

Martin Kagerbauer

Integration von neuen
Mobilitätsformen in
Verkehrserhebungen und
Verkehrsmodellierung



Scientific
Publishing

Martin Kagerbauer

**Integration von neuen Mobilitätsformen in
Verkehrserhebungen und Verkehrsmodellierung**

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen

Band 77

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buchs.

Integration von neuen Mobilitätsformen in Verkehrserhebungen und Verkehrsmodellierung

von
Martin Kagerbauer

Habilitation, Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Verkehrswesen, 2021
Tag des Habilitationskolloquiums: 20. Oktober 2021
Referenten: Prof. Dr.-Ing. Klaus Bogenberger
Prof. Dr.-Ing. Carsten Gertz
Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding parts marked otherwise, the cover, pictures and graphs –
is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License
(CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2022 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 0341-5503
ISBN 978-3-7315-1179-3
DOI 10.5445/KSP/1000144791

Kurzfassung

Neue Mobilitätsformen, wie zum Beispiel Car- oder Bikesharing, aber auch Ridesharing, -hailing und -pooling, oder neue Technologien, wie Elektromobilität oder Automatisierung, sind heute schon Teil des Verkehrsangebots. Mobilitätsdienste, die Informationen über Mobilitätsoptionen oder neue Produkte bereitstellen, tragen ebenfalls dazu bei, dass die Verkehrsnachfrage individueller und vielfältiger wird. Obwohl diese neuen Mobilitätsformen und Mobilitätsdienstleistungen im Vergleich zu konventionellen Verkehrsmitteln derzeit noch einen geringen Anteil am Modal Split aufweisen, entwickeln sie sich dynamisch, da dieser Markt zunehmend wichtiger wird. Treiber dafür sind unter anderem Klimaschutz- und Umweltaspekte, technische Entwicklungen, Individualisierung und Wertewandel und vor allem die Informations- und Kommunikationstechnologie.

Für eine nachhaltige Verkehrsplanung ist es notwendig, die Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt in Verkehrsangebot und -nachfrage adäquat im Ist-Zustand aber auch in Prognosefällen abzubilden. Die Werkzeuge, die für die Verkehrsplanung verwendet werden, sind im wesentlichen Datenerhebungen und Modellierungen. Neue Mobilitätsformen sind je nach Art derzeit (noch) wenig verbreitet. Sie erfordern spezielle Rahmenbedingungen in Verfügbarkeit auf Verkehrsangebots- und Nutzenden-Seite. Um diese neuen Mobilitätsformen aber dennoch in der Verkehrsplanung berücksichtigen zu können, ist es sinnvoll, die Erhebungen und Modelle dahingehend anzupassen.

Die Erhebungen, oft in Form von Befragungen, sind so zu modifizieren, dass in der Stichprobe genügend Teilnehmende enthalten sind, die speziell neue Mobilitätsformen oder Mobilitätsdienstleistungen nutzen. Dