adaptation of the UTAUT Model. In: *Transportation Research Procedia*.

Madigan, Ruth; Louw, Tyron; Wilbrink, Marc; Schieben, Anna; Merat, Natasha (2017): What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 50, S. 55-64. DOI: 10.1016/j.trf.2017.07.007.

Nordhoff, Sina; van Arem, Bart; Happee, Riender (2016): A Conceptual Model to Explain, Predict, and Improve User Acceptance of Driverless Vehicles. In: *Transportation Research Board (Hg.): TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*. Washington, D.C.

Nordhoff, Sina; van Arem, Bart; Merat, Natasha; Madigan, Ruth; Rurhort, Lisa; Knie, Andreas; Happee, Riender (2017): User Acceptance of Driverless Shuttles Running in an Open

and Mixed Traffic Environment. In: 12th ITS European Congress.

Nordhoff, Sina; Winter, Joost de; Kyriakidis, Miltos; van Arem, Bart; Happee, Riender (2018): Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study. In: *Journal of Advanced Transportation* 2018, S. 1-22. DOI: 10.1155/2018/5382192.

Nordhoff, Sina; Winter, Joost de; Madigan, Ruth; Merat, Natasha; van Arem, Bart; Happee, Riender: User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg. A questionnaire study. In: Preprint/ Working Paper.

Röhrleef, Martin; Ackermann, Till; Deutsch, Volker (2015): Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge: Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. Hg. v. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) (Positionspapier). Online verfügbar unter <https://www.vdv.de/position-autonome-fahrzeuge.pdf>.

Salonen, Arto; Haavisto, Noora (2019): Towards Autonomous Transportation. Passengers' Experiences, Perceptions and Feelings in a Driverless Shuttle Bus in Finland. In: *Sustainability* 11 (3), S. 588. DOI: 10.3390/su11030588.

Schoettle, Brandon; Sivak, Michael (2014): Public Opinion about Self-Driving Vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia.

Stegmüller, Sebastian (2018): First Insights: Akzeptanzstudie Robocab. Roboter-Taxis aus Sicht der Nutzer. Fraunhofer IAO. Berlin, 22.06.2018.

Venkatesh, Viswanath; Morris, Michael G.; Davis, Gordon B.; Davis, Fred D. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. In: *MIS Quarterly* (27), S. 425-478.

Venkatesh, Viswanath; Thong, James; Xu, Xin (2012): Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. In: *MIS Quarterly* (Vol. 36, No.1), S. 157-178.

Wicki, Michael; Bernauer, Thomas (2018): Public Opinion on Route 12. Interim report on the first survey on the pilot experiment of an automated bus service in Neuhausen am Rheinfall. In: *ISTP Paper Series*, 3, Institute of Science, Technology and Policy (ISTP), ETH Zürich.

Zmud, Johanna; Sener, Ipek; Wagner, Jason (2016): Consumer Acceptance and Travel Behavior: Impacts of Automated Vehicles. Final Report.

Verkehrliche und ökologische Wirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens

Michael Krail*

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe, Deutschland

Abstract

Wird die Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens auf der Straße zu steigenden Treibhausgasemissionen führen oder kann sie dazu beitragen, das gesamte Verkehrssystem bis zum Jahr 2050 klimaschonender zu gestalten? Um diese Frage zu beantworten bedarf es einer Potenzialabschätzung, die sowohl die technische Entwicklung, die Akzeptanz als auch die verkehrlichen Wirkungen der Technikfolgen berücksichtigt.

Schlagwörter/Keywords:

Automatisierung, Vernetzung, Treibhausgasemissionen, verkehrliche Wirkungen

1. Einführung und Betrachtungsrahmen

Der Trend zunehmender Automatisierung und Vernetzung zeichnet sich in besonderer Weise auch im Verkehrssystem ab. Während fahrerlose Transportsysteme in der Industrie seit vielen Jahren bereits in Anwendung sind und auch fahrerlose, schienengebundene Verkehrssysteme weltweit seit langem im Einsatz sind, erfährt die Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr seit einigen Jahren einen Boom. Waren vor wenigen Jahren nur Fahrerassistenzsysteme und damit das assistierte Fahren (Stufe 1) oder teil-automatisierte Fahren (Stufe 2) in Straßenfahrzeugen verfügbar, hat man heute bereits den Sprung hin zum hochautomatisierten Fahren (Stufe 3) auf der Straße vollzogen.

In der Fachliteratur wird das automatisierte und vernetzte Fahren oft als disruptive Technologie oder der Trend zur Automatisierung als disruptiv bezeichnet. Mit dieser Einschätzung geht oft die Vorstellung eines Wandels des Verkehrssystems einher. Die Erwartungen bezüglich der verkehrlichen Wirkung des automatisierten und vernetzten Fahrens geht jedoch selbst in Expertenkreisen stark auseinander. Während die einen mit dieser technologischen Entwicklung einen Wandel des gesamten Verkehrs hin zu einem effizienteren, kostengünstigeren, flexibleren und klimaschonenden System verbinden, befürchten die anderen einen massiven Anstieg der Fahrleistungen auf der Straße

und zusätzliche Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) dadurch. Angesichts dieser Unsicherheiten ist ein systemischer Blick auf diese Technologie bereits heute notwendig. Gerade im Hinblick auf die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung für den Sektor Verkehr bis zum Jahr 2030 und 2050 ist eine Abschätzung der Technikfolgen der Automatisierung und Vernetzung entscheidend, zum einen wegen potenzieller, direkter Auswirkungen der Technologie auf die THG-Emissionen und Endenergieverbrauch (EEV), zum anderen, um mögliche unerwünschte Reboundeffekte rechtzeitig zu erkennen. Zunächst bedarf es einer Analyse der voraussichtlichen technischen Reife der fünf Automatisierungsstufen für verschiedene Fahrzeugsegmente. Die Größenordnung der Wirkung hängt neben der Technik ebenfalls stark vom bis zum Jahr 2050 möglichen Markthochlauf der einzelnen Automatisierungsstufen und dem Einsatzbereich der Automatisierung ab. Hochautomatisierte Fahrzeuge funktionieren bereits heute sehr zuverlässig auf Autobahnen, kommen jedoch mit der Komplexität des Verkehrs in Städten und innerorts noch nicht klar. Der Markthochlauf hängt von den Bedürfnissen des Markts, der Akzeptanz und der Mehrpreisbereitschaft der Kunden ab. Zudem erfordert eine Potenzialabschätzung die Evaluation der Effizienzpotenziale durch die Automatisierung und Vernetzung über die 5 Stufen hinweg differenziert nach charakteristischen Fahrsituationen. Und letztlich muss ein Ansatz entwickelt werden, der es ermöglicht, die verkehr-

* Korrespondierender Autor.

E-Mail: Michael.Krail@isi.fraunhofer.de (M. Krail)

lichen Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung messbar zu machen. Dieser Ansatz wurde im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) von Krail et al. (2019) gewählt, um die Potenziale der Automatisierung und Vernetzung zu quantifizieren. Im Gegensatz zu anderen Arbeiten werden im gewählten Ansatz die Auswirkungen der Automatisierung und Vernetzung auf die THG-Emissionen nicht im eingeschwungenen Zustand mit 100 % fahrerlosen und vernetzten Fahrzeugen bewertet. Vielmehr wird anhand einer Potenzialanalyse eine bis zum Jahr 2050 realistische Entwicklung der Technologie im Straßenverkehr in Deutschland unter den heutigen und zukünftigen Rahmenbedingungen ermittelt und somit der Prozess der Transition vom assistierten hin zum fahrerlosen und vernetzten Fahren gezeigt. Der Betrachtungsrahmen ist damit der Zeitraum von 2015 bis zum Jahr 2050 für die folgenden Fahrzeugsegmente:

- Pkw: Kleinwagen/Kompaktklasse, Mittelklasse und Oberklasse,
- Lkw: schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) < 3,5 t zGG,
- Bus: Stadtbusse, Reisebusse und Kleinbusse.

2. Markthochlauf der Automatisierung und Vernetzung

Die Grundlage für die Bewertung der Wirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens stellt eine detaillierte und umfangreiche Auswertung der relevanten, deutschen und englischsprachigen Fachliteratur zum Thema dar. Die Erkenntnisse der Literaturrecherche fließen dabei zunächst in eine Roadmap des automatisierten und vernetzten Fahrens bis zum Jahr 2050. Die Roadmap stellt dabei die evolutionäre Entwicklung der Automatisierung über fünf Stufen der Automatisierung dar und verbindet die Stufen mit den dafür benötigten Fahrerassistenzsystemen.

Die Ebene der Fahrerassistenzsysteme wird dabei benötigt, weil es für einzelne Fahrerassistenzsysteme bereits Abschätzungen der Wirkungen auf die Energieeffizienz und damit die THG-Emissionen gibt. Auf Ebene der Automatisierungsstufen gibt es anhand von europaweiten Feldtests erste Auswertungen auf die Energieeffizienz bis maximal zur Automatisierungsstufe 3 (Etemad et al. 2017). Neben der vorrangig für klassische Fahrzeugkonzepte zu erwartenden evolutionären Entwicklung gibt es besonders im Bereich des ÖPNV noch neue Fahrzeugkonzepte, bei denen vermutlich keine evolutionäre Entwicklung über die fünf Stufen der Automatisierung zu erwarten ist. Diese sind bereits heute komplett ohne Fahrer konzipiert, spielen auch dann erst ihre Vorteile hinsichtlich Flexibilität aus und werden daher nur ab Stufe 5 eine Rolle spielen.

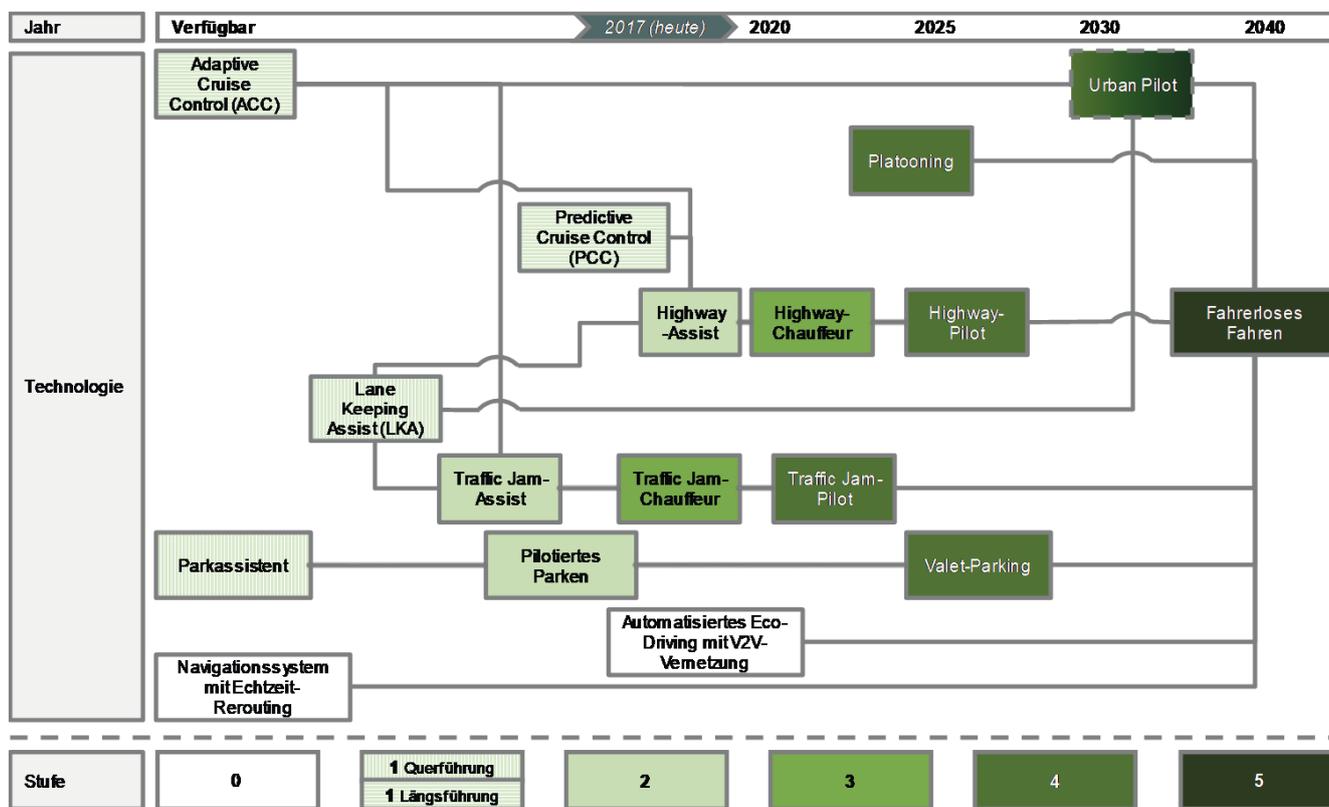


Abbildung 1: Roadmap Pkw für Fahrerassistenztechnologien und Automatisierungsstufen (Krail et al. 2019)

Die Evaluierung der Fachliteratur wurde genutzt, um den einzelnen Automatisierungsstufen für alle betrachteten Fahrzeugsegmente eine Kombination an Fahrerassistenztechnologien zuzuordnen. Diese Zuordnung ergibt sich aus der per Definition der für die Stufen notwendigen Funktionen. Darüber hinaus ermöglicht diese Zuordnung eine genauere Einschätzung der möglichen Zeitpunkte der Markteinführung. Für die Abschätzung des Markthochlaufs wurde in dieser Studie anhand der Roadmap der früheste Markteintritt des vollautomatisierten Fahrens (Stufe 4) ab dem Jahr 2025, für das fahrerlose und vernetzte Fahren (Stufe 5) ab dem Jahr 2035 angenommen. Auf Grund der hohen Produktionskosten und resultierenden Aufpreise für diese beiden Automatisierungsstufen werden dabei zunächst die Segmente der Pkw-Oberklasse, der schweren Nutzfahrzeuge und der Reisebusse und damit die klassischen Technologieträger bedient. Die Studie geht von einer verzögerten Markteinführung dieser Automatisierungsstufen in der Pkw-Mittelklasse und den anderen Pkw, Lkw und Bussegmenten aus.

Da die Aufgabe der Studie darin bestand, realistische Potenziale der Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr in Deutschland bis zum Jahr 2050 zu ermitteln, wurden für die Studie die heutigen und zukünftigen Produktionskosten der Automatisierungssysteme abgeschätzt, um die Wirkung auf die Nachfrage einschätzen zu können. Dazu wurden anhand der Fachliteratur und der Befragung von Experten aus Industrie und Forschung heutige und zukünftige Produktionskosten und die Lernraten für einzelne Systemkomponenten der Sensorik, Aktorik und der Software mittels der folgenden 1-faktoriellen Lernkurven abgeschätzt.

$$C_i = C_{0,i} * \left(\sum_{t=0}^n X_i \right)^{-b}$$

mit:

C_i = Produktionskosten pro Einheit der Komponente i

$C_{0,i}$ = Produktionskosten der ersten Einheit der Komponente i

X_i = kumulierte Menge der produzierten Einheiten der Komponente i

b = Lernparameter

Die resultierenden Produktionskosten der einzelnen Systemkomponenten wurden im nächsten Schritt mittels der Zuordnung der benötigten Komponenten pro Automatisierungsstufe auf die Ebene der Automatisierungsstufen aggregiert. Abschließend konnte über die Nutzung bran-

chenüblicher Margen die resultierenden Aufpreise für die Endkunden für die Ausstattung der Fahrzeuge mit den Automatisierungsstufen ermittelt werden.

Um die Nachfrage nach den einzelnen Automatisierungsstufen abbilden zu können, wurden anhand einer Akzeptanzanalyse (Dütschke et al. 2017) die generelle Einschätzung der Kunden zur Technologie zusammengefasst und daraus resultierende Mehrpreisbereitschaften für die einzelnen Fahrzeugsegmente abgeleitet. Diese unterscheiden sich deutlich zwischen den privat und kommerziell genutzten Straßenfahrzeugen, da im kommerziellen Bereich ab Automatisierungsstufe 4 bereits die Kosten für den Fahrer reduziert werden können und ab Stufe 5 gänzlich wegfallen. Daraus ergeben sich Vorteile bei einer Vollkostenbetrachtung, die in höheren Bereitschaften zur Bezahlung von Aufpreisen resultieren.

Die Verknüpfung des Angebots bestimmter Automatisierungsstufen für die Fahrzeugsegmente der Pkw, Lkw und der Busse mit der potenziellen Nachfrage konnte mittels eines Diffusionsmodells gemacht werden. Das Prinzip des Modells besteht in einem Abgleich der Mehrpreisbereitschaften der Kunden für die einzelnen Fahrzeugsegmente mit den mittels der Lernkurven berechneten Aufpreisen zum Zeitpunkt t und der Übertragung der Anteile in die Neuzulassungen der einzelnen Segmente zum Zeitpunkt $t+1$. Anschließend ergeben sich durch die bis zum Zeitpunkt $t+1$ kumulierten verkauften Stückzahlen anhand der Lernkurven neue, geringere Produktionskosten und dadurch geringere Marktpreise für die Automatisierungsstufen.

Das Ergebnis ist ein potenzieller Markthochlauf der einzelnen Automatisierungsstufen pro Fahrzeugsegment über den Zeitraum 2015 bis 2050 in Form von Anteilen am gesamten Fahrzeugbestand. Die im Bereich der Kleinwagen/Kompaktklasse bei Pkw vorherrschende hohe Preissensibilität und der spätere Markteintritt im Vergleich zur Oberklasse verhindert das Erreichen höherer Marktanteile bis zum Jahr 2050. Trotz deutlicher Kostendegression ergab die Analyse für die Automatisierungsstufe 5 Aufpreise in Höhe von ca. 5.000 € im Jahr 2050 für Pkw der Oberklasse. Zum Zeitpunkt des Markteintritts (ca. 2035) sind diese mit ca. 11.000 € nur im Bereich der Pkw-Oberklasse und besonders für die schweren Nutzfahrzeuge bereits für eine größere Käufergruppe interessant. Daraus resultierend ist die Durchdringung der Flotten im Straßenverkehr mit den Automatisierungsstufen 4 und 5 mit 34 % bis 41 % des Bestandes für den Pkw, mit 42 % bis 44 % für den Lkw und 48 % bis 67 % für den Bus bis zum Jahr 2050 noch moderat. Die Spannweiten der Ergebnisse ergeben sich aus einer Szenarienbetrachtung. Nur maximal 7 % des Pkw-Bestandes sind anhand der Abschätzungen fahrerlos und damit mit Stufe 5 ausgestattet. Dieses bis zum Jahr 2050 noch eingeschränkte Marktpotenzial wirkt sich auch auf die THG-Emissionen des Straßenverkehrs aus.

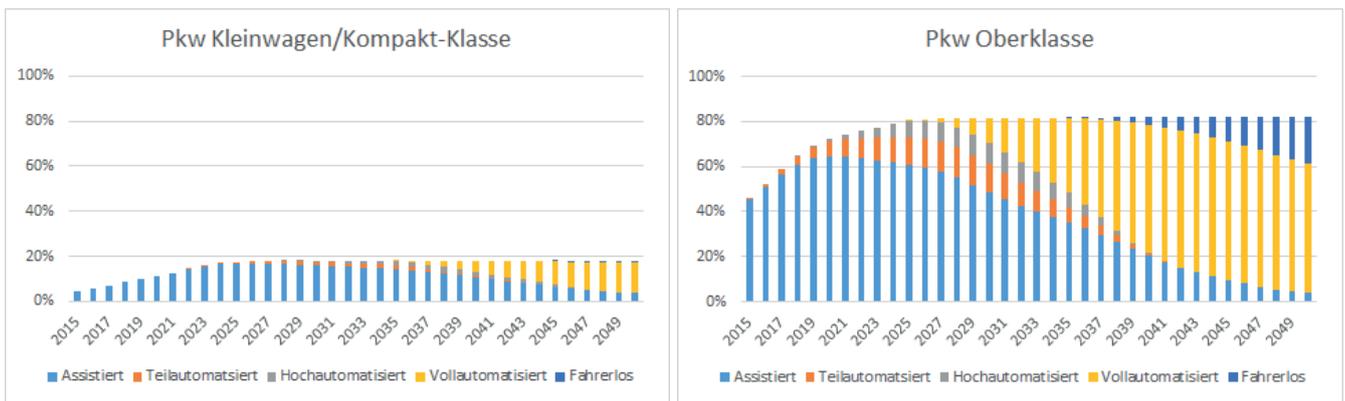


Abbildung 2: Anteile der Automatisierungsstufen am Pkw Bestand bis 2050 am Beispiel der Segmente Kleinwagen/Kompaktklasse und Oberklasse (Krail et al. 2019)

3. Treibhausgasminderungspotenziale durch Automatisierung und Vernetzung

Für die Quantifizierung der Reduktionspotenziale der THG-Emissionen durch Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr werden die Wirkungen im Folgenden nach sogenannten primären und sekundären Potenzialen unterschieden. Abbildung 3 zeigt dabei das Zusammenspiel der einzelnen Effekte. Primäre Effizienzpotenziale verstehen sich dabei als die Verbesserung der Effizienz am Fahrzeug selbst durch den Einsatz von Automatisierungsfunktionen über die fünf Stufen der Automatisierung in Kombination mit den Möglichkeiten durch die Vernetzung der Fahrzeuge (V2V) miteinander. Effizienzpotenziale durch die Automatisierung und Vernetzung ergeben sich hauptsächlich durch

optimierte Brems- und Beschleunigungsvorgänge, geringere Höchstgeschwindigkeiten, durch optimiertes Routing und durch verbesserten Verkehrsfluss. Sekundäre Effekte berücksichtigen die Änderungen im Verkehrssystem durch die Automatisierung und Vernetzung. Darin beinhaltet sind Änderungen im Verkehrsverhalten, neue Nutzergruppen und Angebotsformen im Straßenverkehr neben dem MIV und dem ÖV und ein sich dadurch ändernder Modal Split und die Fahrleistungen.

3.1 Effizienzpotenziale an einzelnen Fahrzeugen

Die in ersten Feldtests in der Realität nachgewiesenen hohen Effizienzpotenziale der Automatisierung bis Stufe 3

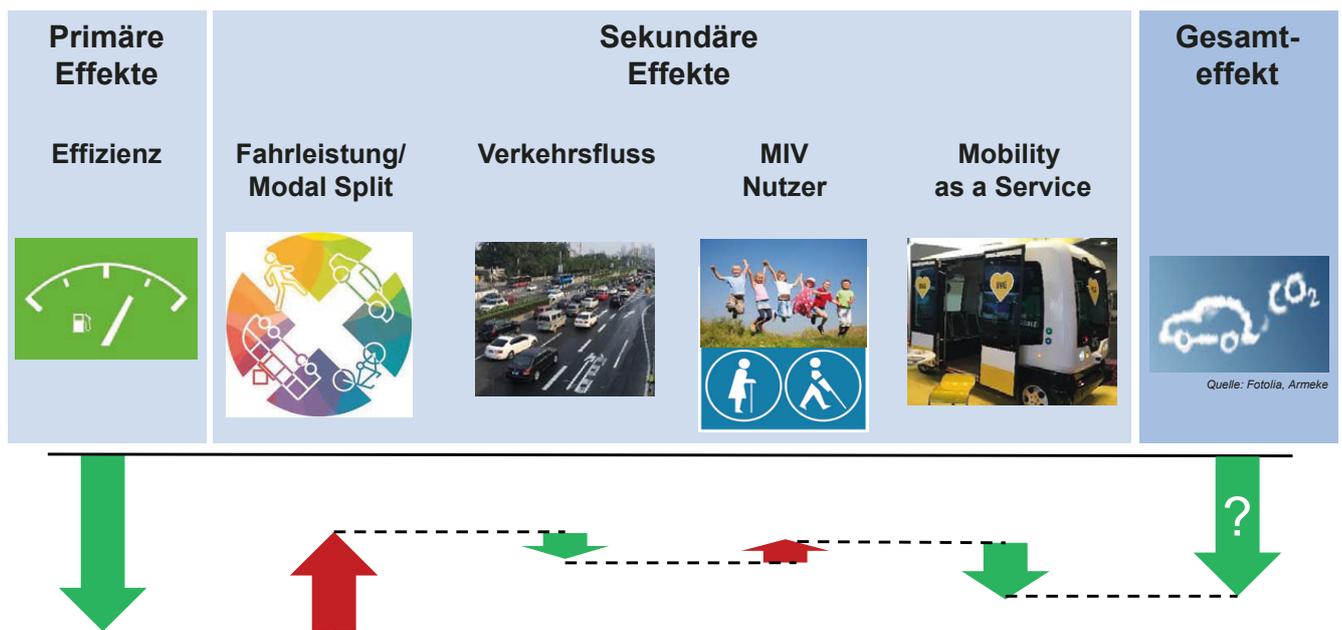


Abbildung 3: Gesamtwirkungen der Automatisierung und Vernetzung (Krail et al. 2019)

Automatisierungsstufe		5	Reduktionspotenzial in Abhängigkeit von der Penetrationsrate		
Fahrzeugklasse		Mittelklasse			
Verkehrsmittel		Pkw	low	medium	high
Straßentyp und Verkehrsdichte	Autobahn	Flüssig	3%	7%	12%
		Dicht/Gesättigt	1%	3%	3%
		Stop+Go	7%	12%	13%
	Landstraße	Flüssig	7%	11%	16%
		Dicht/Gesättigt	5%	6%	8%
		Stop+Go	10%	14%	16%
	Innerortsstraße	Flüssig	11%	15%	16%
		Dicht/Gesättigt	14%	19%	21%
		Stop+Go	26%	38%	42%

Abbildung 4: Effizienzpotenziale bei Pkw der Mittelklasse für Automatisierungsstufe 5 (Krail et al. 2019)

mussten für die Stufen 4 und 5 auch außerhalb des Bereichs der Autobahnen ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden die durch den Einsatz wichtiger Fahrerassistenzsysteme möglichen Effizienzpotenziale aus der betrachteten Fachliteratur, nach Fahrzeugsegment und Fahrsituation (Straßentyp und Verkehrsdichte) differenziert, gesammelt. Auf Basis der für die jeweiligen fünf Automatisierungsstufen benötigten Fahrfunktionen bzw. der Fahrerassistenzsysteme und den Anteilen der Fahrleistung nach Fahrzeugsegment und Fahrsituation konnten die einzelnen Effizienzpotenziale Bottom-up zu einem Gesamtpotenzial verrechnet werden. Die dafür verwendete Methodik wird detailliert in Krail et al. (2019) beschrieben. Die Ergebnisse der Bottom-up-Analyse haben gezeigt, dass die Ausstattung und die Nutzung der Automatisierungsfunktionen die Effizienz aller Straßenfahrzeuge schon mit Einführung der Stufe 1 spürbar verbessert. Abhängig von der Verkehrsdichte, des befahrenen Straßentyps und des Fahrzeugsegments ergeben sich Potenziale zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs im spezifischen Maximalfall von bis zu 42 %.

Gemittelt über die Anteile der Fahrten auf den Straßentypen (BAB, Landstraße, Innerortsstraße) und den Verkehrsdichten (flüssig, dicht, stop & go) kann die Automatisierung und Vernetzung den Kraftstoffverbrauch am einzelnen Fahrzeug immerhin noch um bis zu 17 % (für schwere Nutzfahrzeuge) reduzieren. Dieser Wert ist als Effizienzpotenzial zu verstehen, der sich dann realisieren lässt, wenn die Nutzer der Fahrzeuge die Automatisierungsfunktionen auch in allen möglichen, spezifischen Anwendungsfällen benutzen. Übertragen auf die Anteile der Fahrzeuge mit Automatisierung aus dem Markthochlauf ergeben sich alleine durch die primären Potenziale Einsparungen der THG-Emissionen um ca. 10 bis 10,4 Mt. CO₂äq. im Jahr 2050.

3.2 Verkehrliche Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung

Vor dem Hintergrund der zu ermittelnden Auswirkungen von automatisiertem und vernetztem Fahren auf die THG-Emissionen ist eine Abschätzung der sich infolge dieses Digitalisierungsprozesses ergebenden Verhaltensänderung notwendig. Unter Verkehrsverhalten versteht man hierbei die Mobilitätsmuster im Personen- und Güterverkehr, die zu einer bestimmten Anzahl an Wegen mit bestimmten Zwecken, zurückgelegte Relationen, gewählte Verkehrsmittel und dafür benutzte Verkehrsinfrastruktur führen. Das Verkehrsverhalten im Personenverkehr hängt von zahlreichen sozioökonomischen, räumlichen, kulturellen und politischen Einflussgrößen ab. Neben den Charakteristika der einzelnen Personen und den individuellen Mobilitätsbedürfnissen werden immer wieder folgende Faktoren als zentrale Einflussgrößen auf das Verkehrsverhalten genannt: Transport- bzw. Reisekosten, Transport- bzw. Reisezeiten, Besetzungsgrad bzw. Ladefaktor, Verfügbarkeit bzw. Erreichbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Komfort. Mit Ausnahme der letzten Einflussgröße dieser Liste gelten diese auch für den Güterverkehr als entscheidende Parameter. Automatisiertes und vernetztes Fahren beeinflusst alle Einflussgrößen und erzeugt dadurch eine verkehrliche Wirkung. Diese Wirkung entsteht nicht erst mit der Stufe 5, dem fahrerlosen Fahren in Kombination mit V2V-Vernetzung, sondern bereits durch die vorherigen Stufen der Automatisierung. Sowohl die Kosten, die Reisezeit als auch der Wert der Zeit hängen von den Distanzen ab, die eine Person zurücklegt.

Wenn die Kosten und die Zeit für Mobilität durch die Automatisierung sinken, dann ist mit einer Erhöhung der Fahrleistungen zu rechnen. Die technoökonomische Analyse der

Studien und die Abschätzung des Markthochlaufs haben gezeigt, dass automatisierte Fahrzeuge teurer in der Anschaffung sind. Allerdings zeigt sich angesichts der Energieeffizienzpotenziale, dass damit auch eine deutliche Einsparung der Betriebskosten möglich ist. Im Güterverkehr und im öffentlichen Verkehr ermöglichen automatisierte Fahrzeuge in gewissen Anwendungsfällen die Einsparung des Fahrers und damit in Kombination mit der verbesserten Effizienz der Fahrzeuge die Nutzung zu geringeren Transportkosten. Einige Studien gehen davon aus, dass mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeuge die Kapazität der Infrastruktur steigt, also mehr Fahrzeuge pro Zeiteinheit ohne Reduktion der Durchschnittsgeschwindigkeit und damit einer sinkenden Reisezeit auf der Straße unterwegs sein können (vgl. Maurer et al., 2016). Simulationen mit Mikromodellen haben diese Wirkungen bestätigt, jedoch nur bei sehr hohen Anteilen von fahrerlosen und vernetzten Fahrzeugen (vgl. Hartmann et al., 2017). Eine weitere Verhaltensänderung kann durch die Möglichkeit der Ausübung fahrfremder Aktivitäten bereits ab Stufe 3 entstehen, wie sie ohne Automatisierung nur als Beifahrer oder im öffentlichen Verkehr möglich ist (vgl. Fraedrich et al., 2016). Dadurch kann sich eine Änderung der Bewertung der Reisezeit ergeben. Die Fahrtzeit wird unter Umständen als weniger störend und daher weniger entscheidend bei der Distanz- oder Verkehrsmittelwahl empfunden. Zusätzlich können neue Mobilitätsdienstleistungen mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen und die Möglichkeit der Nutzung durch bisher nicht aktiv im MIV teilnehmenden Bevölkerungsgruppen (z.B. Kinder) einen Einfluss auf die Fahrleistungsentwicklung haben.

Für die quantitative Abschätzung der Wirkungen auf das Verkehrsverhalten und damit auf die jährlichen Fahrleistungen pro Verkehrsmittel wurden die oben aufgeführten Ursachen berücksichtigt. Die daraus folgenden Wirkungen auf THG-Emissionen wurden mit Hilfe des integrierten Verkehrs-, Ökonomie- und Umweltmodell ASTRA berechnet. Sowohl die Fahrleistungen des Personen- als auch des Güterverkehrs werden innerhalb des ASTRA-Modells mittels eines 4-Stufen-Ansatzes berechnet.

Die Ergebnisse der Analyse der sekundären Effekte des automatisierten und vernetzten Fahrens für die definierten Markthochlauf- und Mobilitätsszenarien haben gezeigt, dass sich der Modal Split durch Kostenvorteile, Effizienzverbesserungen, Komfortgewinne und die Möglichkeit der Ausübung fahrfremder Aktivitäten zu Gunsten des Straßenverkehrs ändern kann. Für die Simulation der Änderung der Verkehrsverteilung und des Modal Split wurden die Änderung der wahrgenommenen (reine Kraftstoffkosten) Kosten im MIV und die Änderung der Vollkosten bei Lkw und Bussen berücksichtigt. Durch den Wegfall des Fahrers ergeben sich bei Lkw und Bussen um 23 bis 33 % reduzierte Vollkosten. Zusätzlich flossen in die Berechnung die Änderungen der Fahrtzeiten, die geänderte Wahrnehmung der Fahrtzeit und sich ändernde Besetzungsgrade und Beladungsfaktoren ein. Entgegen der Darstellung der positiven Wirkungen

des automatisierten und vernetzten Fahrens auf die Fahrtzeit in einigen Studien, zeigt sich anhand von Mikrosimulationen im Mischverkehr aus menschlich und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen keine Verbesserung der Kapazität. Erst das Erreichen sehr hoher Anteile automatisierter Fahrzeuge ermöglicht eine deutliche Verbesserung der Kapazitäten der Straßen. Dieser Effekt tritt durch den bis 2050 noch begrenzten Anteil an Fahrzeugen mit Stufe 4 und 5 nach dieser Untersuchung erst nach 2050 ein.

3.3 Gesamtwirkungen auf THG-Emissionen des Verkehrs

Die Ermittlung der Potenziale neuer, automatisierter und geteilter Mobilitätskonzepte war nicht Bestandteil dieser Studie. Da diese die Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr auf THG-Emissionen jedoch zukünftig beeinflussen können, wurde mit zwei Szenarien gearbeitet, die den Unterschied der zukünftigen Nutzung im Personen- und Güterverkehr auf der Straße verdeutlichen sollen. Durch die beschriebene Änderung der Vollkosten im Straßenverkehr ist ein steigender Anteil des MIV und des Straßengüterverkehrs im Modal Split wahrscheinlich, wenn die Intensität der Nutzung und das Angebot an Sharingdienstleistungen für Pkw nicht deutlich steigt und die Logistik nicht weiter optimiert wird. Das für diese Studie entwickelte Szenario „Welt des Fahrzeugbesitzes“ (Szenario 1) folgt dieser Annahme und setzt den Status-Quo der geringen Besetzungsgrade im MIV mit dem vorherrschenden Standard des eigenen Pkw, moderater Optimierung der Logistik und einem wenig flexiblen Öffentlichen Verkehr fort. Aus verkehrlichen Gesichtspunkten, vielmehr jedoch aus dem Blickwinkel der Umweltwirkung und des Flächenverbrauchs, ist dieses Szenario weit von einem anzustrebenden ressourcenschonenden Zustand entfernt. An diesem Zustand vermag auch die Einführung der beiden Technologien der Automatisierung und der Vernetzung im Straßenverkehr wenig ändern. Die ohnehin schon hohen Anteile des MIV an den gesamten Fahrleistungen in Deutschland bis zum Jahr 2050 erfahren in Szenario 1 erwartungsgemäß eine Steigerung. Der Verlagerungseffekt fällt in Folge des nach oben begrenzten Markthochlaufs für die Automatisierungsstufen 1 bis 5 jedoch moderat aus. Zusätzlich wird die negative Wirkung durch die angenommene Automatisierung im Öffentlichen Verkehr und auf der Schiene zumindest leicht abgefedert.

Als Kontrast und zur Verdeutlichung der Wirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr in Kombination mit deutlich zunehmenden Anteilen von Car- und Ridesharing im MIV, Optimierung der Logistik im Straßengüterverkehr und einem flexibleren Öffentlichen Verkehr wurde das Szenario „Welt der Mobilitätsdienstleistungen“ (Szenario 2) entwickelt.

Die Studie hat sich im Rahmen der sekundären Effekte des automatisierten und vernetzten Fahrens auch mit Auswir-

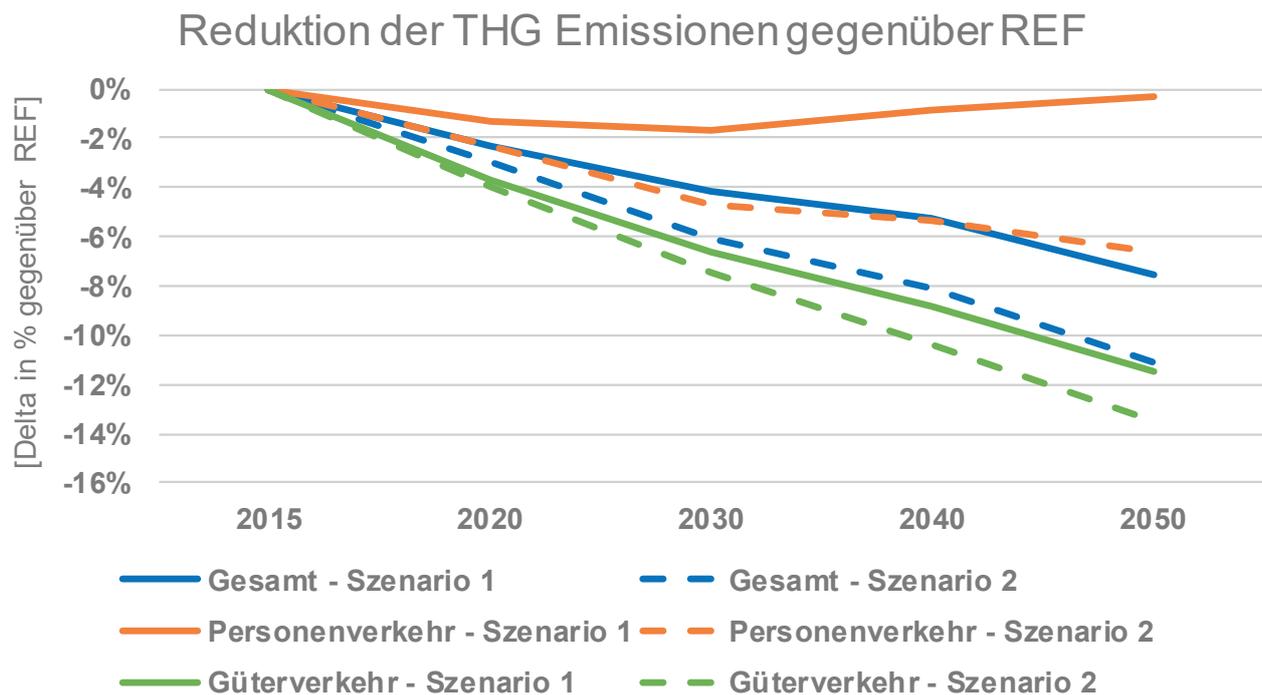


Abbildung 5: Gesamtwirkung des Automatisierten und Vernetzten Fahrens pro Szenario auf die THG-Emissionen (Krail et al. 2019)

kungen durch die Einführung neuer Nutzergruppen mit der Einführung des fahrerlosen Fahrens (Stufe 5) beschäftigt. Angesichts der bis zum Jahr 2050 noch geringen Marktanteile für die Stufe 5 wurde jedoch nicht von einer Steigerung der Fahrleistungen durch die Gruppe der Kinder und mobilitätseingeschränkter Personen ausgegangen. Die Steigerung der Verfügbarkeit des Pkw für Menschen ohne Zugang zu einem privaten Pkw wurde in Szenario 2 berücksichtigt. Die Wirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf die Vermeidung von Staus durch die Verbesserung der Verkehrssicherheit und der Reduktion der unfallbedingten Staus haben nur marginale Reduktionen der THG-Emissionen zur Folge.

In der Summe aus primären und sekundären Effekten ergeben sich sowohl für das Szenario 1 („Welt des Fahrzeugbesitzes“) als auch für das Szenario 2 („Welt der Mobilitätsdienstleistungen“) substantielle Potenziale zur Reduktion der THG-Emissionen im Vergleich zum Referenzszenario (REF). Während in Szenario 1 die Verlagerungseffekte von der Schiene auf die Straße die Wirkungen der primären Potenziale zumindest leicht abschwächen, verstärken sich die Wirkungen der primären Potenziale in Szenario 2 durch die Verknüpfung der Automatisierung und Vernetzung mit neuen, automatisierten Mobilitätsdienstleistungen. Die gesamten THG-Emissionen sinken durch die Automatisierung und Vernetzung gegenüber REF um 7,6 % im Jahr 2050 ohne Berücksichtigung neuer Mobilitätskonzepte und um 11,1 % gegenüber REF im Jahr 2050 mit zunehmender Nutzung von und Angebot an automatisierten Sharingkonzepten. In absoluten Mengen bedeutet dies eine Reduktion der THG-Emissionen um 7,8 Mt. CO_{2äq.} gegenüber REF im Jahr 2050 in Szenario 1.

Durch steigende Anteile des Car- und Ridesharing in Szenario 2 lassen sich die THG-Emissionen um 11,5 Mt. CO_{2äq.} gegenüber REF im Jahr 2050 verringern.

4. Schlussfolgerungen

Die Analysen zeigen zum einen das hohe Potenzial automatisierter und vernetzter Straßenfahrzeuge zur Verbesserung der Energieeffizienz. Sie zeigen jedoch auch, dass negative Verlagerungswirkungen entstehen können, wenn sich keine Änderung des Status quo der Verkehrsmittelwahl in Deutschland ergibt. Steigt die Nachfrage und das Angebot an geteilten Mobilitätsdienstleistungen wie Carsharing oder Ridesharing deutlich, kann auch hier die Automatisierung zu einer zusätzlichen Verbesserung der Effizienz des gesamten Verkehrssystems beitragen. Die Wirkung zeigt sich hierbei durch steigende Besetzungsgrade und insgesamt sinkende Fahrleistungen im MIV, wenn der private Pkw-Besitz abnimmt und durch die Nutzung von automatisierten Sharingdienstleistungen und dem Öffentlichen Verkehr substituiert wird. Im Güterverkehr können automatisierte Konzepte ebenfalls zu einer Steigerung der Effizienz beitragen, indem die Zahl der Leerfahrten optimiert wird. Dies führt ebenfalls zu einer Verbesserung der Fahrleistungen.

Die durchgeführte Potenzialabschätzung beruht wie bei Technikfolgenabschätzungen üblich auf einer Vielzahl an Annahmen, welche in Krail et al. (2019) ausführlich beschrieben sind. Die Wirkung dieser Annahmen auf THG-Emissionen sind im Falle des sich ändernden Verkehrsverhaltens und der Nutzung geteilter Mobilitätskonzepte mittels der

beiden Szenarien skizziert worden. Die Entwicklung der Akzeptanz der Automatisierung im Straßenverkehr stellt einen wichtigen Hebel bei der Ermittlung der Potenziale dar, ebenso wie die Entwicklung der Produktionskosten. Letztlich kann die Annahme der parallel im Öffentlichen Verkehr und insbesondere auf der Schiene ebenfalls deutlich zunehmenden Automatisierung die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen. Schafft es der öffentliche Verkehr und die Schiene nicht, mit den Entwicklungen auf der Straße Schritt zu halten, dann steigt die Wettbewerbsfähigkeit des MIV durch die Automatisierung und Vernetzung zusätzlich. Dadurch würden die Modal-Anteile der Straße weiter steigen und die Potenziale zur Reduktion der THG-Emissionen deutlich kleiner ausfallen.

5. Referenzen

- Dütschke E., Schneider U., Krail M., Peters A. (2017): Akzeptanz für automatisiertes Fahren. Die Chance auf eine nachhaltige Verkehrswende? Internationales Verkehrswesen 69 (2017), Nr. 3, S. 60-63. Berlin.
- Etemad A. et al. (2017): Automated Driving Applications and Technologies for Intelligent Vehicles. Endbericht des Adaptive Projekts. Wolfsburg.
- Fraedrich E., Cyganski R., Wolf I., Lenz B. (2016): User Perspectives on Autonomous Driving: A Use-Case-Driven Study in Germany. Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Hartmann M.; Busch F.; Vortisch P. (2017): Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur. Studie im Auftrag des VDA. FAT-Schriftenreihe 296. München.
- Krail M. et al. (2019): Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr. Studie im Rahmen der MKS im Auftrag des BMVI. Karlsruhe.
- Maurer M., Gerdes C. J., Lenz B., Winner H. (Hrsg.) (2016): Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Springer Verlag.

Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge – Mobilitätskonzepte mit Zukunftspotenzial?

Mascha Brost*, Amelie Ewert, Christine Eisenmann, Sylvia Stieler, Katja Gicklhorn

siehe *Autorinnenangaben*

Abstract

Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge (LEV – Light Electric Vehicle) bieten Potenzial für eine nachhaltige Mobilität, sind jedoch heutzutage kaum verbreitet. Der Beitrag gibt eine Übersicht zu verfügbaren Fahrzeugmodellen, technischen Eigenschaften, rechtlichen Rahmenbedingungen der Nutzung und Einsatzmöglichkeiten im Personen- und Wirtschaftsverkehr. Die vorgestellten Ergebnisse zu Chancen und Potenzialen von LEV wurden im Rahmen einer Studie im Auftrag der Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, e-mobil BW, erarbeitet, die im Herbst 2019 veröffentlicht wird.

Schlagwörter/Keywords:

Light Electric Vehicles (LEV), Klasse L, Leichtfahrzeuge, Mobilitätskonzepte

1. Einleitung mit Fragestellung

Globale Trends, wie das Bevölkerungswachstum und eine zunehmende Motorisierungsrate, führen zu globalen Problemen wie hohen Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig nimmt der Anteil der Menschen, die in Städten leben, zu. Hier machen sich Belastungen von Innenstadtbereichen durch Lärm und Schadstoffe sowie ein hoher Anteil von Verkehrsflächen bemerkbar. Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge (LEV) unterhalb der Pkw-Klasse können einen Baustein in nachhaltigen Mobilitätskonzepten im städtischen und ländlichen Raum darstellen. Gleichzeitig sind sie eine Option, individuelle Mobilität zu ermöglichen. Dabei weisen sie für Herstellung und Betrieb einen geringeren Energie- und Ressourcenbedarf als Pkw auf und benötigen weniger Raum im stehenden und fließenden Verkehr. Als Beitrag zu attraktiven Stadtquartieren bieten LEV Potenzial für Mobilitätsketten, die den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und aktive Fortbewegungsmodi wie Fuß- und Radverkehr beinhalten. Damit können sie sowohl als Teil eines modernen ÖPNV, in Sharing-Konzepten wie auch für die individuelle Mobilität eingesetzt werden.

LEV weisen ein sehr günstiges Verhältnis von Fahrzeuggewicht zu Nutzlast (Personen oder Güter) auf und benötigen im Betrieb somit sehr wenig Energie. Ein elektrischer Antrieb ermöglicht eine leise und lokal emissionsfreie Fortbe-

wegung. Batterien von LEV können bei gleicher elektrischer Reichweite wesentlich kleiner ausgelegt werden als bei Pkw, so dass der Verbrauch kritischer Rohmaterialien wie Lithium und Kobalt vergleichsweise gering ist. Somit können LEV sowohl zur Minderung von Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors wie auch zu einer besseren Luftqualität in Städten und einem nachhaltigen Umgang mit kritischen Ressourcen beitragen.

Da LEV bisher nur wenig verbreitet sind, soll hier untersucht werden, inwiefern und in welchem Ausmaß diese Fahrzeuge in zukünftigen Mobilitätslösungen eingesetzt werden können. Als Grundlage hierfür werden zunächst eine Definition der in diesem Artikel betrachteten Fahrzeugarten und ein Überblick zur derzeitigen Marktsituation gegeben. Für diese Studie wurden vorhandene Literatur und Statistiken ausgewertet und mit Expertengesprächen von Vertretern und Vertreterinnen aus Unternehmen und Wissenschaft ergänzt.

2. Definition elektrischer Klein- und Leichtfahrzeuge

Hinter dem Begriff der elektrischen Klein- und Leichtfahrzeuge verbirgt sich eine breite Palette unterschiedlicher Fahrzeugarten. Aktuell haben insbesondere die Mikromobile oder Elektrokleinstfahrzeuge durch die ge-

* Korrespondierende Autorin.

E-Mail: mascha.brost@dlr.de (M. Brost)

Abbildung 1: Übersicht über das Segment der LEV

Quelle: DLR unter Verwendung von Grafiken der genannten Hersteller

plante Straßenzulassung an medialer Aufmerksamkeit gewonnen. Als Letzte-Meile-Lösung bieten sie ein Zusatzangebot zu dem vorhandenen Mobilitätsangebot des Umweltverbundes in Innenstädten, welches den Verkehr entlasten soll. Dennoch werfen sie einige Fragen bezüglich der Sicherheit der Fahrzeuge selbst sowie der Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer auf den von ihnen genutzten Verkehrsflächen auf. Neben den Kleinstfahrzeugen bilden Pedelecs ein weiteres Fahrzeugsegment, zu dem auch Lastenräder gehören. Es hängt von den technischen Eigenschaften eines Pedelecs ab, ob ein Versicherungskennzeichen benötigt wird (Nenndauerleistung ≥ 250 Watt und/oder Geschwindigkeit ≥ 25 km/h) oder nicht (Nenndauerleistung ≤ 250 Watt und Geschwindigkeit ≤ 25 km/h). Pedelecs mit Versicherungskennzeichen fallen in die L-Klasse nach europäischer Regulierung (EU-Verordnung Nr. 168/2013).

Für die Mitgliedsländer der EU und damit auch für Deutschland werden Definitionen und Anforderungen für die Typgenehmigung von zwei-, drei- und vierrädrigen Fahrzeugen der sogenannten Klasse L mit der Verordnung Nr. 168/2013 geregelt. Die Klasse L beinhaltet Unterklassen von L1e bis L7e, die sich nach Anzahl der Räder und weiteren Merkmalen unterscheiden. Dreirädrige LEV fallen demnach in die Klassen L2e und L5e und vierrädrige LEV in die Klassen L6e und L7e. Auf dem Markt befindet sich dazu eine Vielzahl von Modellen, welche sowohl Nutzfahrzeuge als auch Fahrzeuge zum Personenverkehr einschließen (vgl. Abbildung 1).

In diesem Artikel werden drei- und vierrädrige Fahrzeuge der Klasse L, also Fahrzeuge unterhalb der Pkw-Klasse, betrachtet, für die der Renault Twizy das bekannteste Beispiel ist.

3. Technische Fahrzeugeigenschaften

LEV gibt es in einer großen Variation bezüglich Fahrzeugaufbau und Spezifikationen der technischen Komponenten. Gemeinsam ist allen LEV-Modellen der grundsätzliche Aufbau des Antriebsstrangs aus Batterie, elektrischer Maschine, Getriebe sowie Leistungselektronik. Der Antriebsstrang eines LEV besteht somit grundsätzlich aus den gleichen Komponenten wie der eines batterieelektrischen Pkw, unterscheidet sich von diesem jedoch deutlich in Ausführung und Leistungsstärke der einzelnen Bauteile.

Energiebedarf

Durch das geringe Gewicht haben LEV einen sehr geringen Energiebedarf für den Antrieb des Fahrzeugs. Auch wenn der Energiebedarf nicht linear proportional mit dem Fahrzeuggewicht einhergeht, liegt ein typisches vierrädriges LEV mit 6-9 kWh pro 100 km deutlich unter dem Energiebedarf eines Elektro-Pkw. Der Smart EQ fortwo als kleiner Vertreter dieser Klasse beispielsweise benötigt laut Hersteller mindestens 13 kWh pro 100 km (NEFZ kombiniert, je nach Ausstattung und Lademodus). Im realen Fahrbetrieb liegt der Verbrauch gewöhnlich noch wesentlich höher.

Für Fahrzeuge der Klasse L sind zur Bestimmung der Reichweite andere Testzyklen als für Pkw vorgeschrieben. Diese Zyklen sind in der EU-Verordnung Nr. 134/2014 definiert. Unabhängig von den dort aufgeführten Zyklen geben Hersteller meist eine Spanne zur möglichen Reichweite an und verweisen auf den Einfluss der Nutzungsbedingungen. Häufig ist bei diesen Angaben jedoch nicht ersichtlich, wie die Reichweite bestimmt wurde.

Tabelle 1: Batteriekapazität und Reichweite ausgewählter LEV Modelle

Fahrzeugtyp	Klasse	Batteriekapazität	Reichweite (abhängig vom Fahrprofil)
DXP 4	L2e	4,3 kWh	30 - 100 km
Twike 3	L5e	3,5 kWh	40-80 km
Twike 3	L5e	24,5 kWh	300-600 km
Twizy 45	L6e	6,1 kWh	Bis zu 100 km*
Microlino	L7e	8 / 14,4 kWh	Bis zu 125 / 200 km
Twizy	L7e	6,1 kWh	Bis zu 90 km
Aixam eCity Pack	L6e	6,1 kWh	80-130 km

* nach innerstädtischem Fahrzyklus ECE-15 (Stadtzyklus des NEFZ)

** inkl. Batteriemiete für 8 Jahre, 7.500 km jährlich bei Vertragslaufzeiten von je 48 Monaten

Quellen: (KYBURZ Switzerland AG 2019), (Twike 2019), (Renault Deutschland AG 2018), (Micro Mobility Systems AG 2019), (StromDrive 2017), (Aixam Deutschland 2019)

Batterien und Reichweite

LEV besitzen in der Regel eine Lithium-Ionen-Traktionsbatterie für den Antrieb des Fahrzeugs. Batteriekapazitäten liegen bei drei- und vierrädrigen Fahrzeugen typischerweise im Bereich von 6 bis 15 kWh. Manche Hersteller bieten auch Varianten mit deutlich höherer Kapazität an. Durch den sehr geringen Energiebedarf lassen sich auch mit kleinen Batterien relativ hohe Reichweiten erzielen. Häufig liegen diese im Bereich von um die 100 km. Einige Modelle bieten auch Reichweiten von mehreren 100 km an (Tabelle 1).

Lademöglichkeiten

Die Ladeinfrastruktur ist bei LEV üblicherweise on-Board verbaut. Sie können somit zum Aufladen ohne ein zusätzliches Ladegerät an eine Stromquelle (Ladesäule oder Haushaltssteckdose) angeschlossen werden. Die verbaute Elektronik wandelt dabei die Wechselspannung der Stromquelle in Gleichspannung für die Batterie. Die meisten LEV werden über einen Schuko-Stecker aufgeladen, wie er auch im Haushalt verwendet wird.

Elektromotoren

Für den Antrieb von LEV sind sowohl ein einzelner, zentraler Elektromotor wie auch die Verwendung mehrerer Radnabenmotoren denkbar. Derzeitige Serienfahrzeuge sind nur mit einem einzelnen Motor, häufig einem Drehstrom-Asynchronmotor, ausgestattet. Laut Expertenangaben sind die Gründe für die Wahl des Antriebs mit einem einzelnen Motor die niedrigeren Kosten im Vergleich zur Verwendung mehrerer Radnabenmotoren und eine geringere Komplexität des Antriebstranges. In Konzeptstudien werden teilweise Radnabenmotoren verwendet. Technisch gesehen sind die dafür benötigten Motoren verfügbar; sie werden beispielsweise in Elektrorollern verbaut. Wie bei

elektrischen Pkw kann ein Elektromotor auch bei LEV bei Bremsvorgängen als Generator zur Aufladung der Antriebsbatterie verwendet werden (Rekuperation).

Die maximal zulässige Nenndauerleistung des Antriebs vierrädriger Fahrzeuge beträgt bei LEV je nach Fahrzeugklasse 4 kW, 6 kW oder 15 kW (Klassen L6e und L7e). Eine Ausnahme bilden hier nur Gelände-Quads, deren Leistung unbeschränkt ist. Dreirädrige Fahrzeuge sind auf 4 kW Nenndauerleistung beschränkt (Klasse L2e) bzw. besitzen keine Leistungsbeschränkung (Klasse L5e). Die kurzzeitig abrufbare Spitzenleistung liegt bei Elektromotoren deutlich über der Nenndauerleistung.

Sicherheit von LEV

Mit dem geringen Fahrzeuggewicht von LEV sind Herausforderungen mit Hinblick auf die Sicherheit von Fahrzeuginsassen verbunden. Für die Mitglieder der Europäischen Union legen in erster Linie die EU-Verordnung Nr. 168/2013 und die delegierte EU-Verordnung Nr. 3/2014 grundlegende Anforderungen an die funktionale Sicherheit von Klasse L-Fahrzeugen und somit auch für LEV fest. Diese Verordnungen beinhalten detaillierte Vorschriften zur technischen Umsetzung von akustischen Warneinrichtungen, Bremssystemen, Schutzvorrichtungen vorne und hinten am Fahrzeug, Sicherheitsgurten, Insassenschutz, Kopfstützen, Fahrzeugstruktur und weiteren Themen.

Ein grundlegender Unterschied zur Typzulassung von Pkw ist, dass für LEV keine Crashtests vorgeschrieben sind. Auch andere Sicherheitsanforderungen an LEV sind wesentlich geringer als an Pkw, einige Mindeststandards sind jedoch umzusetzen. So sind Sicherheitsgurte bei drei- und vierrädrigen Fahrzeugen der Klasse L zwingend einzubauen, wenn das Fahrzeuggewicht (ohne Antriebsbatterien) 270 kg überschreitet.

Obwohl in Europa für Kleinfahrzeuge der Klasse L und darunter keine Crashtests gesetzlich vorgeschrieben sind,

testete der Euro NCAP¹ in zwei Versuchsreihen 2014 und 2016 insgesamt acht Kleinfahrzeuge der Klassen L6e und L7e (Benziner und Elektrofahrzeuge) mit speziellen Crashtests. Alle 2014 getesteten Leichtfahrzeuge zeigten kritische Sicherheitsmängel. Auch die zwei Jahre später durchgeführte Testreihe zeigte keine wesentlichen Verbesserungen. Vorhandene Rückhaltesysteme wurden als unzureichend bewertet. Gemäß Euro NCAP könnte allerdings bereits mit einfachen Konstruktionsänderungen ein wesentlich besserer Insassenschutz erzielt werden (Euro NCAP 2016).

Bei der Bewertung der Sicherheit von LEV ist relevant, womit die Fahrzeuge verglichen werden (z. B. Pkw oder Roller) und in welchem Umfeld sie eingesetzt werden sollen. So stellen manche Fahrzeuge in Tempo 30-Zonen ein recht sicheres Verkehrsmittel dar, werden jedoch bei hohen Geschwindigkeiten, z. B. auf Bundesstraßen als eher unsicher eingestuft. Diese Einschätzung entspricht den Ergebnissen der Unfallstatistik, nach der Unfälle mit Getöteten überproportional häufig auf Landstraßen stattfinden (Statistisches Bundesamt 2017). Bei Kollisionen mit Pkw oder Lkw sind LEV mit ihrer geringen Masse schon aufgrund physikalischer Gesetze im Nachteil. Hinzu kommt häufig eine geringe Sicherheitsausstattung.

Das Thema Sicherheit stellt ein zentrales Kauf- bzw. Nutzungskriterium dar. Die Bedeutung von Sicherheitsaspekten von Fahrzeugen variiert allerdings bei unterschiedlichen Käufergruppen. Während bei drei- und vierrädrigen LEV die Sicherheit vielfach als Kaufhemmnis genannt wird, sind Motorräder erfolgreich am Markt. Dabei sind auch für sie keine Crashtests vorgeschrieben und Maximalgeschwindigkeiten nicht begrenzt.

¹ Die Organisation European New Car Assessment Programme (Europäisches Neuwagen-Bewertungs-Programm) führt unabhängig von gesetzlichen Vorgaben Crashtests durch und liefert Informationen über die Sicherheit von Neufahrzeugen. Die durchgeführten Tests dienen der Verbraucherinformation.

Rechtlicher Rahmen zur Nutzung von LEV

Für die Nutzung der Fahrzeuge sind Führerschein-Anforderungen und Bedingungen für eine nötige Versicherungs- und Zulassungspflicht verschiedenartig geregelt. Während sich die Fahrerlaubnisklasse nach Fahrzeugeigenschaften, wie z. B. der Nenndauerleistung oder der Höchstgeschwindigkeit richtet, ist die Versicherungs- und Zulassungspflicht an die Fahrzeugunterklasse gebunden. Diese Differenzen erschweren einen einfachen Einstieg in die Thematik und können eine Hürde für die Nutzung der Fahrzeuge darstellen.

Führerschein-Anforderungen

Regulierungen zu Führerschein-Anforderungen der unterschiedlichen Fahrzeuge sind in der Richtlinie 2006/126/EG des Europäischen Parlaments verankert. Ländern der EU ist es bei der Implementierung in nationales Recht möglich, im Rahmen des aufgeführten Handlungsspielraums der Richtlinie nationale Vorgaben zu machen, die sich von denen anderer EU-Länder unterscheiden.

Für die Nutzung eines L7e-Fahrzeuges ist ausschließlich ein Führerschein Klasse B zugelassen. Für die weiteren Klassen L2e, L5e und L6e sind die Fahrzeugklassen nicht eindeutig den Fahrerlaubnisklassen zuzuordnen. Letztere richten sich vielmehr nach Spezifika des einzelnen Fahrzeugs und beinhalten zum Beispiel unterschiedliche Nenn-dauerleistungen oder in der Klasse AM ein Gewicht bis 350 kg (ohne Gewicht der Batterien) und eine Geschwindigkeit bis einschließlich 45 km/h. Im Gegensatz zu diesen Werten ist das Gewicht der Klasse L5e auf 1.000 kg limitiert und die Höchstgeschwindigkeit ist gänzlich unbegrenzt. In einigen Fällen sind jedoch mehrere Fahrerlaubnisklassen möglich, da sie andere Klassen einschließen. So sind in einem A-Führerschein auch AM, A1 und A2 enthalten. Der Mofa-Führer-

Tabelle 2: Fahrerlaubnisklassen, Mindestalter und Bedingungen bezüglich Krafträder mit Elektromotoren

Mindestalter	Fahrerlaubnisklasse, eingeschlossene Klasse	Weitere Bedingungen
15	M	Fahrzeuge unter 25 km/h (ohne Treten)
16	AM	Zweirädrige Kleinkrafträder, Fahrräder mit Hilfsmotor Dreirädrige Kleinkrafträder, vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge bis 350 kg (ohne Gewicht der Batterien) bis 45 km/h, Leistung bis 4 kW
16	A1 AM	Leichtkrafträder Bis 11 kW Leistung und bis 0,1 kW Leistung je Kilogramm Dreirädrige Kfz bis 15 kW Leistung
18	A2 AM, A1	Krafträder (beschränkt) Bis 36 kW und bis 0,2 kW Leistung je Kilogramm
20	A AM, A1, A2	Krafträder (unbeschränkt) 2 Jahre Vorbesitz A2, bei Direkteinstieg: Mindestalter 24 Dreirädrige Kfz über 15 kW (Mindestalter: 21)

Quelle: eigene Darstellung

schein (M) für Fahrzeuge unter 25 km/h (ohne Treten) ist hingegen bereits ab 15 Jahren verfügbar.

Das Mindestalter für die Fahrerlaubnisklassen und die dazu zugänglichen Fahrzeuge sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die von der EU vorgegebene Altersgrenze kann von den Mitgliedsstaaten zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit erhöht werden. Ein Herabsetzen ist nur unter „außergewöhnlichen Umständen“ möglich.

Vorschriften für Anmeldung und Versicherung

Für die Zulassung eines Fahrzeuges gilt das nationale Recht durch die Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV). Demnach sind dreirädrige Krafträder mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit über 45 km/h oder einer Nenndauerleistung über 4 kW zulassungspflichtig. Dasselbe gilt für vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge mit einer Leermasse über 350 kg und einer Höchstgeschwindigkeit von über 45 km/h oder einer maximalen Nenndauerleistung von 4 kW.

Gemäß dem Pflichtversicherungsgesetz sind alle zulassungsfreien Kraftfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von über 6 km/h versicherungspflichtig und benötigen somit ein Versicherungskennzeichen. LEV, die hingegen eine Zulassungsbescheinigung benötigen, müssen ein amtliches Kennzeichen führen. Das KBA verwendet folgende Aufteilung:

Zulassungsfreies Kraftrad mit Versicherungskennzeichen (hier nur drei- und vierrädrige Fahrzeuge)

- Kleinkraftrad
 - Klasse L2e (dreirädrig, bis 45 km/h oder 4 kW)
- Leichtkraftfahrzeug
 - Klasse L6e (vierrädrig, unter 350 kg Leergewicht ohne Batterie und bis 45 km/h)

Zulassungspflichtiges Kraftrad mit amtlichen Kennzeichen

- Drei- und leichtes vierrädriges Kraftfahrzeug
 - Klasse L5e (dreirädrig, über 45 km/h)

Abbildung 2: BMW Isetta 250 und Microlino



- Klasse L7e (vierrädrig, bis 400 kg Leergewicht Personenbeförderung / 550 kg Leergewicht Güterbeförderung ohne Batterie und bis 15 kW)

4. Verbreitung von LEV

Die anhaltende Motorisierung in Deutschland schlägt sich neben dem zunehmenden Kfz-Bestand auch in stärkeren Motoren und größeren bzw. schweren Fahrzeugen nieder. Insbesondere in den 1950er Jahren machten Krafträder mit einem Anteil von etwas über 50 % noch den Großteil des Fahrzeugbestands aus. Die Kleinwagen mit einer Kabine als Witterungsschutz schlossen die Lücke zwischen günstigen Krafträdern und den damaligen Pkw.

Historie: Kleinwagen früher und heute

LEV zeichnen sich durch ihre geringe Größe und individuelles Erscheinungsbild aus. Diese Art von Fahrzeugen erlebte bereits in den 1950er Jahren einen Durchbruch, war damals allerdings noch mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet. Deutsche Automobilhersteller brachten in den Nachkriegsjahren die sogenannten Rollermobile auf den Markt. Die Mischung aus Motorrad und Automobil konnte zu einem kleinen Preis angeboten werden und befriedigte so die Nachfrage nach wettergeschützten Fahrzeugen trotz der niedrigen wirtschaftlichen Kaufkraft. Zu den bekanntesten Modellen dieser Zeit zählen die BMW Isetta, der Kabinenroller von Messerschmitt und das Goggomobil.

Die in den Jahren von 1956 bis 1962 mit einer Stückzahl von 160.000 verkauften Kleinwagen BMW Isetta 250 und 300 erlebten im Jahr 2018 eine Renaissance durch den elektrisch angetriebenen Microlino, dessen Markteintritt für 2019 angekündigt ist (Rosellen 1977). Und auch andere Fahrzeuge, wie z.B. der estländische elektrisch betriebene Nobe, orientieren sich an dem Fahrzeugdesign aus den 1950er Jahren.



Quellen: BMW Group Archiv, Micro Mobility Systems AG

Erste Anfänge der elektrisch betriebenen Klein- und Leichtfahrzeuge waren unter anderem 1987 und 1989 mit dem City EL oder dem Hotzenblitz zu sehen. Seitdem erschien eine Vielzahl von Modellen auf dem Markt. Ein Vergleich von Konzeptfahrzeugen zeigt eine Bündelung um die Jahre 2010 bis 2012. Fahrzeugkonzepte für wachsende Städte und die Fortschritte der Batterietechnologien im Bereich von Lithium-Ionen-Batterien sowie Aufschwünge der Elektromobilität durch Serienfahrzeuge können als Gründe hierfür genannt werden. Seit 2017 sind wieder einige Konzepte großer Autohersteller, wie z. B. Seat, Citroen, Toyota oder Honda, zu sehen. Sie beschäftigten sich vor dem Hintergrund von Umweltauflagen, wie z. B. die beschränkte Einfahrt in Städte, mit dem Thema. Auch weltweit agierende Automobilzulieferer wie Schaeffler und Bosch entwickeln eigene Fahrzeugkonzepte oder bieten Fahrzeugkomponenten wie Antriebs- und Bremssysteme an. Das bekannteste Serienmodell im Bereich der LEV ist der Renault Twizy. Generell ist erkennbar, dass am Markt darüber hinaus weitestgehend kleine Hersteller oder Start-ups vertreten sind.

Während in den 1950er Jahren eine klare Lücke für eine weitere Fahrzeugkategorie gefüllt wurde, sind die Grenzen heute verschwommen. Während Klein- und Leichtfahrzeuge damals als klare günstige Variante für die alltägliche Mobilität gesehen wurde, nehmen sie heute, insbesondere mit elektrischem Antrieb, eine Marktnische ein.

Verbreitung der LEV heute

Da die nationalen Definitionen und Regulierungen für die Homologation dieser Fahrzeuge sehr unterschiedlich sind, ist ein Überblick über die Marktsituation der LEV auf den Weltmärkten sehr schwierig. Bei den vierrädrigen LEV stellt China jedoch eindeutig den größten Markt dar. Der LEV-Bestand kann aufgrund fehlender Regulierung zwar nur geschätzt werden, allerdings wird im Jahr 2017 von ca. 4 Millionen Fahrzeugen ausgegangen (International Energy Agency

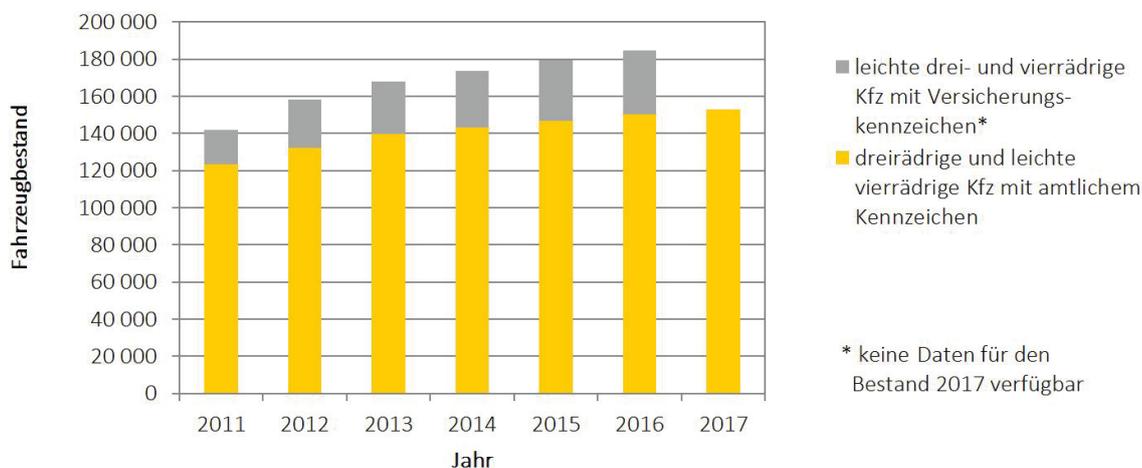
2017). Von den als Tuk-Tuks bekannten dreirädrigen Fahrzeugen sind in Indien im Jahr 2018 ungefähr 1,5 Millionen batterieelektrisch betrieben (Ward und Upadhyay 2018). Mit knapp 500.000 Fahrzeugen (Stand 2011) liegen die USA bei den LEV deutlich darunter (Hurst und Wheelock 2011). Allerdings werden diese Fahrzeuge häufig in abgegrenzten Bereichen wie auf Universitätsgeländen eingesetzt.

In Europa sind die Definitionen durch die europäische Richtlinie zwar einheitlich geregelt, dennoch ist die Datenbasis für eine vergleichende Betrachtung der Mitgliedsstaaten auch hier problematisch. Der Europäische Verband der Motorradhersteller (ACEM) liefert Daten zu vierrädrigen elektrischen LEV, allerdings sind in den Zahlen nur die Verkäufe der Verbandsmitglieder eingeschlossen. Eine Gesamtübersicht der jährlichen Verkaufszahlen zeigt einen stetigen Anstieg auf insgesamt 30.500 LEV im Zeitraum von 2011 bis 2018. Hauptabsatzmärkte sind sowohl für den Twizy als auch für die übrigen vierrädrigen Fahrzeuge Italien, Frankreich, Deutschland und Spanien (ACEM 2019; Groupe Renault 2019).

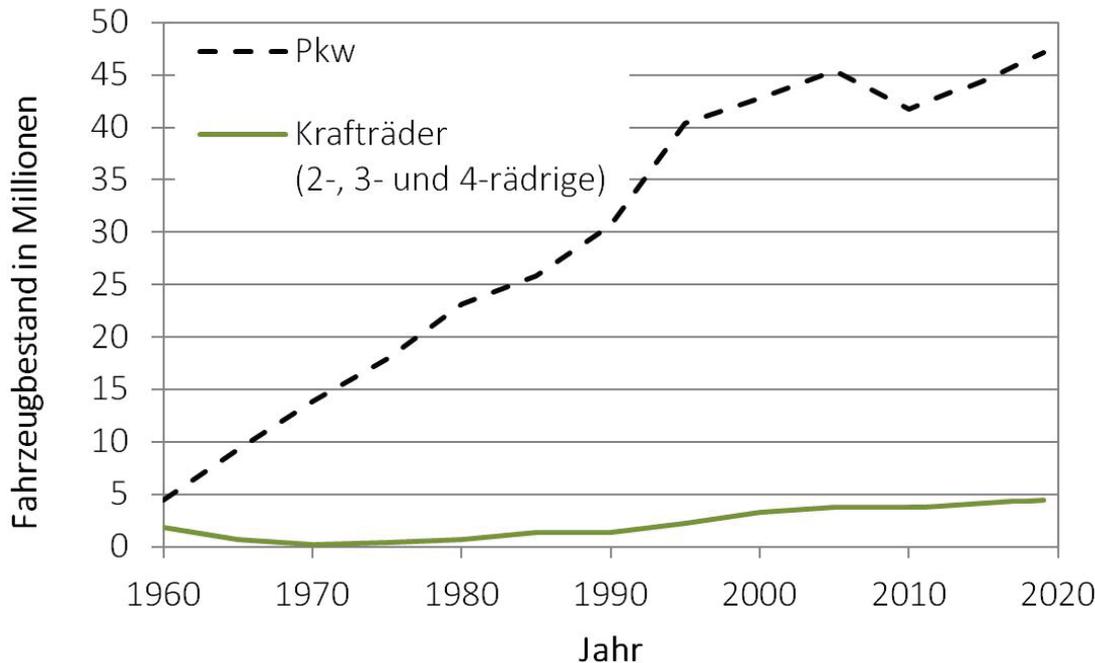
In Deutschland waren im Jahr 2016 rund 180.000 drei- und vierrädrige Fahrzeuge der Klasse L zugelassen. Dieser Bestand beinhaltet sowohl Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor als auch mit Elektroantrieb. Darunter sind rund 35.000 Fahrzeuge mit Versicherungskennzeichen, also ohne amtliches Kennzeichen, wie Pkw es führen müssen (Abbildung 3). Statistische Daten zu elektrischen drei- und vierrädrigen Leichtfahrzeugen ohne amtliches Kennzeichen sind weder beim KBA noch beim Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) verfügbar. Ab dem Jahr 2017 ist laut KBA eine Aufteilung der Fahrzeuge mit Versicherungskennzeichen generell nicht mehr möglich (siehe Nutzerinformation KBA vom 29.01.2018), somit werden drei- und vierrädrige Fahrzeuge nicht mehr getrennt von zweirädrigen Fahrzeugen ausgewiesen.

Der Bestand an Leichtfahrzeugen nimmt kontinuierlich zu. So hat sich der Bestand an Krafträdern einschließlich der

Abbildung 3: Bestand von drei- und vierrädrigen leichten Fahrzeugen mit amtlichem Kennzeichen und mit Versicherungskennzeichen in Deutschland (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Elektroantrieb)



Quelle: DLR, Datenbasis: Statistisches Bundesamt 2017

Abbildung 4: Entwicklung des Fahrzeugbestands von Krafträdern und Pkw in Deutschland von 1960 bis 2019

Quelle: Grafik DLR, Daten: Kraftfahrt-Bundesamt 2019

zwei-, drei- und vierrädrigen Klein- und Leichtfahrzeuge in den letzten 60 Jahren grob verdoppelt. Die in den Daten der Krafträder enthaltenen zweirädrigen Fahrzeuge stellen dabei den größten Anteil dar. Der Bestand von Pkw stieg im gleichen Zeitraum deutlich mehr und hat sich mehr als verzehnfacht. Abbildung 4 zeigt, wie sich das Verhältnis von Pkw zu Krafträdern im Laufe der Jahre verändert hat.

5. Einsatzmöglichkeiten im Personen- und im Wirtschaftsverkehr

Im Personen- und im Wirtschaftsverkehr ergeben sich entlang des Mobilitätsverhaltens von Personen und der Ausübung ihrer privaten und beruflichen Aktivitäten verschiedene Einsatzgebiete von LEV. Diese werden im Folgenden diskutiert.

LEV im Personenverkehr

Im Personenverkehr könnten LEV wie andere Verkehrsmittel im Privatbesitz, beispielsweise der Pkw, für die Mobilität im Alltag eingesetzt werden. LEV könnten, sofern die Modelleigenschaften dies zulassen, auf gesamten Ausgängen, also z. B. von Zuhause zur Arbeit, danach zum Sport und wieder am Abend nach Hause, genutzt werden. Besonders auf kürzeren Ausgängen stellen LEV eine wetter- und topografieunabhängige Verkehrsmittellösung dar, da sie, anders als beispielsweise das Fahrrad, nicht durch pure Muskelkraft betrieben werden und oftmals über einen Wetterschutz

verfügen. Viele LEV-Modelle bieten zudem die Möglichkeit, Güter zu transportieren, wodurch sie auch für (kleinere) Einkäufe geeignet sind. Aufgrund des im Vergleich zum Pkw geringeren Flächenverbrauchs sind LEV auch in Stadtbereichen mit niedriger Parkplatzverfügbarkeit eine interessante Verkehrsmittelalternative.

Außerdem könnten LEV im Personenverkehr auch auf Teilabschnitten von Wegen, so genannten Etappen, genutzt werden. Dies ist beispielsweise auf der ersten oder letzten Meile eines Weges mit dem Öffentlichen Verkehr möglich, d. h. auf der Etappe zwischen der Haltestelle des Öffentlichen Verkehrs und dem Start- oder Zielort des Weges. Bei einem solchen Einsatzgebiet wäre es denkbar, dass LEV in Sharing-Konzepten angeboten werden. Ähnlich wie bei aktuellen Bike-Sharing-Konzepten könnten an Haltestellen des öffentlichen Verkehrs Abstellmöglichkeiten installiert werden, sodass ein einfaches und schnelles Umsteigen in den ÖV gewährleistet ist.

Ein weiteres Einsatzgebiet sind Tourismusverkehre. Gerade in autofreien Tourismusgebieten, z. B. Naturparks, stellen LEV eine Alternative zum Fahrrad oder Auto für die Mobilität von Touristen dar.

LEV im Wirtschaftsverkehr

Im Wirtschaftsverkehr könnten LEV bei Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP-Dienste), Bringdiensten, im Werkverkehr sowie im Serviceverkehr Einsatz finden. Bei den KEP-Dienstleistungen ist eine Anwendung von LEV bei eiligen B2B-Sendungen (Kurier oder Express) denkbar. Ein

Einsatz in der Endkundenzustellung von Paketen ist zwar prinzipiell denkbar, allerdings bieten derzeit nur wenige der verfügbaren LEV, beispielsweise der ALKE ATX, ein ausreichendes Ladevolumen an. Ebenfalls häufiger eingesetzt werden könnten LEV bei Bringdiensten, insbesondere bei der Zustellung von zubereiteten Speisen, da hier nur eine geringe Transportkapazität benötigt wird. Spezialisierte Einzelhändler könnten Auftraggeber von Bringdiensten werden, die eine Zeitfensterzustellung (etwa innerhalb von zwei Stunden) zum Endkunden via LEV anbieten.

LEV eignen sich auch in Werkverkehren; hierunter sind Verkehre auf größeren Betriebsgeländen oder Wohnanlagen sowie der Transport zwischen verschiedenen Standorten einer Organisation zusammengefasst. Da es sich hierbei häufig um regelmäßige und planbare Ausgänge mit homogenem Güteraufkommen handelt, ließen sich diese gut an die begrenzten Reichweiten und Ladekapazitäten von LEV anpassen.

Serviceverkehre oder Personenwirtschaftsverkehre sind eine heterogene Kategorie, bei der nicht die Raumüberwindung eines Gutes, sondern die Ausführung einer Dienstleistung am Zielort im Vordergrund steht. Für diese Dienstleistung wird das Mitführen von Arbeits- oder Verbrauchsmaterial benötigt. LEV sind gut für Dienstleistungen mit geringem Materialbedarf geeignet, beispielsweise Stadtreinigung und Grünpflege, Hausmeister- und Facility-Services, Techniker oder Pflegedienste.

6. Fazit

Ein hoher Anteil von LEV am motorisierten Verkehr hätte Vor- und Nachteile. Zu den Nachteilen bei der Nutzung zählen derzeit ein geringerer Insassenschutz, eine geringere Flexibilität bezüglich transportierbarer Personenanzahl und Ladevolumen sowie eine geringere Komfortausstattung als bei Pkw. Gesellschaftlich kann je nach Sichtweise negativ bewertet werden, dass LEV auch für Wege genutzt werden, die bislang zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem ÖPNV vorgenommen wurden. Die Gefahr einer Verlagerung dieser Wege auf LEV muss in Überlegungen zu einer Förderung berücksichtigt werden, da diese Umstiege nicht zu einer nachhaltigeren Gestaltung der Verkehrsnachfrage führen. Als Vorteile sind den genannten Nachteilen gegenüber zu stellen, dass LEV in der Herstellung und im Betrieb im Vergleich zum Pkw ressourcensparend und energieeffizient sind. Somit könnten sie einen Baustein zur Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor darstellen. Sie bieten zudem das Potenzial einer lokal emissionsfreien, leisen, individuellen Mobilität und lassen dabei im städtischen Umfeld mehr Platz für andere Nutzungen.

Insbesondere der Blick auf die Verbreitung der LEV in Asien zeigt, dass dieses Fahrzeugsegment einen erheblichen Anteil am Verkehrsaufkommen erbringen kann. Auch in Deutschland sind einige Fahrzeugmodelle verfügbar. Ihre Verbreitung ist jedoch sehr gering. LEV werden seit über

sechs Jahren ohne signifikanten Anteil am Fahrzeugmarkt angeboten. Vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor gibt es bereits seit Jahrzehnten, ihr Marktanteil ist jedoch immer kleiner geworden. Die Entwicklungen der letzten Jahre weisen darauf hin, dass eine stärkere Verbreitung der LEV nicht von selbst geschehen wird. Die im Rahmen der Studie befragten Fachleute machten deutlich, dass aus ihrer Sicht LEV nur mit umfassender Unterstützung, z.B. durch Gesetzgebung, einen nennenswerten Anteil an den Wegen und der Verkehrsleistung erreichen werden und erfolgreich im Verkehrssystem etabliert werden können. Erforderlich wären Änderungen der Rahmenbedingungen im Verkehr mit Maßnahmen in den Handlungsfeldern Fahrzeugtechnik (z. B. der Sicherheit), bei rechtlichen Anforderungen (Vereinfachung der Zulassungsregelungen und der Fahrerlaubnis) sowie bei der Nutzung (reservierte Fahrspuren, Verringerung der Geschwindigkeitsunterschiede zu Pkw, Erleichterungen beim Parken). Dabei sollten bei Fördermaßnahmen ganzheitliche Mobilitätskonzepte den oben genannten Nachteilen entgegenwirken bzw. sie ausgleichen und regulatorische Maßnahmen durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unterstützt werden.

Die Studie „Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge: Chancen und Potenziale für Baden-Württemberg“ wird im Herbst 2019 von der e-mobil Baden-Württemberg veröffentlicht. Hier in Auszügen wiedergegeben ist ein Überblick über die Fahrzeuge und der Regulierung ihrer Zulassung und Nutzung. In der vollständigen Studie werden diese Inhalte vertieft dargestellt und zusätzlich Nutzungspotenziale und verkehrliche Wirkungspotenziale von LEV anhand der Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 untersucht sowie die Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale in Baden-Württemberg diskutiert.

Literaturverzeichnis

ACEM. 2019. „Motorcycle, Moped and Quadricycle Registrations in the European Union – 2010-2018“.

Aixam Deutschland. 2019. „AIXAM eCITY PACK“. AIXAM. Abgerufen 8. Mai 2019 (<https://aixam.de/fahrzeuge/eaixam/ecity-pack/>).

Alkè. 2018. „ATX 320 E Technical Specs“. Abgerufen 8. März 2019 (<https://www.alk.com/doc/technical-specs-alk-ATX320E.pdf>).

Euro NCAP. 2016. „Euro NCAP | 2016 Sicherheit von Leichtkraftfahrzeugen“. Abgerufen 8. März 2019 (<https://www.euroncap.com/de/fahrzeugsicherheit/sicherheitskampagnen/2016-sicherheit-von-leichtkraftfahrzeugen/>).

Groupe Renault. 2019. „Ventes Mensuelles – Statistiques commerciales mensuelles du groupe Renault“. Abgerufen

(<https://group.renault.com/finance/informations-financieres/chiffre-cles/ventes-mensuelles>).

Hurst, David und Clint Wheelock. 2011. Neighborhood Electric Vehicles – Low-Speed Electric Vehicles for Consumer and Fleet Markets. Research Report. Boulder, Colorado: PikeResearch.

International Energy Agency. 2017. „World Energy Outlook 2017“, London, UK.

Kraftfahrt-Bundesamt. 2019. „Kraftfahrt-Bundesamt – Fahrzeugklassen und Aufbauarten – Bestand in den Jahren 1960 bis 2019 nach Fahrzeugklassen“. Abgerufen 6. Mai 2019 (https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/b_fzkl_zeitreihe.html).

KYBURZ Switzerland AG. 2019. „DXP 4 – Das wendige Zustellfahrzeug | KYBURZ“. Abgerufen 7. März 2019 (<https://kyburz-switzerland.ch/de/dxp4>).

Micro Mobility Systems AG. 2019. „Microlino: this is not a car!“ Abgerufen 8. März 2019 (<https://www.micro-mobility.com/de/micro-erleben/microlino>).

Renault Deutschland AG. 2018. „Produktbroschüre: Renault Twizy – Preise und Ausstattungen“.

Rosellen, Hanns Peter. 1977. Deutsche Kleinwagen nach 1945, geliebt, gelobt und unvergessen... Gerlingen: Bleicher Verlags-KG.

Statistisches Bundesamt. 2017. „Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2017“. Abgerufen 6. März 2019 (https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408177004.pdf?__blob=publicationFile&v=4).

StromDrive. 2017. „Stromdrive | Erhältliche und geplante Elektrofahrzeuge ab Werk“. Abgerufen 30. April 2019 (https://www.stromdrive.de/6-0-AIXAM-eAIXAM.html?id_ecar=65&prototyp=Verkauf).

Twike. 2019. „TWIKE – Twike 5 und Twike 3 im Vergleich“. Abgerufen 8. März 2019 (http://twike.com/de/detail.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=101&cHash=8017dff389ddc04def89da5cd222ee).

Ward, Jill und Anindya Upadhyay. 2018. „India’s Rickshaws Outnumber China’s Electric Vehicles – Bloomberg“. Bloomberg. Abgerufen 12. Februar 2019 (<https://www.bloomberg.com/news/features/2018-10-25/india-s-rickshaws-outnumber-china-s-electric-vehicles>).

Autorinnenangaben

Mascha Brost, Dipl.-Ing. MDes.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Projektleiterin der vorgestellten LEV Studie
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte
Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart
mascha.brost@dlr.de

Amelie Ewert, M. Eng.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte
Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart
amelie.ewert@dlr.de

Dr.-Ing. Christine Eisenmann

Gruppenleiterin Transformation der Automobilität
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin
christine.eisenmann@dlr.de

Sylvia Stieler, Diplom-Sozialwirtin und lic. rer. reg.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
IMU Institut GmbH
Hasenbergstraße 49, 70176 Stuttgart
sstieler@imu-institut.de

Katja Gicklhorn M.A.

Leiterin Industrialisierung und Cluster Elektromobilität Süd-West
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotiv Baden-Württemberg (e-mobil BW)
Leuschnerstraße 45, 70176 Stuttgart
katja.gicklhorn@e-mobilbw.de

Internetbasierte Mobilitätsdienste – Ein Lösungsansatz zur effizienten individuellen Mobilität?

Thomas Schuster*, Lukas Waidelich

Hochschule Pforzheim, Institut für Smart Systems und Services, Tiefenbronner Str. 65, 75175 Pforzheim, Deutschland

Abstract

Mobilität ist durch Individualverkehr geprägt. Dies prägt nach wie vor die Infrastrukturentwicklung unserer Städte. Das Modell der autofreundlichen Stadt hat sich stark weiterentwickelt, offenbart jedoch Effizienzschwächen. In aufstrebenden Metropolen mit hohen Wachstumsraten verschärft sich dies. Neben Überlastung ist Umweltverschmutzung ein Hauptproblem. In diesem Artikel geben wir einen Überblick über neue, digitale Mobilitätsdienste, die auch intermodale Angebote beinhalten und diskutieren mögliche Auswirkungen.

Schlagwörter/Keywords:

Mobilität, Intermodale Mobilität, Sharing Economy, Digitale Dienstleistungen, Mobilitätsdienstleistungen

1. Einleitung

Bevölkerungswachstum und zunehmendes Verkehrsaufkommen sowohl durch individuelle Mobilität als auch durch Frachtlogistik führen zu Staus und Verschmutzung [1]–[3]. Vor allem Metropolen leiden unter diesen Auswirkungen. Dort wird ein großer Teil dieser Probleme durch Automobile verursacht. Im Laufe des 20. Jahrhunderts entstand das Modell einer autofreundlichen Stadt und wurde seither weiterentwickelt. Insbesondere in den Industrieländern dominieren Autos die Infrastrukturentwicklung. Gebiete mit mehr als 800.000 Einwohnern leiden unter Stauspitzen, wie der TomTom Traffic Index [4] zeigt. Die Kennzahl Stau-Level zeigt den Anstieg der gesamten Reisezeit in Relation zu einer staufreien Situation. Das allgemeine Stau-Level ist beachtlich hoch. Speziell im Feierabendverkehr ist das Pendeln mit dem Auto typischerweise staubelastet (vgl. Tabelle 1), dennoch zeigt sich hier bislang wenig Änderungsverhalten seitens der Bürger. Daher konzentriert sich die Verkehrsplanung und das Verkehrsmanagement in der Regel auf die Straßenplanung, den Straßenbau und die Entwicklung von zentralisierten Verkehrsleitsystemen. Gleichzeitig veranlasst diese Entwicklung den öffentlichen Sektor aber auch, alternative Verkehrsmittel zu fördern und bereitzustellen. Öffentliche Verkehrsmittel werden beispielsweise auf kommunaler, regionaler oder nationaler Ebene gefördert.

In einigen Ländern, wie bspw. im Vereinigten Königreich, werden öffentlich-private Partnerschaften für den Betrieb des öffentlichen Verkehrs geschlossen. Manchmal werden Vorschriften oder Sanktionen des Individualverkehrs zur Unterstützung alternativer Verkehrsträger erlassen. Ein bekanntes und zugleich erfolgreiches Beispiel ist die Londoner City-Maut [5]. Durch die Gebühr kann der Verkehr, der durch Autos verursacht wird, um 14% und Staus um 30% reduziert werden [5]. Ein anderes Beispiel für die geplante Unterstützung anderer Verkehrsträger sind die vom deutschen Staat erlassenen Vorschriften. So versuchte das Bundesverkehrsministerium Ende der 1950er Jahre, den schienengebundenen Güterverkehr zu unterstützen, indem es die maximale Größe von Lastkraftwagen und Anhängern reduzierte. Dies erwies sich jedoch als unwirksam, da die Hersteller einen neuen Lkw-Typ entwickelten, mit dem eine kleinere Fahrerkabine eine größere Beladung ermöglichte. Zweifelsohne gibt es viele weitere Beispiele, bei denen der öffentliche Sektor versucht oder erfolgreich die Wahl des Verkehrsmittels der Bürger beeinflusst hat. Bei der individuellen Mobilität hingegen sanken die Kosten für den Kauf und den Betrieb von Autos im Vergleich zum Durchschnittslohn. Dies förderte den Kauf und die Nutzung von Automobilen. Die aktuelle Diskussion und Förderung von Elektromobilität kann zwar einen Beitrag zur Reduktion lokaler Verschmutzung leisten, zeigt jedoch keinen Einfluss auf die Stau-Situ-

* Korrespondierender Autor.

E-Mail: thomas.schuster@hs-pforzheim.de (T. Schuster)

ation, da es sich lediglich um einen Wechsel des Antriebsstrangs handelt.

In diesem Artikel werden wir uns auf die individuelle Mobilität konzentrieren und den Einfluss von digitalen Mobilitätsdiensten und Assistenten beleuchten. Der Artikel ist wie folgt strukturiert: In Abschnitt 2 werden einige Statistiken vorgestellt, die sich auf die Nutzung und Veränderung der Verkehrsträger konzentrieren. Darüber hinaus werden wir die damit in Verbindung stehenden Arbeiten zur Verringerung der Verkehrsstaus diskutieren. Die Herausforderungen, die sich aus diesen Erkenntnissen ergeben, werden in Abschnitt 3 erläutert. In Abschnitt 4 werden Mobilitätsdienstleistungen vorgestellt, die eine weitere Verschiebung der Transportauslastung versprechen und damit die Gesamtsituation verbessern könnten. Abschnitt 5 dieses Artikels fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Das letzte Kapitel schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten ab.

2. Verwandte Arbeiten

In diesem Abschnitt werden wir die aktuelle Situation anhand von Verkehrsdaten analysieren und die damit verbundenen Arbeiten diskutieren. Der nächste Unterabschnitt enthält statistische Daten über die Verkehrsentwicklung und das Mobilitätsverhalten. Insbesondere die monomodale Fahrzeugauslastung und das intermodale Fahrverhalten stehen dabei im Fokus. Im zweiten Teilabschnitt werden bekannte Ansätze zur Reduzierung von Staus vorgestellt.

2.1 Verkehrsstatistiken

Regionen mit hohen Wirtschaftswachstumsraten, zu meist in Entwicklungsländern, leiden am meisten unter der Verkehrsüberlastung (vgl. Tabelle 1 und [1]).

Tabelle 1: Stau-Level der Top 10 Städte global [4]

Rang	Stadt	Stau-Level			
		Allgemein	+/-	Morgens	Abends
1	Mexiko City (MEX)	66%	7%	96%	101%
2	Bangkok (THAI)	61%	4%	91%	118%
3	Jakarta (INO)	58%	-	63%	95%
4	Chongqing (CHN)	52%	14%	90%	94%
5	Łódź (PL)	51%	-3%	65%	88%
6	Bukarest (RUM)	50%	7%	90%	98%
7	Istanbul (TRK)	49%	-1%	63%	91%
8	Chengdu (CHN)	47%	6%	74%	79%
9	Rio de Janeiro (BRA)	47%	0%	63%	81%
10	Tainan (TWN)	46%	10%	51%	71%
11	Peking (CHN)	46%	8%	72%	84%
12	Changsha (CHN)	45%	8%	70%	82%
13	Los Angeles (USA)	45%	4%	62%	84%
14	Moskau (R)	44%	0%	71%	94%
15	Guangzhou (CHN)	44%	7%	58%	85%

Dies ist typischerweise mit einem signifikanten Anstieg der PKW-Nutzung verbunden. So ist beispielsweise in China der Absatz von Kraftfahrzeugen deutlich angestiegen (von 2008 bis 2018 um das 3-fache – nur PKW: um das 3,5-fache, nur LKW: um das 1,7-fache, siehe [6]). Im Gegensatz dazu nahm die relative Bedeutung des Personenkraftwagens als Hauptverkehrsmittel im Personenverkehr in 15 Mitgliedsstaaten der EU zuletzt etwas ab. An der Spitze dieser Entwicklung steht Frankreich (im Zeitraum 2010 bis 2016 sank der Pkw-Anteil um 4%), gefolgt von der Slowakei (3,2%) und der Schweiz (3%). Die Entwicklung der anteiligen Verkehrsmittelnutzung aus der letzten Dekade ist in Abbildung 1 für zehn EU-Länder dargestellt [6].

Verglichen mit früheren Untersuchungen werden Personen heute weniger von nur einem einzigen Verkehrsmittel angesprochen. Während Autos immer noch dominant sind, beobachten wir Veränderungen und stellen die Zunahme alternativer Verkehrsträger (z.B. Schiene und Fahrrad) fest. Beide Veränderungen stehen oft im Zusammenhang mit Sharing Economy-Konzepten und internetbasierten Mobilitätsdiensten. Wie in Abbildung 2 dargestellt, nutzen

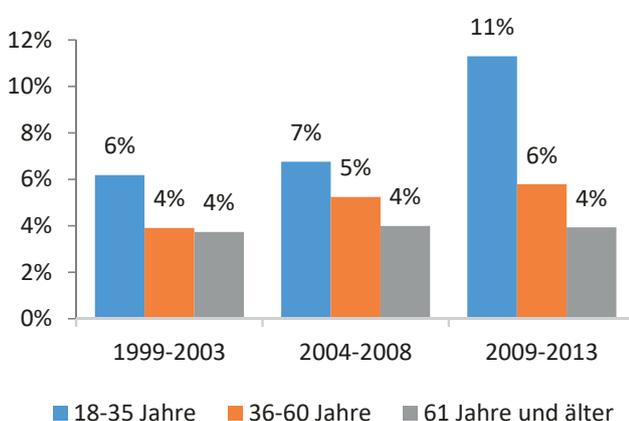
Abbildung 1: Modal Split – Die 10 wichtigsten EU-Länder mit den höchsten Zuwachsraten für Zugverkehr [6]



insbesondere junge Menschen zunehmend mehrere Verkehrsmittel [7]. Sie zeigen zunehmend ein multi- oder sogar intermodales Verkehrsverhalten. Multimodales Mobilitätsverhalten zeigt sich, wenn Personen ihr Hauptverkehrsmittel für längere Fahrten umstellen (z.B. verschiedene Fahrten innerhalb einer Woche). Unter einer intermodalen Beförderung wird eine Kombination mehrerer Verkehrsmittel während einer einzigen Fahrt verstanden, z.B. eine Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln in Kombination mit Fahrrad oder Auto. Außerdem werden anscheinend verschiedene Verkehrsmittel in Bezug auf spezifische Situationen (Kontext der Reise und persönliche Präferenzen) eingesetzt. Darüber hinaus wird die Verkehrsmittelwahl an die spezifische Situation (Kontext der Reise und persönliche Präferenzen) angepasst.

Betrachtet man die für Europa verfügbaren statistischen Daten, so scheint es, dass die Verringerung der monomodalen Fahrzeugnutzung und des erhöhten intermodalen Fahrverhaltens auch mit dem Alter und der Affinität zu Internet-Diensten zusammenhängt. Laut Eurostat [6] weisen internetbasierte Dienste in Ländern, die erfolgreich alternative Verkehrsmittel fördern, höhere Wachstumsraten auf. Im Hinblick auf die Prognosen der allgemeinen modalen Entwicklung ist dieser Aspekt besonders interessant. Zu diesem Zeitpunkt wissen wir, dass jüngere Menschen eher zu intermodalen Verkehrsmustern tendieren. Die Einführung von Sharing-Konzepten und die Internetnutzung stehen in einer Korrelation zueinander. Dennoch ist heute noch immer nicht geklärt, ob hierin auch ein längerfristiger und kausaler Zusammenhang besteht. Offen ist also die Frage, ob diese Menschen ihr Verhalten wieder ändern, wenn sie älter werden, oder ob sie ihre Einstellung beibehalten. Ein weiterer möglicher kausaler Zusammenhang könnte durch das Einkommensniveau oder andere persönliche Präferenzen gegeben sein, auch dies ändert sich typischerweise mit dem Alter.

Abbildung 2: Anteil der Personengruppen mit multimodalem Verkehrsverhalten [7]



2.2 Ansätze zur Verbesserung des Verkehrsflusses

Um die Verkehrsüberlastung zu reduzieren, werden verschiedene Ansätze verfolgt. Dies beinhaltet im Wesentlichen drei verschiedene Ansätze: (1) Verringerung der Verkehrsüberlastung durch die Modernisierung der Infrastruktur, (2) Vermeidung von Verkehrsüberlastung durch intelligente Streckenführung und (3) Verringerung der Verkehrsüberlastung durch alternative Dienste. Letzteres beinhaltet die Idee der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel sowie ein Dienstleistungskonzept, um den Bedarf von individueller Mobilität zu reduzieren.

Infrastrukturveränderungen gehören zum Bereich der städtischen oder regionalen Verkehrsplanung und des Verkehrsmanagements. In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von Forschungsarbeiten durchgeführt, die auf prädiktiver Analytik und Optimierungsmethoden basieren, um die Verkehrsplanung zu verbessern. Verkehrsleitmodelle zur Unterstützung der Infrastrukturplanung erkennen individuelle Verhaltensmuster (einschließlich wann, wo und warum eine Person mobil ist). In einem zweiten Schritt wird das individuelle Verhalten in einem Gesamtsystem zusammengefasst, das Informationen für fundierte Entscheidungen bezüglich Verwaltung, Kontrolle und Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur liefern kann [8], [9]. Im Sinne der Gesellschaft werden diese Berechnungen zur Entscheidungsfindung für öffentliche Investitionen herangezogen. Die Verkehrsplanung basiert in der Regel auf einem hierarchischen Prozess [9], [10], bei dem Entscheidungen der öffentlichen Hand im Sinne einer Verbesserung der Gesamtleistung des Verkehrsnetzes abzielen. In Anbetracht der Tatsache, dass nach wie vor viele Personen individuell und mit dem Automobil unterwegs sind, führen viele dieser Anstrengungen zu Investitionen im Straßenbau.

Da Personen die Verkehrsmittelwahl in Abhängigkeit von Faktoren wie Zweck, Route, Art der Reise, Herkunft und Ziel ihrer Reise sowie persönliche Präferenzen treffen, beschäftigen sich zahlreiche Untersuchungen mit der Routenoptimierung. In diesem Bereich existieren auch zahlreiche Arbeiten für den Güterverkehr. Bei Frachtverkehr und größeren Fahrzeugflotten kann die Routenoptimierung den Spediteuren wertvolle Zeit und Kosten einsparen. Eine optimale Streckenführung resultiert in einem verminderten Kraftstoffverbrauch, was mit einer Reduktion des Kohlendioxidausstoßes einhergeht. Die intelligente Streckenführung wird seit fast 50 Jahren erforscht. Dazu gehört die Idee der Umleitung auf Basis der aktuellen Verkehrssituation und der Vorplanung auf Basis der Verkehrsprognose. Bei der Routenführung auf Basis von Echtzeit-Verkehrsinformationen wird davon ausgegangen, dass Verkehrsstaus durch intelligentes Routenplanung reduziert werden können [11]. In den letzten Jahrzehnten wurden viele verschiedene Algorithmen und Darstellungsformen getestet [12]. Diese Entwicklung wurde in den 60er und frühen 70er Jahren von großen Ballungsgebieten initiiert, die damit begannen, Technologien zur Ver-

kehrüberwachung und Echtzeit-Informationsverbreitung zu entwickeln und zu testen. Heutzutage wird die Verkehrsentwicklung durch Informationen auf Basis von drahtlosen Netzwerken, Smartphones und anderen GPS-Geräten (z.B. fahrzeugintegrierte Systeme) gestützt, die von modernen Informationssystemen und deren Betreibern genutzt werden – im Falle der Navigation wären bspw. TomTom oder Google zu nennen [13]–[15]. In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, dass ein sogenannter Sättigungseffekt eintritt, sobald die Informationen von einer bestimmten Anzahl an Nutzern verwendet wird [16]. Daher wurden Routing-Algorithmen auch um Parkmodelle [17]–[19] und Ad-hoc-Modi [20]–[23] erweitert. Neben mehreren Ansätzen in der Logistik, einschließlich der Routenplanung, wurden auch alternative Transportmittel vorgeschlagen [22], [24]–[26]. Informationen können dazu führen, dass Fahrer die Abfahrtszeiten so anpassen, dass sie die Verkehrsstaus beeinflussen. Neben intelligenten Routing- und Informationssystemen gibt es einen weiteren psychologischen Aspekt. Anwender neigen dazu, Vorschläge anzunehmen, sobald ihre Präferenzen erfüllt sind. Dazu gehören die Gestaltung der Benutzeroberfläche, des Transportmodus (bei Ad-hoc-Entscheidungen), der Kosten, der ungefähren Verzögerung und des Fahrerkomforts.

3. Herausforderungen und Motivation

Einerseits scheinen die Menschen in vielen Metropolen zu akzeptieren, dass sie im Alltag mit Staus zu kämpfen haben. Bei hohen Wachstumsraten der Städte verschlechtert sich diese Situation jedoch weiter. Andererseits scheint es angesichts der aktuellen Wachstumsraten der Metropolregionen und der oben diskutierten Berichte über Verkehrsstaus offensichtlich, dass neue Lösungen zur Verbesserung der gesamten Mobilitätssituation erforderlich sind. Aus diesen Themen lassen sich verschiedene Herausforderungen ableiten, die für die verschiedenen Regionen auf der ganzen Welt relevant sind. Um die aktuellen Probleme zu bewältigen, müssen unter anderem die folgenden vier Herausforderungen thematisiert werden:

1. Serviceangebote, um die Nachfrage an Mobilität zu decken
2. Reduktion des Stau-Levels
3. Möglichkeiten zum Ausbau der Verkehrsinfrastruktur
4. Reduktion von Umweltbelastungen (z.B. Feinstaub und Kohlendioxidemissionen)

Wenn Dienstleistungen den Bedarf (Wunsch) an Mobilität verringern, wäre dies voraussichtlich die beste Lösung, um Staus zu reduzieren und Umweltbelastungen entgegen zu wirken. Inmitten der aktuellen Diskussionen der digitalen Transformation könnten intelligente Dienstleistungen das Arbeits- und Privatleben so verändern, dass die Nachfrage nach Mobilität sinkt. Kundenbesuche und Meetings könn-

ten digital abgehalten werden, um so die Reisetätigkeiten oder das tägliche Pendeln zum Arbeitsplatz zu reduzieren. Im Umkehrschluss könnten Dienstleistungen das derzeit vorherrschende Prinzip umkehren und dafür Sorge tragen, dass Nutzer Waren erhalten, ohne diese aktiv beziehen zu müssen [22], [27]. Ansätze wie Videokonferenzen oder Telearbeit könnten die Mobilität generell reduzieren. Trotz der technologischen Weiterentwicklung konnten diese Ansätze in den letzten Jahren jedoch keine oder nur sehr geringe Auswirkungen erzielen. Stattdessen lassen sich derzeit vor allem in den charakterisierten Metropolen neue und alternative Mobilitätsdienstleistungen beobachten. Diese Dienstleistungen stehen oft im Zusammenhang mit dem Sharing Economy-Konzept, bei denen Personen entweder ihre eigenen Produkte (in diesem Fall in der Regel ein Automobil) mit anderen teilen oder ein kommerzieller Anbieter Produkte zur geteilten Nutzung anbietet. Diese Idee erfreut sich in den letzten Jahren zunehmender Beliebtheit.

4. Mobilitätsdienstleistungen

Betrachtet man die Dienstleistungsebene, so lässt sich festhalten, dass Mobilitätsdienstleistungen für verschiedene Verwendungszwecke angeboten werden. In diesem Artikel wollen wir uns mit einer sehr vielversprechenden Art von Mobilitätsdienstleistungen (Mobility-as-a-Service oder MaaS) befassen, die als Ansatz für einen nachhaltigeren Verkehr vorgeschlagen und gefördert wurde [28]. Wir sind bestrebt, Licht in die aktuelle Marktsituation zu bringen, insbesondere die Erreichbarkeit und mögliche Auswirkungen sind Teil unserer Forschung. MaaS sind typischerweise mit einer Verschiebung weg vom persönlichen Besitz hin zu Mobilitätslösungen verbunden, die als Dienstleistung genutzt werden. Um MaaS-Dienste zu etablieren, setzen öffentliche und private Anbieter oft auf ein zentrales Portal, über das die Fahrten organisiert werden. Im Gegensatz zu Abonnements (z.B. einer monatlichen Gebühr) bezahlen die Personen nach Nutzungsintensität. Konkret fallen bspw. Kosten pro Fahrt, nach Nutzungsdauer und Entfernung sowie in einigen Fällen auch abhängig von der aktuellen Verkehrssituation an. Dies ähnelt typischen Cloud-Angeboten. MaaS wird sowohl für Personen als auch für Güter angeboten. Im Bereich der individuellen Mobilität werden persönliche Präferenzen berücksichtigt, die bei den Angeboten und der Planung von Fahrten berücksichtigt werden. Derzeit sind die Mobilitätsdienste sehr facettenreich ausgeprägt und wie bereits erwähnt oft mit Sharing Economy verbunden. Beispiele sind Ride-Sharing, Car-Sharing, Carpooling, Bikesharing sowie On-Demand-Busdienste. In diesem Artikel werden Mobilitätsdienstleistungen der folgenden Kategorien weiter analysiert: Car-Sharing, Ride-Sharing, Carpooling und multimodale Fahrtenplanungsdienste. Wir werden nachfolgend zunächst eine Definition für diese Dienstleistungskategorien vornehmen.

Car-Sharing

Car-Sharing ist ein Oberbegriff, der mehrere Arten des Sharings umfasst. Car-Sharing (auch oder Car Clubs) ist ein Modell zur Autovermietung, bei dem Personen Automobile für kurze Zeiträume mieten (oft stundenweise). Sie sind sowohl für diejenigen attraktiv, die ein Fahrzeug nur gelegentlich nutzen, als auch für alle, die gelegentlich Zugang zu einem anderen Fahrzeugtyp haben möchten. Der Anbieter des Fahrzeugs kann ein kommerzielles Unternehmen sein, die Nutzer können als Unternehmen, Behörde, Genossenschaft oder Ad-hoc-Gruppierung organisiert sein. Infolgedessen umfasst Car-Sharing B2B-, B2C- und C2C-Angebote, einschließlich informeller Peer-to-Peer-(P2P-)Vereinbarungen. Autos können an definierten Stellen (spezielle Parkplätze) oder öffentlich zur Verfügung stehen, so dass die Nutzer ihr Fahrzeug an jeder zugelassenen Örtlichkeit innerhalb einer definierten Zone abstellen können. Aktuell findet Car-Sharing in großen Ballungsräumen statt. Die weltweite Nutzung von Car-Sharing ist in den letzten Jahren rasant gestiegen. Gemessen an der Anzahl der Fahrzeuge betrug die Wachstumsrate über einen Zeitraum von acht Jahren (2006 bis 2015) über 970%. Gemessen an der Anzahl der Nutzer betrug das Wachstum im gleichen Zeitraum sogar 2.000% [29]. Neuere Pressemitteilungen scheinen diese Entwicklung zu bestätigen. Die größten Märkte sind derzeit der asiatisch-pazifische Raum (einschließlich Australien, China, Hongkong, Japan, Malaysia, Neuseeland, Singapur, Südkorea und Taiwan), Europa (einschließlich Türkei und Russland) und Nordamerika (einschließlich Kanada und den USA). Neben den klassischen Verbrennungsmotoren werden immer mehr elektrisch betriebene Autos von Car-Sharing-Anbietern betrieben.

Ride-Sharing

Ride-Sharing ist eine Form der Mobilitätsdienstleistung, die das Mitfahren in einem anderen Fahrzeug beinhaltet. Es ist dem Carpooling ähnlich, unterscheidet sich jedoch insofern davon, dass Fahrten ähnlich einem Taxi-Dienst angeboten werden. Ride-Sharing hat sich inzwischen zu organisierten Diensten und in kürzester Zeit zu neuen Geschäftsmodellen entwickelt, wie sie von Unternehmen wie Uber, Lyft oder Didi angeboten werden. In einigen Ländern, so auch in Deutschland, gehen Taxi-Verbände rechtlich gegen das Angebot dieser kommerziellen Dienste vor und sind teilweise erfolgreich darin, diese verbieten zu lassen.

Carpooling

Carpooling ist eine Möglichkeit zur Kostenreduzierung, durch die gemeinsame Nutzung eines Fahrzeugs. Das Fahrzeug wird unter den Nutzern geteilt und wird für den Pendelverkehr oder eine Fernstrecke eingesetzt. Dieser Ansatz existiert auf informeller Basis solange es Autos gibt. In der Vergangenheit bot Carpooling sich insbesondere an, wenn

Personen in der gleichen Gegend wohnten oder zum gleichen Arbeitgeber pendeln mussten. Auf diese Weise wird auch die Anzahl der Fahrzeuge auf der Straße reduziert, was zu einer entsprechenden Reduzierung von Umweltverschmutzung, Verbrauch, Unfällen und Parkproblemen führt [18], [30]. Carpooling unterscheidet sich vom Ride-Sharing, indem keine spontanen Taxifahrten angeboten werden, auch ist die Fahrtstrecke eher mittel oder lang.

Multimodale Fahrtenplanungsdienste

Multimodale Fahrtenplanungsdienste ermöglichen es, Fahrtstrecken mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln zu vergleichen. Einige dieser Dienste bieten sowohl eine Planung vor als auch während (Routenanpassung inklusive Moduswechsel) der Fahrt an. Die dem Kunden zur Verfügung gestellten Informationen sind in der Regel Planungsdaten des öffentlichen Verkehrs, die oft mit Echtzeit-Verkehrsinformationen angereichert sind. Die Dienste bieten typischerweise Informationen zu Planungsdaten (z.B. für den Linienverkehr) und zur aktuellen Verkehrssituation. Die Daten werden dabei meist von verschiedenen Mobilitätsanbietern gesammelt und oft in Echtzeit bereitgestellt [31].

Innerhalb dieser Kategorien analysierten wir 58 Mobilitätsdienstleister. Dabei wurden diejenigen Dienstleistungen berücksichtigt, die in den letzten 10 Jahren entstanden sind und sich bislang auf dem Mobilitätsmarkt behaupten konnten. Bemerkenswert ist, dass die meisten Dienste in gewisser Weise Sharing-Konzepte beinhalten. In Ergänzung zu den oben beschriebenen Dienstkategorien können die Dienste noch nach dem jeweiligen Vermittlungskonzept unterschieden werden. Hierbei konnten wir die folgenden Gruppen erkennen:

- Peer-to-Peer-Sharing-Dienste (P2P): Private Vereinbarungen (P2P) zur Miete von Fahrzeugen in Privatbesitz. In der Regel erfolgt das Angebot über eine Plattform.
- Sharing-Anbieter-Dienste (B2C): Professionelle Mobilitätsanbieter bieten (Miet-)Fahrzeuge an stationären oder öffentlichen Bereichen an.
- Ride-Sharing-Dienste (B2C): Professionelle Mobilitätsanbieter fungieren als Vermittler, um Fahrdienste mit Privat- und Geschäftsfahrzeugen anzubieten.
- Carpooling-Dienste (P2P): Einzelpersonen teilen sich die Miete für ein Auto. Das Angebot erfolgt über eine Plattform.
- Multimodale Fahrtenplanungsdienste (B2C): Multimodale Fahrtenplanungsdienste

Die analysierten Mobilitätsdienste sind durch verschiedene Arten von Dienstleistungstypen gekennzeichnet (vgl. Tabelle 2). Professionelles Car-Sharing (22% der analysierten Mobilitätsdienste) verfügt ebenso wie Ride-Sharing-Dienste (19% der analysierten Mobilitätsdienste) über ein großes Wachstumspotential. Darüber hinaus werden Car-Sharing-Dienste, die sich mit steigender Nachfrage noch in der Wachstumsphase befinden, auch von großen Automobilherstellern wie Daimler (Car2Go und Car2Share) oder BMW (DriveNow, ReachNow)

Tabelle 2: Mobilitätsdienstleistungen

	Mobilitätsdienste	Dienstleistungstyp	Gehört zu	Reichweite	Distanz	Zusatzinformationen		
Peer-to-Peer-Sharing-Dienste	getaround	Privates Car-Sharing		USA, Europa	k,m,l	Geplante Übernahme von drivy		
	turo	Privates Car-Sharing		USA, Europa	k,m,l			
	drivy	Privates Car-Sharing	getaround	Europa	k,m,l	50.000 Fahrzeuge, 2.500.000 Nutzer		
	Turo	Privates Car-Sharing		USA, Europa	k,m,l			
	Getaway	Privates Car-Sharing		Deutschland	k,m,l			
	SnappCar	Privates Car-Sharing		Europa	k,m,l	Übernahme von Tamyca und Carunity		
	Ryde	Privates Car-Sharing		Asien	k,m,l			
Sharing Anbieter Dienste	Auto	Maven	Professionelles Car-Sharing		USA	k,m,l		
		Orix	Professionelles Car-Sharing		Japan	k,m,l		
		Park24	Professionelles Car-Sharing		Japan	k,m,l		
		eCar	Professionelles Car-Sharing	Citroen	Deutschland	k,m,l	250 Elektroautos	
		EVCARD	Professionelles Elektro-Car-Sharing		China	k,m,l	6.000 Elektroautos	
		Share Now	Professionelles (Elektro-)Car-Sharing	Daimler, BMW	Global	k,m,l	20.500 Autos, 30 Städte	
		mobility	Professionelles Car-Sharing		Schweiz	k,m,l	3.090 Autos	
		flinkster	Professionelles Car-Sharing	Deutsche Bahn	Europa	k,m,l	4.000 Autos, 315.000 Kunden	
		stadtmobil	Professionelles (Elektro-)Car-Sharing		Deutschland	k,m,l	2.6000 Autos, 63.000 Kunden	
		zipcar	Professionelles Car-Sharing	AVIS	Global	k,m,l		
	Roller	E-Wald	Professionelles Elektro-Car-Sharing		Deutschland	k,m,l	6.500 Kunden, 1.000 Ladepunkte	
		Book N Drive	Professionelles Car-Sharing		Deutschland	k,m,l	4.000 Fahrzeuge	
		cambio	Professionelles (Elektro-)Car-Sharing		Europa	k,m,l	210 Städte in Europa	
		Emmy	Professionelles Elektroroller Sharing		Deutschland	k,m	früher eMio	
		COUP	Professionelles Elektroroller Sharing		Deutschland	k,m		
		Yego	Professionelles Elektroroller Sharing		Spanien	k,m		
		motit	Professionelles Elektroroller Sharing		Europa	k,m		
		scoot	Professionelles Elektroroller Sharing		Global	k,m		
		Fahrrad	nextbike	Professionelles Fahrrad-Sharing		Deutschland	k	
			Call a Bike	Professionelles Fahrrad-Sharing	DB	Deutschland	k	
			MeinRad	Professionelles Fahrrad-Sharing		Deutschland	k	
			MVG Rad	Professionelles Fahrrad-Sharing		Deutschland	k	2.000 Fahrräder
bikesurf	Professionelles Fahrrad-Sharing			Global	k			
BbikeMi	Professionelles Fahrrad-Sharing			Italien	k			
Bycycklen	Professionelles Fahrrad-Sharing			Dänemark	k			
Zagster	Professionelles Fahrrad-Sharing			USA	k			
Ride-Sharing Dienste	limebike	Professionelles Rad & Roller Sharing		USA, Europa	k	Inzwischen: Südamerika und Australien		
	DiDi	Fahrdienst Plattform		China	k,m,(l)	550.000.000 Nutzer, 7 Mrd Fahrten p.a.		
	uber	Fahrdienst Plattform		Global	k,m,(l)	3.900.000 Fahrer, 1,5 Mrd. Fahrten p.a.		
	lyft	Fahrdienst Plattform		USA	k,m,(l)	18.600.000 Nutzer, 180 Mio Fahrten p.a.		
	Via	Fahrdienst Plattform		USA	k,m,(l)			
	Gett	Fahrdienst Plattform		UK	k,m,(l)			
	grab	Fahrdienst Plattform		Asien	k,m,(l)			
	Caocao	Fahrdienst-Plattform	Geely	China	k,m,(l)			
	Ola	Fahrdienst-Plattform		Indien, Global	k,m,(l)	Weitere Dienste, z.B. für Firmen		
	taxi magic / curb	Taxi Plattform		USA	k,m,(l)	50.000 Taxen, 100.000 Fahrer, 65 Städte		
	mytaxi	Taxi Plattform	Daimler	Europa	k,m,(l)	45.000 taxis, 100 Städte		
	GroundLink	Limousinen Plattform		Global	k,m,(l)	45.000 Limousinen		
	Carpooling Dienste	bla bla car	Carpooling Plattform		Europa	m,l		
		karzoo	Carpooling Plattform		Europa	m,l		
		mitfahren	Carpooling Plattform		Deutschland	m,l		
e-carpooling		Carpooling Plattform		Schweiz	m,l	32.000 Nutzer		
drive2day		Auto & Zug-Pooling Plattform		Europa	m,l			
Multimodale Fahrt-planungsdienste	Qixxit	Mobilitätsinformationsplattform	DB	Deutschland	k,m,l	Meta-Service, teilweise Buchung möglich		
	SBB Trip Planner	Mobilitätsinformationsplattform	SBB	Schweiz	m,l			
	Triplt	Mobilitätsinformationsplattform		Global	l			
	TripCase	Mobilitätsinformationsplattform		Global	l	30 Mio. Reisen, 40 Airlines		
	Öffi	Mobilitätsinformationsplattform		Global	K,m,l	Meta-Service, öffentliche Verkehrsmittel		
	Moovel	Mobilitätsinformationsplattform		Deutschland	m,l	Abgekündigt, wird REACH NOW		
	FromAtoB	Mobilitätsinformationsplattform		Global	m,l			
	omio	Mobilitätsinformationsplattform		Global	m,l			

angeboten oder unterstützt. Die Zusammenlegung der Dienste von Daimler und BMW zu SHARE NOW ist ein konsequenter Schritt der Automobilhersteller, um eine dominante Marktposition einnehmen zu können. Flinkster, ein weiterer Car-Sharing-Dienst, wird von der Deutschen Bahn angeboten.

Fahrrad- und multimodale Fahrtenplanungsdienste (16% bzw. 14% der analysierten Mobilitätsdienste) verzeichnen eine enorme Wachstumsrate, gefolgt von P2P-Car-Sharing-Dienstleistungen, Carpooling- und Roller-Diensten (12% und jeweils 9% der analysierten Mobilitätsdienste). Aufmerksamkeit erhalten derzeit Fahrrad-Sharing-Dienste, die vielfach von Städten organisiert oder bezuschusst werden und aktuell schnell wachsen. Letzteres gilt besonders im skandinavischen Raum und in den USA, aber auch in deutschen Städten wächst das Angebot.

Die meisten der Mobilitätsdienste können sofort in Anspruch genommen werden (66%). Die angebotenen Mobilitätsdienstleistungen setzen zu 86% auf Einzelverkehrsmittel und nur zu 14% auf multimodale Verkehrsmittel. Derzeit sind viele multimodale Fahrtenplanungsdienste reine Informationsdienste. Das bedeutet, dass sie Informationen zur Verfügung stellen, aber eine Buchung nicht oder nur teilweise möglich ist. Darüber hinaus ist zu beobachten, dass der Umfang und die dargestellten Informationen der multimodalen Dienste über die Zeit schwanken. Beispielsweise wurde über Qixxit in der Vergangenheit unabhängig informiert, aktuell werden jedoch nur noch die Angebote der Plattformanbieter (Deutsche Bahn und Flixbus) zur Anzeige gebracht. Die Plattform moovel wird von BMW übernommen; die Nachfolgeanwendung ReachNow wird wohl keinen vergleichbaren Dienst bieten. Es sei außerdem angemerkt, dass bei den Mobilitätsinformationsplattformen Bing, Google Maps oder HERE WeGo nicht genannt werden. Die zuvor genannten bieten zwar die Berechnung für unterschiedliche Modi an, stellen die Ergebnisse jedoch nicht im direkten Vergleich dar und generieren auch keinen Vorschlag für die beste Alternative. In geografischer Hinsicht werden die meisten der von uns analysierten Mobilitätsdienste nur in Deutschland (24%) angeboten, gefolgt von in Europa (22%) angebotenen Dienstleistungen, globalen Diensten (21%) sowie exklusiven Mobilitätsdiensten in den USA (16%).

5. Fazit

In letzter Zeit wurden viele Mobilitätsdienstleistungen auf den Markt gebracht. Mittel- bis langfristig wird die Marktkonsolidierung fortschreiten und eine Sättigung erreichen. Für einige Dienste wird dies auch davon abhängig sein, ob die Geschäftsmodelle zukünftig allein tragfähig sind oder weiterhin öffentlich Subventionen benötigen (z.B. Fahrrad-Sharing in Deutschland). Sharing-Anbieter offerieren in der Regel ein einziges Verkehrsmittel und unterscheiden sich daher in Dienste für Auto, Roller und Fahrrad. Teilweise kann weiter danach differenziert werden, ob der Antrieb

der Flottenfahrzeuge elektrisch erfolgt bzw. unterstützt wird. Während viele Dienste das gleiche Konzept anbieten, ist die Sättigung der Verbrauchernachfrage offenbar noch nicht erreicht. Das traditionelle Sharing-Geschäftsmodell (B2C) ist jedoch nur schwer in ländliche Räume skalierbar. In Gegenden mit geringerer Bevölkerungsdichte sind die Fixkosten für den Kauf oder das Leasing von Flottenfahrzeugen zu hoch, um für den Betreiber ein wirtschaftliches Angebot zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu ist das P2P-Sharing für die kurzfristige Anmietung bereits vorhandener Fahrzeuge eher ortsunabhängig. Die meisten privaten Fahrzeuge sind mehr als 90% des Tages ungenutzt und könnten dadurch gut weiter genutzt werden. Dadurch entlastet P2P-Car-Sharing die Kunden (durch geringere Fixkosten oder eingesparte Anschaffungskosten) und ist wirtschaftlich auch in Gegenden mit geringerer Bevölkerungsdichte möglich. In der Praxis scheitert dieser Ansatz eher an der Bereitschaft oder der fehlenden Information.

Gemessen am Verkehrsaufkommen sind Car-Sharing-Dienste noch immer eine Nischenoption. Auch ist zu beobachten, dass bestimmte demografische Zielgruppen tendenziell eher bereit sind, Car-Sharing zu nutzen. Typische Teilnehmer leben aktuell primär in urbanen Gebieten mit mittlerer bis hoher Haushaltsdichte [32]. Infolgedessen bietet P2P-Car-Sharing ein größeres Potenzial für die Zugänglichkeit von Autos als konventionelles Car-Sharing [33]. Zweifellos steigt das Stauvermeidungspotenzial bei der gemeinsamen Nutzung und mit der steigenden Anzahl der Dienste und Nutzer. Während das Fahrrad-Sharing derzeit noch höhere Wachstumsraten aufweist, hat auch das Car-Sharing das Potenzial, die Zahl der Autos auf der Straße deutlich zu reduzieren [32]. Car-Sharing-Geschäftsmodelle haben sich weiterentwickelt: Diese umfassen sowohl Punkt-zu-Punkt-Fahrten als auch Hin- und Rückfahrlösungen. Parkmöglichkeiten wurden sowohl um Straßen- als auch Sonderparkflächen erweitert und eine steigende Anzahl von neuen Car-Sharing-Diensten macht das Car-Sharing-Netz dichter und allgegenwärtiger. Zusätzlich wird die Verschiebung der Verbraucherpräferenzen die Attraktivität des Sharing-Konzepts weiter erhöhen.

Insgesamt ist die Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen steigend, da immer mehr Nutzer den Vorteil neuer Dienste für eine flexible Mobilität nutzen, anstatt auf einzelne private oder öffentliche Verkehrsmittel zurückzugreifen. Die Zahl der Mobilitätsanbieter nimmt derzeit weiter zu, dabei sind momentan viele Anbieter auf dem Markt, die die gleichen Dienste anbieten. In den vergangenen Jahren konnte ungeachtet des Marktwachstums bereits teilweise eine Konsolidierung der Anbieter beobachtet werden. Übernahmen oder Zusammenschlüsse wie bei Car2Go und DriveNow/ReachNow zu SHARE NOW sind wahrscheinlich das bekannteste Beispiel in Deutschland. Im einwohnerreichsten Land der Welt ist mit DiDi auch der nutzerstärkste Ride-Sharing-Dienst zu finden. Durch strategische Unternehmenskäufe wie bspw. Uber China konnte sich DiDi, das

sich erfolgreich bei den Nutzern etabliert hat, eine monopolistische Stellung auf dem chinesischen Markt erarbeiten. Um an diesen Wachstumsraten zu partizipieren, treten auch öffentliche Verkehrsbetriebe und Automobilhersteller in den Markt für neue Mobilitätsdienstleistungen ein. Ein Paradigmenwechsel kann konstatiert werden, anstatt Produkte nur zu verkaufen, entwickeln sich Autos zu sogenannten Produkt-Service-Systemen weiter, d.h. die Nutzung steht im Vordergrund und nicht mehr das Produkt (Fahrzeug). Zusammenfassend haben wir vier Aspekte identifiziert, die sich auf die Mobilitätsdienste auswirken:

1. Das Mobilitätsverhalten der Nutzer verändert sich
2. Das Angebot an Mobilitätsdienstleistungen nimmt zu
3. Katalysatoreffekt – traditionelle Mobilitätsanbieter treten dem Dienstleistungsmarkt bei
4. Produkte und Dienstleistungen wachsen zusammen

6. Zusammenfassung und Ausblick

Um Verkehrsstaus zu reduzieren, wurden viele Forschungsarbeiten und Tests durchgeführt. Trotzdem ist die Verkehrsüberlastung nach wie vor ein zentrales und globales Problem. In der Folge wurden zahlreiche Ansätze zur Lösung dieses Problems angewandt. Ein sehr vielversprechender Lösungsansatz ist die Nutzung der allgegenwärtigen Internetverfügbarkeit zur Bereitstellung von Mobilitätsdiensten. Wie bereits angesprochen, umfassen diese Dienste Sharing-Konzepte ebenso wie die Planung vor und während der Fahrt. Dies beinhaltet Echtzeitinformationen, Ticketkauf, Wechsel des Verkehrsmittels und intelligente Routenführung. Gegenwärtig verzeichnen Dienstleistungen, die spontane Mobilität und Just-in-Time-Planung ermöglichen, hohe Zuwachsraten. Während derzeit viele verschiedene Dienste vorhanden sind, erwarten wir zukünftig eine Marktkonsolidierung. Dies ließ sich in den vergangenen Jahren bereits im Fernbusverkehr sowie bei Car-Sharing-Dienstleistungen beobachten. Neuere Service-Angebote im Bereich Ride- und Fahrrad-Sharing oder multimodale Informationsdienste sind weiterhin im Aufschwung und noch drängen viele neue Anbieter auf den Markt. Trotz guter Zuwachsraten in den vergangenen Jahren sind aktuell die absoluten Nutzungszahlen noch zu gering, um einen deutlichen Einfluss auf die Verkehrssituation in städtischen Großräumen zu zeigen. Auch sind nicht alle Angebote uneingeschränkt förderlich, um Stausituationen zu reduzieren [33].

Offen bleibt momentan, ob die kombinierte Nutzung dieser Dienste künftig dazu führen kann, dass deutliche Verbesserungen der Gesamtverkehrssituation und Umweltbelastung in Großräumen messbar werden. Dazu wäre einerseits eine verstärkte Nutzung der Dienste und andererseits auch eine Beständigkeit in der Benutzung erforderlich. Als nächstes planen wir, weitere Informationen zum Nutzungsverhalten bezüglich der Dienstleistungen zu erheben. Wir wollen zwei verschiedene Aspekte untersuchen: 1) individuelles

Verhalten und Präferenzen der Kunden und 2) die Marktentwicklung. Im Hinblick auf die Marktentwicklung planen wir, unsere Dienstleistungsanalyse auf schnellwachsende Märkte (besonders in Asien) zu konzentrieren. Davon erhoffen wir uns Aufschluss über die Erfolgsfaktoren von Mobilitätsdienstleistungen. Darüber hinaus planen wir, die Entwicklung der intermodalen Verhaltensweisen und der Marktentwicklung bei den Mobilitätsdienstleistungen über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Demgemäß beabsichtigen wir, eine Datenbank zur Speicherung und Bereitstellung von Informationen über Mobilitätsdienste einzurichten.

Literatur

[1] A. T. H. Chin, „Containing air pollution and traffic congestion: Transport policy and the environment in Singapore“, *Atmos. Environ.*, Bd. 30, Nr. 5, S. 787-801, März 1996.

[2] K. Zhang und S. Batterman, „Air pollution and health risks due to vehicle traffic“, *Sci. Total Environ.*, Bd. 450-451, S. 307-316, Apr. 2013.

[3] J. Beaudoin, Y. H. Farzin, und C.-Y. C. Lin Lawell, „Public transit investment and sustainable transportation: A review of studies of transit’s impact on traffic congestion and air quality“, *Res. Transp. Econ.*, Bd. 52, S. 15-22, Okt. 2015.

[4] TomTom, „TomTom Traffic Index – Measuring Congestion Worldwide“, 30-Apr-2019. [Online]. Verfügbar unter: http://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list. [Zugegriffen: 30-Apr-2019].

[5] Transport for London, „Central London Congestion Charging – Impacts monitoring“, Transport for London, London, Sith Annual Report, Juli 2008.

[6] Eurostat, „Passenger transport statistics – Statistics Explained“, 01-Mai-2019. [Online]. Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics.

[7] C. Weiß, B. Chlond, T. Hilgert, und P. Vortisch, „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2014/2015: Alltagsmobilität und Fahrleistung“, Karlsruhe, 2016.

[8] P. Harker und T. Friesz, „Bounding the solution of the continuous equilibrium network design problem“, gehalten auf der Proc. Ninth Int. Symp. Transp. Traffic Theory Delft, 1984, S. 233-252.

[9] A. Migdalas, „Bilevel programming in traffic planning: Models, methods and challenge“, *J. Glob. Optim.*, Bd. 7, Nr. 4, S. 381-405, Dez. 1995.

- [10] S. de Luca, „Public engagement in strategic transportation planning: An analytic hierarchy process based approach“, *Transp. Policy*, Bd. 33, S. 110-124, Mai 2014.
- [11] R. Arnott, A. de Palma, und R. Lindsey, „Does providing information to drivers reduce traffic congestion?“, *Transp. Res. Part Gen.*, Bd. 25, Nr. 5, S. 309-318, Sep. 1991.
- [12] J. L. Adler und V. J. Blue, „Toward the design of intelligent traveler information systems“, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, Bd. 6, Nr. 3, S. 157-172, Juni 1998.
- [13] L. De Cicco, G. Carlucci, und S. Mascolo, „Experimental investigation of the google congestion control for real-time flows“, in *Proceedings of the 2013 ACM SIGCOMM workshop on Future human-centric multimedia networking – FhMN '13*, Hong Kong, China, 2013, S. 21.
- [14] G. Carlucci, L. De Cicco, S. Holmer, und S. Mascolo, „Analysis and design of the google congestion control for web real-time communication (WebRTC)“, in *Proceedings of the 7th International Conference on Multimedia Systems – MMSys '16*, Klagenfurt, Austria, 2016, S. 1-12.
- [15] R.-P. Schäfer, S. Lorkowski, N. Witte, J. Palmer, H. Rehborn, und B. Kerner, „A Study of TomTom's Probe Vehicle Data with Three-phase Traffic Theory“, *Traffic Eng. Control*, Bd. 52, Nr. 5, S. 225-230, Juni 2011.
- [16] H. S. Mahmassani und P. S.-T. Chen, „Comparative assessment of origin-based and en-route real-time information under alternative user behavior rules“, *Transp. Res. Rec.*, Bd. 1306, S. 69-81, 1991.
- [17] R. Arnott und E. Inci, „An integrated model of downtown parking and traffic congestion“, *J. Urban Econ.*, Bd. 60, Nr. 3, S. 418-442, Nov. 2006.
- [18] M. Fosgerau und A. de Palma, „The dynamics of urban traffic congestion and the price of parking“, *J. Public Econ.*, Bd. 105, S. 106-115, Sep. 2013.
- [19] K. F. Abdelghany und H. S. Mahmassani, „Dynamic Trip Assignment-Simulation Model for Intermodal Transportation Networks“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Bd. 1771, Nr. 1, S. 52-60, Jan. 2001.
- [20] A. Caris, C. Macharis, und G. K. Janssens, „Decision support in intermodal transport: A new research agenda“, *Comput. Ind.*, Bd. 64, Nr. 2, S. 105-112, Feb. 2013.
- [21] V. Giannikas und D. McFarlane, „Product Intelligence in Intermodal Transportation: The Dynamic Routing Problem“, in *Dynamics in Logistics*, H.-J. Kreowski, B. Scholz-Reiter, und K.-D. Thoben, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 59-69.
- [22] E. Eryilmaz, M. Kagerbauer, T. Schuster, und O. Wolf, „Collaborative Management of Intermodal Mobility“, in *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*, Bd. 8827, E. Bayro-Corrochano und E. Hancock, Hrsg. Cham: Springer International Publishing, 2014, S. 713-721.
- [23] T. G. Crainic, N. Ricciardi, und G. Storchi, „Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems“, *Transp. Sci.*, Bd. 43, Nr. 4, S. 432-454, Nov. 2009.
- [24] U. Kohler, „An innovating concept for city-logistics“, in *Mobility for Everyone*, Berlin, 1997, Bd. 2381.
- [25] E. Taniguchi und R. G. Thompson, Hrsg., *City logistics: mapping the future*. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [26] A. L. Osório, L. M. Camarinha-Matos, und H. Afsarmanesh, „Enterprise Collaboration Network for Transport and Logistics Services“, in *Collaborative Systems for Reindustrialization*, Bd. 408, L. M. Camarinha-Matos und R. J. Scherer, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 267-278.
- [27] J. Sochor, I. C. M. Karlsson, und H. Strömberg, „Trying Out Mobility as a Service: Experiences from a Field Trial and Implications for Understanding Demand“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Bd. 2542, Nr. 1, S. 57-64, Jan. 2016.
- [28] Statista, „Carsharing – Statista-Dossier“, Statista, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/9904/dokument/Car-Sharing-statista-dossier/>. [Zugegriffen: 01-Mai-2019].
- [29] N. T. Fellows und D. E. Pitfield, „An economic and operational evaluation of urban car-sharing“, *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, Bd. 5, Nr. 1, S. 1-10, Jan. 2000.
- [30] N. Borole, D. Rout, N. Goel, P. Vedagiri, und T. V. Mathew, „Multimodal Public Transit Trip Planner with Real-time Transit Data“, *Procedia – Soc. Behav. Sci.*, Bd. 104, S. 775-784, Dez. 2013.
- [31] E. Martin, S. A. Shaheen, und J. Lidicker, „Impact of Car-Sharing on Household Vehicle Holdings: Results from North American Shared-Use Vehicle Survey“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Bd. 2143, Nr. 1, S. 150-158, Jan. 2010.
- [32] R. C. Hampshire und C. Gaites, „Peer-to-Peer Car-Sharing: Market Analysis and Potential Growth“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, Bd. 2217, Nr. 1, S. 119-126, Jan. 2011.
- [33] G.D. Erhardt, S. Roy, D. Cooper, B. Sana, M. Chen, und J. Castiglione: Do transportation network companies decrease or increase congestion? *Science Advances*, Bd. 5, Nr. 5, 2019.

Herausragende Mobilität? Eine objektive Bewertungsheuristik für inter- und multimodale Mobilitätsplattformen

Christoph Becker*, Steffen Fabian Link

FZI Forschungszentrum Informatik, Haid-und-Neu-Str. 10-14, 76131 Karlsruhe, Deutschland

Abstract

Die Digitalisierung fördert die Entwicklung digitaler Mobilitätsplattformen, die den Verkehrssektor tiefgreifend verändern können. Die Vergleichbarkeit dieser Plattformen gestaltet sich jedoch mitunter schwierig. Dieser Artikel analysiert die wesentlichen physischen und digitalen Bestandteile solcher Plattformen aus Sicht des Nutzers und entwickelt eine Heuristik zur objektiven, nachvollziehbaren Bewertung. Im Rahmen eines Benchmarks wird die Heuristik auf unterschiedliche deutsche und internationalen Plattformen angewandt.

Schlagwörter/Keywords:

Bewertungsmodell, Mobilitätsplattformen, Mobility-as-a-Service

1. Einleitung

Eine stetige Zunahme der Weltbevölkerung, die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Ressourcen und die steigende Umweltbelastung durch die Emission von Schadstoffen und Treibhausgasen sind nur einige der großen Herausforderungen dieses Jahrhunderts [1]. Hinzukommend zeigen sich globale Trends wie die fortschreitende Urbanisierung sowie weitreichende demografische und gesellschaftliche Veränderungen, welche diese Herausforderungen weiter verschärfen [2]. Weiterhin wächst der Bedarf der Menschen nach Mobilität [3]. Auf dem Weg zur nachhaltigen urbanen Mobilität der Zukunft zeigt sich, dass nur eine Kombination verschiedener öffentlicher und privater Verkehrsmittel diesen Bedarf langfristig stillen kann [4, 5]. Heutzutage zeigt die Praxis jedoch, dass die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel mitunter komplex und umständlich ist [6].

Die fortschreitende Digitalisierung und die neuen Möglichkeiten im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien bieten nun den Grundstein für digitale Geschäftsmodelle und Plattformen, welche eine intelligente Vernetzung und Organisation des Verkehrs ermöglichen [7, 8]. Durch eine nahtlose und abgestimmte Verbindung verschiedener Verkehrsmittel kann der Wunsch der Bevölkerung nach individualisierter Mobilität von Tür zu Tür durch multi- und intermodalen Verkehr erfüllt werden [5]. Somit

verschmelzen die Grenzen zwischen öffentlichen sowie gemeinsam genutzten und privaten Verkehrsmitteln miteinander [3, 4, 9]. Verschiedene Verkehrsmittel werden über eine Plattform vereint, bisher fragmentierte Dienstleistungen und Services werden miteinander verbunden [10]. Doch nicht nur schnelles und zuverlässiges Reisen kann so ermöglicht werden. Neben der Steigerung der Effizienz im Verkehrssektor können weitere Herausforderungen der heutigen urbanen Mobilität wie Emissionen, Lärm oder auch Staus langfristig gelöst werden [3, 11]. Vielfach wird in diesem Kontext Mobility-as-a-Service (MaaS) als Synonym für eine integrierte Mobilitätsplattform genannt. Die Auswirkungen und Veränderungen von MaaS auf den Transportsektor werden teilweise mit dem revolutionären Einfluss von Netflix und Spotify auf ihre jeweiligen Industrien verglichen [12]. Die Anzahl der Publikationen ist rasch steigend und zeigt das große Interesse an diesem Thema [9]. Das große Potential von MaaS veranlasst nun immer mehr Städte und Metropolen weltweit, erste eigene Prototypen zu entwickeln und zu testen [3, 9]. Diese Entwicklung wird von seiten des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert und von Forschungsgesellschaften, Universitäten sowie privaten Anbietern im Rahmen der Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle aufgegriffen [7, 13, 14].

Als Resultat dieser Entwicklung hat sich zwischenzeitlich ein sehr heterogenes Feld an verschiedenen Plattformen

* Korrespondierender Autor.

E-Mail: christoph.becker@fzi.de (C. Becker)

auf dem Markt etabliert. Auch wenn sich die Bundesministerien um Standardisierung bemühen – bspw. durch verschiedene Forschungsprojekte wie die DiMo-OMP [13] –, sind die Ausprägungen und insbesondere Integrationstiefen bei den einzelnen Plattformen sehr unterschiedlich. Die Integrationstiefe umfasst dabei sowohl digitale Bestandteile wie Informationsauskunft und Buchung sowie physische Bestandteile in Form der bereitgestellten und vernetzten Verkehrsmittel [10]. Sowohl private wie auch öffentliche Instanzen sind Betreiber dieser Plattformen. Auf Grund dieser heterogenen Insellösungen ist der aktuelle Vergleich solcher Plattformen schwierig. Der vorliegende Artikel präsentiert daher einen Ansatz, mit dem der aktuelle Entwicklungsstand und Fortschritt von Mobilitätsplattformen objektiv bewertet werden kann. Damit wird es möglich, die Vergleichbarkeit zwischen den Plattformen herzustellen.

Der Aufbau dieses Artikels gliedert sich wie folgt: Zunächst erfolgt eine Abgrenzung zu bestehenden Arbeiten. Anschließend wird die Bewertungsheuristik und deren Aufbau näher vorgestellt. Insbesondere erfolgen die Erarbeitung und Darlegung der zu berücksichtigenden wesentlichen Bestandteile und Services dieser Plattformen. Anschließend wird das Modell beim Benchmarking von Mobilitätsplattformen angewendet. Abschließend erfolgen die kritische Beurteilung der Heuristik sowie ein Ausblick auf zukünftige Anpassungen und Verfeinerungen am Modell.

2. Abgrenzung zu bestehenden Arbeiten

Eine Bewertung der Plattform und ihrer Funktionalitäten wird lediglich in [10] bereitgestellt und dient als Ausgangspunkt für diese Arbeit. Hier erfolgt eine Clusterung der Plattformen nach Integrationsgrad. Diese Einteilung differenziert im Kern zwischen vollständiger und partieller Integration. Die Bewertung erfolgt auf Basis eines Index. Hier werden fünf unterschiedliche Arten der Integration einzeln bewertet und am Ende zu einer Gesamtmenge addiert [10]. Die moovel-App belegt den vorletzten Platz. Gemäß der angewandten Logik wird die Ticketintegration mit null angegeben und suggeriert dem Leser eine mangelnde Integration bzw. Nutzbarkeit. Gleichzeitig sind jedoch Bezahlung, Buchung und Routenplanung mit allen Verkehrsmitteln möglich [10]. Bei der Anwendung dieser Methodik fallen die mangelnde Differenzierung und Intuition negativ ins Gewicht. Der Detailgrad und die Genauigkeit des Ergebnisses sind nicht nachvollziehbar. Darauf aufbauend soll die hier vorgestellte Heuristik so konzipiert werden, dass eine differenzierte Betrachtung der Services und der Integration ermöglicht werden und eine höhere Nachvollziehbarkeit sichergestellt wird.

Darüber hinaus wurden weitere Bewertungsansätze gefunden. Diese erfassen jedoch die Thematik der urbanen Mobilität in ihrer Gesamtheit, ohne dabei den Fokus auf die Plattformen selbst zu setzen. So wird in [15] ein Index für intelligente urbane Mobilität auf Basis verschiedener Sub-

indikatoren erstellt und anhand der italienischen Stadt Cagliari bewertet. Im Zentrum dieser Betrachtung steht jedoch die Stadt und nicht die Mobilitätsplattform. Grundzüge der Methodik konnten aber übertragen werden. Weitere Arbeiten vergleichen verschiedene Plattformen miteinander und sprechen Empfehlungen für den generellen Aufbau und die Struktur aus. Arbeiten wie [3, 16] vergleichen die physischen Services bestehender Plattformen. Andere Arbeiten listen und vergleichen lediglich verschiedene digitale Services und Nutzeranforderungen für urbane Mobilität [17–19] oder betrachten die Gesamtheit, ohne eine explizite Bewertung auszusprechen [20].

3. Methodik

Das Ziel der Heuristik ist eine objektive Bewertung und Vergleichbarkeit der Plattformen und ihrer angebotenen Services. Diese nutzt nach außen kommunizierte Informationen und Features aus der Sicht des Nutzers während der Nutzung. Eingangs wurden hierfür analog zu [10, 15] Subindikatoren und Kategorien entwickelt, welche die wesentlichen Eigenschaften und Funktionen einer Mobilitätsplattform holistisch erfassen. Diese werden im Folgenden näher vorgestellt. Bevor die Heuristik in ihrer Gesamtheit betrachtet und die einzelnen Subindikatoren näher vorgestellt werden, werden zunächst die zu berücksichtigenden Verkehrsmittel spezifiziert.

3.1 Betrachtete Verkehrsmittel

Auf Basis der aktuellen Verkehrszahlen in Deutschland [8] sowie des aktuellen Modal-Splits [6] erfolgt eine erste Eingrenzung der Verkehrsmittel. Verwandte Arbeiten bestätigen diese Auflistung durch deren Nennung [2, 4, 9, 10, 21]. Weitere Arbeiten bestätigen diese sogar durch eine Analyse bestehender Plattformen, inklusive Quantifizierung [3, 20]. Für die urbane Mobilität werden folgende Verkehrsmittel berücksichtigt: Carsharing, Öffentlicher Nahverkehr bestehend aus Bus und Bahn (ÖPNV), Bikesharing und Taxi. Zusätzlich wird berücksichtigt, inwieweit städtische Infrastrukturen wie Parkplätze durch die Plattform buchbar sind [22]. Für den interregionalen Transport werden Bahnen, Fernbusse sowie Mitfahrgelegenheiten betrachtet, wobei keine Differenzierung zwischen diesen drei Modalen stattfindet. Als Ausprägung und Entwicklung der neuen urbanen Elektromobilität [23] sind Elektro-Scooter und -Roller als weitere Verkehrsmittel aufgenommen.

3.2 Gesamtbetrachtung der Heuristik

Insgesamt werden fünf Subindikatoren betrachtet. Einerseits handelt es sich hierbei um die Indikatoren Buchung & Bezahlung (BB) sowie Routing (RT) als Kernelemente einer

Mobilitätsplattform [20]. Diese werden spezifisch für jedes der oben genannten Verkehrsmittel untersucht. Das Ergebnis der beiden Indikatoren wird als Zwischenergebnis im Anbieter-Score aggregiert. Andererseits werden drei Indikatoren betrachtet, welche den generellen Service gegenüber dem Kunden sowie die Individualisierung analysieren und bewerten. Diese Bewertung ist unabhängig vom gewählten Verkehrsmittel. Konkret handelt es sich hierbei um das Vorhandensein von Mobilitätstarifen (MT), der Unterstützung und Begleitung während der Reise (RU) und Individualisierungsoptionen für den Kunden (IND). Diese drei Subindikatoren werden als Service-Score zusammengefasst.

Jeder Subindikator wird einzeln durch die Bewertung des Erfüllungs- bzw. Integrationsgrads anhand einer Zuweisung eines entsprechenden äquivalenten Werts charakterisiert. Vollständige Integration und Umsetzung entsprechen dem Wert 1. Andernfalls wird der Wert 0 vergeben. In definierten Fällen wird für eine höhere Differenzierung eine partielle Erfüllung mit dem Wert 0,5 bewertet. Die Bewertung folgt sozusagen auf Basis einer Art standardisierten Checkliste.

Da eine entsprechend individuelle Wichtigkeit der Verkehrsmittel an der Gesamtmobilität deutlich ersichtlich ist [6], ist eine Gewichtung berücksichtigt. Diese erfolgt durch einen paarweisen Vergleich der einzelnen Verkehrsmittel. Auch bei der Wichtigkeit der fünf Subindikatoren ist eine Differenzierung zwischen Kern- und Zusatzelemente notwendig. Diese relative Wichtigkeit wird ebenfalls anhand eines paarweisen Vergleichs ermittelt. Ohne Gewichtung sind der Anbieter-Score und der Service-Score so aufgebaut, dass sie im Maximum die gleiche Punktzahl erreichen können. Das Gesamtergebnis ergibt sich durch Addition des gewichteten Anbieter- und Service-Score. Abschließend erfolgt eine Normierung auf eine Skala von 0 bis 100.

3.3 Detailbetrachtung: Buchung & Bezahlung (BB)

Dieser Indikator bewertet die Fähigkeit, dem Kunden auf einer geplanten Route entsprechende Verkehrsmittel durch eine einzige Buchung bereitzustellen. Die Bezahlung erfolgt über ein gemeinsam genutztes und zentrales Konto. Dem Kunden werden am Ende die entsprechenden Tickets oder Zugangscodes für die einzelnen Verkehrsmittel übergeben. Sind diese Funktionen in der App als Ausprägung der vollständigen Integration möglich, wird der Wert 1 vergeben. Sollte die App als reine Informationsauskunft dienen, wird der Wert 0 vergeben. Gibt es eine direkte Weiterleitung zur eigenständigen App des Anbieters, ergibt dies den Wert 0,5.

3.4 Detailbetrachtung: Routing (RT)

Die Routenplanung und Informationsauskunft sind ein wesentlicher Bestandteil von Mobilitätsdienstleistungen [17]. Hierbei muss zwischen der multimodalen und der inter-

modalen Berechnung unterschieden werden. Bei der multimodalen Berechnung werden lediglich alle Alternativrouten gelistet und berechnet – inklusive Preis, Dauer oder weiteren Faktoren. Auf der eigentlichen Route wird aber nur ein Verkehrsmittel genutzt. Bei der intermodalen Berechnung werden verschiedene Verkehrsmittel auf einer Route nahtlos miteinander verknüpft. Die Berechnung ist ungleich komplexer und wird daher mit dem Faktor 1 bewertet. Sollte ein Verkehrsmittel nicht in die Informationsauskunft integriert sein, wird der Wert 0 vergeben. Für multimodale Berechnung als einfache Ausprägung wird der Wert 0,5 angesetzt.

3.5 Detailbetrachtung: Mobilitätstarife (MT)

Mobilitätstarife, welche anbieterübergreifend alle Leistungen und Services integrieren, sind gemäß [9, 10] der letzte Schritt zur nahtlosen integrierten Mobilität der Zukunft. Auch in [20] wird dies als potentiell wichtiger Bestandteil berücksichtigt. Werden dem Kunden Mobilitätspakete und Gesamttarife angeboten, wird dies entsprechend mit der höchsten Punktzahl bewertet (5 Punkte). Andernfalls wird der Wert 0 vergeben.

3.6 Detailbetrachtung: Reiseunterstützung (RU)

Der Bereich Reiseunterstützung konzentriert sich auf die eigentliche Reise. Hier können durch die zusätzliche Integration von Informationstechnologien weitere Services angeboten werden [10]. Hierdurch kann das Kundenerlebnis und das Zufriedenheitsgefühl gesteigert werden [13, 18, 19]. Hier werden fünf Services betrachtet. Wird der jeweilige Service von der Plattform unterstützt, entspricht dies dem Wert 1 und andernfalls dem Wert 0. Für Mobilitätsdienstleistungen ist die Navigationsfunktion während der Reise oder zum Verkehrsmittel eine Kernfunktion [17]. Die Schnellbuchung von Verkehrsmitteln auf dem Weg ermöglicht dem Kunden weitere Freiheit und Flexibilität [14]. Für eine entsprechend zuverlässige und schnelle Reiseplanung sind außerdem Echtzeitdaten und deren Synchronisation mit den einzelnen Providern unerlässlich [3, 17]. Eine Wittersynchronisation unterstützt eine intelligente Wahl der Verkehrsmittel. Abschließend sollten die Verkehrsmittel auch ohne Handy nutzbar und freischaltbar sein. Hier wird die Nutzung von Alternativen wie Smartcards betrachtet [24].

3.7 Detailbetrachtung: Individualisierung (IND)

Als letzte wichtige Dienstleistung wird die Möglichkeit der Anpassungen an die individuellen Präferenzen und Nutzungsprofile des Kunden diskutiert [17]. Es ergibt sich ein zum RU-Indikator analoges Schema (jeweils 1 Punkt). Das Anlegen eines Kunden- und Nutzungsprofils erlaubt es Kun-

den, dem System seine Reisepräferenzen mitzuteilen [13]. Als wichtige Einstellmöglichkeit wird die Option, die Routenplanung nach verschiedenen Optionen (Kosten, CO₂-Bilanz, Dauer) zu optimieren, separat bewertet. Die Verkehrszahlen zeigen weiter, dass die Deutschen hauptsächlich ihr eigenes Fahrzeug nutzen [6]. Daher sollte auch das eigene Fahrzeug in der Planung und Konzeption der Route berücksichtigt werden können. Um auch Familien und Gruppen die Reiseplanung durch die Plattform zu ermöglichen, sollten entstehende Einschränkungen bei der Nutzung bestimmter Verkehrsmittel in der Routenplanung berücksichtigt werden können [13]. Weiterhin zeigt sich als gängige Praxis, das Anlegen und die Schnellbuchung von favorisierten Routen zu unterstützen [13, 20, 22].

4. Benchmarking von Mobilitätsplattformen

Im Rahmen eines Benchmarks erfolgt nun eine exemplarische Anwendung. Diese fand im ersten Quartal 2019 statt. Die Analyse erfolgte durch systematische und standardisierte Nutzung der Apps mit der jeweils aktuellsten Version. Hierfür werden zunächst die Gewichtungen der einzelnen Subindikatoren sowie der einzelnen Verkehrsmittel ermittelt. Anschließend erfolgt eine kurze Darstellung der betrachteten deutschen und internationalen Plattformen. Ergänzend wird die Heuristik auf das in Entwicklung befindliche Projekt *regiomove*¹ angewendet. Im Anschluss werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

4.1 Gewichtungen

Abbildung 1 visualisiert die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs. Die Ergebnisse für die einzelnen Verkehrsmittel

¹ Über *regiomove*: Im Dezember 2017 startete der Karlsruher Verkehrsverbund (KVV) das Projekt *regiomove*. Die Formierung eines neuen Mobilitätsverbunds mit öffentlichen und privaten Mobilitätsanbietern soll den Fahrgästen eine nahtlose Mobilitäts- und Servicekette aus einer Hand ermöglichen. Gemeinsam mit den Partnern KIT, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft, FZI Forschungszentrum Informatik, raumobil GmbH, PTV Group, INIT GmbH, stadtmobil, Regionalverband Mittlerer Oberrhein, Landkreis Rastatt und der Stadt Karlsruhe wird die Zukunft der Mobilität in der gesamten Region neu gestaltet
Webseite: <https://www.regiomove.de/>

spiegeln die Wichtigkeit der Modale gemäß [3, 20, 22] und der in Kapitel 3.1 vorgestellten verwandten Arbeiten wider. Der Fokus auf die urbane Mobilität führt zu einer niedrigeren Gewichtung des überregionalen Verkehrs. Als Kernelemente einer Mobilitäts-App gemäß [3, 10, 17, 20] sind die Subindikatoren BB sowie RT am höchsten bewertet.

4.2 Vorstellung der betrachteten Plattformen

Für den Vergleich werden zunächst drei international erfolgreiche Plattformen betrachtet. Die finnländische Stadt Helsinki gilt als Vorreiter auf diesem Gebiet [12]. Bereits seit mehreren Jahren ist die Plattform **WHIM**² erfolgreich am Markt etabliert [12, 19]. Neben dem ÖPNV, Leihrädern, Taxen, Mietwägen und Sharing-Optionen sind auch Tarifmodelle integriert. Eine ähnliche Dimension zeigt sich mit der **Trafi-App**³ [25]. Hier wird die Stadt Vilnius in Litauen betrachtet. Als letztes wird die Plattform **UbiGo**⁴ der schwedischen Hauptstadt Stockholm analysiert, der eine ähnliche Vorreiterrolle zugeordnet wird. Sie ist als intermodaler Mobilitätsservice ausgewiesen und wurde auf Erkenntnisse des Pilotprojekts SMART aufgebaut [12]. Der Umfang der angebotenen Services und integrierten Verkehrsmittel ist dabei bei allen Plattformen vergleichbar. WHIM und Trafi integrieren bereits E-Scooter. Durch Berücksichtigung dieser Plattformen als Referenz kann nicht nur die Vergleichbarkeit zu anderen Arbeiten hergestellt werden, sondern auch die Vorreiterrolle geprüft werden.

Bei deutschen Städten gilt Berlin durch eine Vielzahl an Alternativen und Initiativen als Vorreiter in Sachen Mobilität [4]. Hier wird die App **berlinmobil**⁵ betrachtet. Die als intermodaler Routenplaner ausgewiesene App verbindet die wichtigsten Verkehrsmittel miteinander. Die App fungiert dabei als reiner Informations-Marktplatz. Für die Bezahlung und Buchung wird auf die entsprechenden Apps der Anbieter oder auf die Bezahlung vor Ort verwiesen. Weiterhin wird die **moovel-App**⁶ in Stuttgart untersucht. Hier handelt

² <https://whimapp.com/>

³ <https://www.trafi.com/>

⁴ <https://ubigo.me/>

⁵ <https://berlinmobil-app.de/>

⁶ <https://www.moovel.com/de/referenzen/moovel-mobility-app>

Abbildung 1: Gewichtungen der Subindikatoren (links) und Verkehrsmittel (rechts) als Ergebnisse des individuellen paarweisen Vergleichs

	BB	RT	MI	RU	IND		%
BB	1	0,5	1	1	1	3,5	35,00%
RT	0,5	1	1	1	1	3,5	35,00%
MI	0	0	1	0,5	0,5	1	10,00%
RU	0	0	0,5	1	1	1,5	15,00%
IND	0	0	0,5	0	1	0,5	5,00%
Check:						100,00%	

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Sum	%
1. Carsharing	1	0,5	0,5	1	1	1	1	5	23,81%
2. Bikesharing	0,5	1	0,5	1	1	1	1	5	23,81%
3. ÖPNV	0,5	0,5	1	1	1	1	1	5	23,81%
4. Taxi	0	0	0	1	1	1	1	3	14,29%
5. E-Scooter, ...	0	0	0	0	1	1	0,5	1,5	7,14%
6. Interregio	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	2,38%
7. Infrastruktur	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1	4,76%
Check:								100,00%	

Quelle: eigene Darstellung

es sich um das Produkt eines privaten Unternehmens und nicht um die eines öffentlichen Verkehrsbetriebes. Neben einer multimodalen Verbindungssuche und Echtzeitdaten bei deiner Fahrplanauskunft für den ÖPNV können verschiedene Carsharing-Anbieter, Taxen sowie Leihräder gebucht und bezahlt werden. Zusätzlich werden die Großstädte Hannover und Leipzig untersucht. In Hannover wird mit der **GVH-App**⁷ der entsprechende Service angeboten. Sie bietet eine volle Integration von ÖPNV und Leihrädern. Carsharing und Taxen können über eine Weiterleitung aus der App gebucht werden. Leipzig bietet mit **Leipzig mobil**⁸ eine volle Integration an und verbindet die grundlegenden Verkehrsmittel miteinander.

Ziel des regiomove-Projekts ist es, das bestehende Verkehrsangebot in Karlsruhe mit dem der ganzen Region mittlerer Oberrhein zu vernetzen. Neben den regionalen Verkehrsbetrieben sind private Mobilitätsanbietern sowie kommunale Vertreter im Projekt integriert. Besonders sind die Implementierung des intermodalen Routings, wie beispielsweise im österreichischen Pilotprojekt SMILE gezeigt, sowie der überregionale Charakter des Projekts. Hier werden die Ausbaustufen V2 und V3 im Vergleich ergänzend berücksichtigt. Diese werden ab Anfang 2020 bzw. Anfang 2021 verfügbar sein, weshalb sie in den folgenden Ergebnissen gesondert am Rand aufgelistet sind. Neben der intermodalen Integration von ÖPNV, Carsharing und Bikesharing werden E-Scooter, Taxen sowie ein umfassendes weiteres Angebot an Sharing-Optionen multimodal integriert sein. Zusätzlich werden wesentliche Services und öffentliche Infrastrukturen als Erweiterungen verfügbar sein. Eine erste Version der regiomove-Plattform wird ab Anfang 2020 erhältlich sein.

4.3 Benchmark-Ergebnisse

Das Ergebnis des Benchmarks ist in Abbildung 2 durch die grünen Balken dargestellt. Die international etablierten

⁷ <https://www.gvh.de/service/gvh-app/>

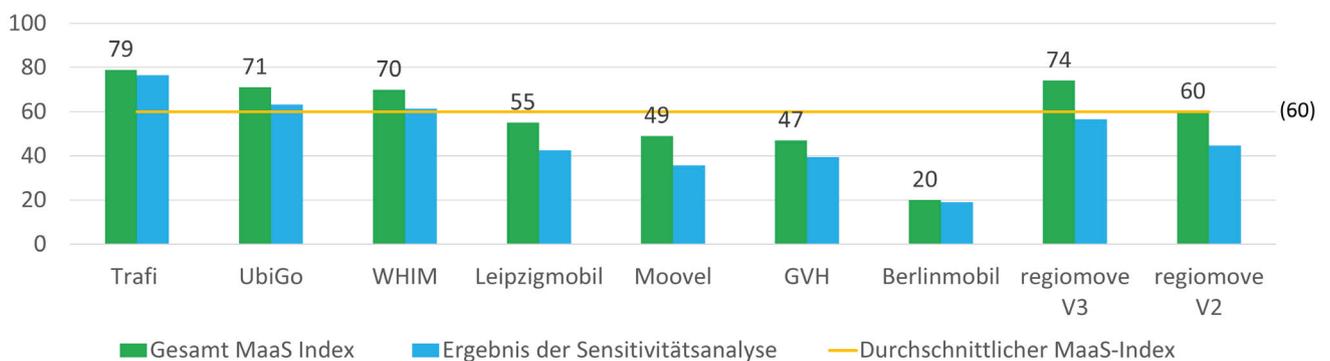
⁸ <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/produkte/leipzig-mobil>

Plattformen belegen die vordersten drei Plätze. Die Trafi-App zeigt den höchsten und umfassendsten Integrationsgrad und dient als Benchmark (79 Punkte). Unter den deutschen Apps zeigt Leipzig mobil den fortschrittlichsten Entwicklungsstand (55 Punkte). Der durchschnittliche Wert (60 Punkte) ist in der Abbildung eingefügt und liegt über dem höchsten deutschen Wert. Die fehlenden Punktzahlen können durch die (noch) nicht vorhandene interregionale Mobilität sowie die nicht vorhandene Integration der öffentlichen Infrastruktur erklärt werden. Den Unterschied zwischen reinen Informations- und Mobilitätsplattformen inklusive Ticketintegration zeigt der Vergleich zwischen berlinmobil und den restlichen Apps. Ohne Berücksichtigung der Weiterentwicklung der anderen Plattformen kann die regiomove-Plattform in ihrer Ausbaustufe V3 durch die intermodale Integration und den umfassenden Service den Abstand zu den internationalen Apps deutlich verkürzen und zum Benchmark im innerdeutschen Vergleich avancieren.

Die hellblauen Graphen repräsentieren das Ergebnis einer Permutation der Gewichtungen im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse. Sowohl die Spitzenpositionen der internationalen Apps sowie von Leipzig mobil als beste deutsche App ändern sich nicht. Obgleich sich also unterschiedlich große Sensitivitäten ergeben, bestätigt sich die Rangfolge. Die Robustheit der Heuristik unabhängig von den gewählten Gewichtungen wird bestätigt. Die Spitzenplatzierungen von UbiGo und WHIM aus dieser Heuristik decken sich mit den Ergebnissen aus [10]. Wesentliche Unterschiede ergeben sich bei der moovel- und der GVH-App. Einerseits wird die Nutzbarkeit der moovel-App im Vergleich zu [10] gezeigt, da in der hier vorgestellten Heuristik die Eigenständigkeit der Provider und ihrer individuellen Tickets berücksichtigt wird, sofern keine schwerwiegende Einschränkung bei der Nutzung entsteht. Andererseits kann die Platzierung der GVH-App gemäß [10] aus gleichem Grund nicht bestätigt werden. Es muss angemerkt werden, dass kein Unterschied zwischen GVH und Hannovermobil gefunden wurde, dieser aber auch nicht ausgeschlossen werden kann.

Abbildung 3 zeigt die Differenzierung des Gesamtindex anhand seiner Zwischenergebnisse. Hier ist der hohe Anbie-

Abbildung 2: Benchmarkergebnisse auf Basis der angewandten Bewertungsheuristik



Quelle: eigene Darstellung

ter-Score der regiomove-App V3 durch die intermodale Integration positiv hervorzuheben. Es ist eine wesentliche Momentaufnahme, dass bis heute keine der betrachteten Plattformen das intermodale Routing implementiert hat, obwohl einige Plattformen vom Anbieter als intermodal ausgewiesen sind. Ebenfalls ist erkennbar, dass der höhere Service-Score – vor allem durch das Angebot der Mobilitätsstarife – die vorderen Platzierungen der internationalen Apps stärkt.

5. Fazit

Die Frage, wie verschiedenste Mobilitätsplattformen und Ausprägungen bewertet werden können, konnte durch die systematische Analyse der Anforderungen und der Bestandteile sowie deren anschließenden Quantifizierung beantwortet werden. Insgesamt bietet diese Heuristik eine schnelle Option, den Entwicklungsstand von Mobilitätsplattformen mit freizugänglichen Informationen möglichst objektiv zu bewerten. Der Zugewinn an Transparenz und Standardisierung vereinfacht den Vergleich weitreichend. Obwohl sich der Fokus dieser Arbeit auf die eigentliche Bewertung beschränkt, werden wertvolle Erkenntnisse herausgestellt und gebündelt. Somit kann eine zielgerichtete Entwicklung forciert werden und die Heuristik mit dem Benchmark als Roadmap genutzt werden, um die Entwicklungspotentiale zu erfassen. Insbesondere seien hier die relevanten Verkehrsmittel sowie deren Wichtigkeit und Bedeutung an der urbanen Mobilität genannt. Weiterhin sind essentielle sowie zusätzliche Serviceleistungen, welche die reine Buchung und Routenplanung übersteigen, zu nennen. Um die User-Experience noch detaillierter zu quantifizieren, könnte das Modell um die Erfassung der Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen, Fahrräder und Straßenbahnen ergänzt werden (vgl. [15]). Weiterhin könnte die Bevölkerungsdichte und damit eine Art Verkehrsmitteldichte pro 1.000 Einwohner in die Bewertung integriert werden. Insbesondere sollte jedoch beachtet werden, dass die Nutzung solcher Plattformen ersten Studien zufolge auch das Mobilitätsverhalten der Kunden verändert [20]. Dies muss nicht nur bei der Konzeption

und Gewichtung der Services berücksichtigt werden, sondern auch von den städtischen Verkehrsplanern.

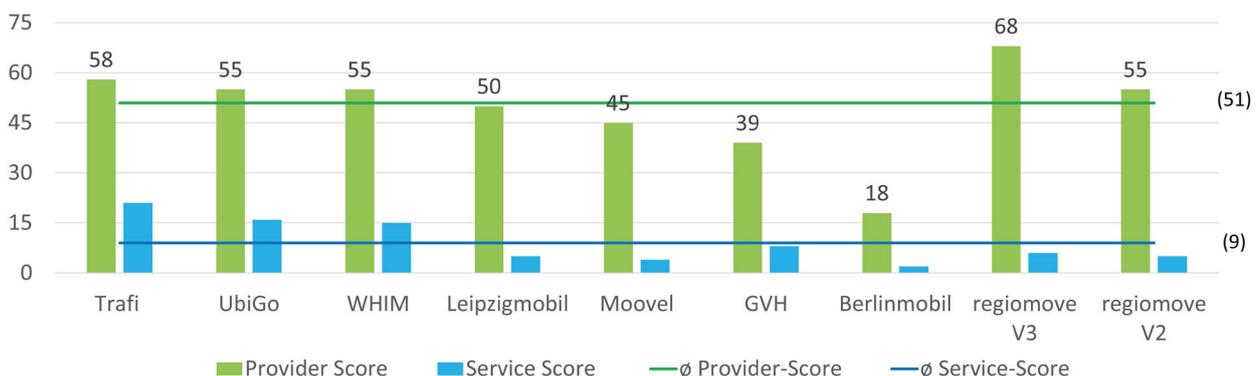
Es zeigt sich, dass die deutschen Vertreter im Vergleich zu den aufgeführten internationalen Vertretern bisher einen deutlichen Rückstand aufweisen. Als Problem können durchaus die vielen Insellösungen aufgeführt werden, die derzeit auch zu einer mangelnden Kompatibilität zwischen den Plattformen und Städten führen. Mit der Expansion der Trafi-App nach Berlin ergibt sich zusätzlich die Herausforderungen, dass etablierte internationale private Anbieter lokale oder deutsche Plattformen verdrängen können.

Einen interessanten Gegenpol stellt hierbei das Projekt regiomove dar, welches getrieben durch den Karlsruher Verkehrsverbund nicht nur wirtschaftliche, sondern auch gesellschaftliche Ziele wie Grundversorgung und Daseinsvorsorge verfolgt. Städten und Kommunen bietet dies die Möglichkeit, auch zukünftig Einfluss auf die Ausgestaltung der Mobilitätsangebote auszuüben. Die Vernetzung auf kommunaler und regionaler Ebene adressiert darüber hinaus das Problem der vielen Insellösungen und hilft, geographische Beschränkung auf den urbanen Kontext zugunsten des überregionalen Verkehrs abzubauen. Aus deutscher Sicht liegt es nahe, die Entwicklungen zu bündeln und Know-how effizient und zielgerichtet zu kombinieren. Durch eine Standardisierung wie in [14] kann die gesamtheitliche Entwicklung weiter beschleunigt und vereinfacht werden. Ein weiterer Schritt zur Etablierung einer konkurrenzfähigen nationalen Mobilitätsplattform liegt im Verbund-übergreifenden Betrieb der Plattformen. Auch hier wirbt das Projekt regiomove aktiv um Kooperationen mit anderen Verbänden und öffentlichen Mobilitätsanbietern, um die Plattform zu stärken und überregional zu etablieren.

Förderhinweis

Das Projekt regiomove wird von Seiten des Landes Baden-Württemberg und dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) mit rund 4,9 Millionen Euro über drei Jahre gefördert.

Abbildung 3: Visualisierung des Anbieter- und des Service-Score



Quelle: eigene Darstellung

Literatur

- [1] H. Tschöke, Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [2] M. Kamargianni und M. Matyas, „The Business Ecosystem of Mobility-as-a-Service“, Conference Paper, 96th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, 2017.
- [3] I. M. Karlsson, J. Sochor und H. Strömberg, „Developing the ‘Service’ in Mobility as a Service: Experiences from a Field Trial of an Innovative Travel Brokerage“, *Transportation Research Procedia*, Jg. 14, S. 3265-3273, 2016.
- [4] L. Gebhardt et al., „Intermodal Urban Mobility: Users, Uses, and Use Cases“, *Transportation Research Procedia*, Jg. 14, S. 1183-1192, 2016.
- [5] M. Attard und Y. Shiftan, Hg., Sustainable urban transport: Chapter 8 Understanding Multimodal and Intermodal Mobility. Bingley, U.K: Emerald, 2015.
- [6] BMVI, infas und DLR, „Mobilität in Deutschland 2017 – Ergebnisbericht“, 2017.
- [7] BMVI, „Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität: Aktionsplan“, Nov. 2018. Zugriff am: Apr. 04 2019.
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, DIW und DLR, „Verkehr in Zahlen 2017/2018“ 46. Zugriff am: Apr. 09 2019.
- [9] P. Jittrapirom, V. Marchau, R. van der Heijden und H. Meurs, „Working report: Future implementation of Mobility as a Service (MaaS): Results of an international Delphi study“, 2018. Zugriff am: Jan. 05 2019.
- [10] M. Kamargianni, W. Li, M. Matyas und A. Schäfer, „A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport“, *Transportation Research Procedia*, Jg. 14, S. 3294-3303, 2016.
- [11] D. Banister, „The sustainable mobility paradigm“, *Transport Policy*, Jg. 15, Nr. 2, S. 73-80, 2008.
- [12] Deloitte, „The rise of mobility as a service: Reshaping how urbanites get around“ 20, 2017. Zugriff am: Jan. 05 2019.
- [13] VDV und BMVI, „Veröffentlichung der VDV-Mitteilung 7046 „Definition und Dokumentation von Nutzeranforderungen an eine offene Mobilitätsplattform: Digitalisierte Mobilität – die offene Mobilitätsplattform“. Definition und Dokumentation der Nutzeranforderungen an die OMP, VDV, Köln, Version 0.5, 2018.
- [14] BMVI, „DIMO-OMP: DIGITALISIERTE MOBILITÄT – DIE OFFENE MOBILITÄTSPLATTFORM“, Berlin, Jul. 2017. Zugriff am: Apr. 04 2019.
- [15] C. Garau, F. Masala und F. Pinna, „Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison“, *Cities*, Jg. 56, S. 35-46, 2016.
- [16] C. Jödden, „Digitale Mobilitätsangebote – Status quo und aktuelle Trends: Expertendialog zu digitalen Mobilitätsformen“, Kantar TNS, Berlin, Apr. 2017. Zugriff am: Apr. 04 2019.
- [17] M. Schreieck, M. Wiesche und H. Krcmar, „Modularization of Digital Services for Urban Transportation“ in 2016.
- [18] U. Stopka, „Identification of User Requirements for Mobile Applications to Support Door-to-Door Mobility in Public Transport“ in LNCS sublibrary. SL 3, Information systems and application, incl. Internet/Web and HCI, Bd. 8512, Human-computer interaction: Applications and services : 16th international conference, HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014, proceedings, M. Kurose, Hg., Cham: Springer, 2014, S. 513-524.
- [19] G. Lyons, P. Hammond und K. Mackay, „The importance of user perspective in the evolution of MaaS“, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 121, S. 22-36, 2019.
- [20] D. König, J. Eckhardt, A. Aapaoja, J. Sochor und I. M. Karlsson, „Deliverable Nr 3 – Business and operator models for MaaS: MAASiFiE project funded by CEDR“. *Mobility As A Service For Linking Europe*. Zugriff am: Apr. 09 2019.
- [21] M. Pöllänen, R. Utriainen und R. Viri, „Challenges in the Paradigm Change from Mobility as a Self-service to Mobility as a Service“, S. 246-279, 2017.
- [22] Transport Systems Catapult, „MOBILITY AS A SERVICE: EXPLORING THE OPPORTUNITY FOR MOBILITY AS A SERVICE IN THE UK“, UK. Zugriff am: Apr. 09 2019.
- [23] A. Kampker, D. Vallée und A. Schnettler, Hg., *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie*, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [24] Polis Traffic Efficiency & Mobility Working Group, „Mobility as a Service: Implications for urban and regional transport“. Discussion paper offering the perspective of Polis member cities and regions on Mobility as a Service (MaaS), Brüssel, Sep. 2017. Zugriff am: Apr. 14 2019.
- [25] BMW Group et al., „Integrating new mobility services in urban transport“, Mrz. 2018. Zugriff am: Apr. 09 2019.

Über die DVWG

Die Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V. (DVWG) ist eine unabhängige und föderal strukturierte, gemeinnützige Vereinigung von Verkehrsfachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung. Seit über 100 Jahren verfolgt die DVWG das Ziel, aktuelle und perspektivische Fragestellungen im Verkehr aufzugreifen, zu diskutieren und zu publizieren. Dabei befasst sie sich als neutrale Plattform Verkehrsträger übergreifend mit allen Belangen des Verkehrs und orientiert sich an einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung.

Die DVWG wirkt im besonderen Maße für die Förderung des Nachwuchses über das Junge Forum und verleiht verkehrswissenschaftliche Nachwuchspreise. Auf europäischer Ebene widmet sie sich der Zusammenführung von Verkehrsfachleuten aus allen europäischen Staaten unter dem Dach einer Europäischen Plattform der Verkehrswissenschaften (EPTS).

Mitglieder der DVWG sind Studierende und junge Akademiker, Berufstätige und Senioren, aber auch Ingenieurbüros, Verkehrsverbände, Klein- und Mittelstandsunternehmen der Transport- und Verkehrswirtschaft, Kommunen sowie Verwaltungs-, Bildungs- und Forschungseinrichtungen. Den Mitgliedern der DVWG bieten sich hervorragende Möglichkeiten für einen fachspezifischen Informations- und Wissensgewinn, für berufliche Qualifizierung und Weiterbildung und nicht zuletzt auch für den Auf- und Ausbau von Karriere-, Berufs- und Partnernetzwerken.

Impressum

Herausgeberin:
Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V.
Hauptgeschäftsstelle
Weißener Str. 16
13595 Berlin

Tel.: 030/ 293606-0
Fax : 030/ 293606-29
E-Mail: hgs@dvwg.de
Internet: www.dvwg.de

Präsident:
Prof. Dr. Jan Ninnemann

Vereinsregister Amtsgericht Berlin-Charlottenburg VR 23784 B
USt.-IdNr.: DE 227525122

Kontakt Redaktion:
E-Mail: journal@dvwg.de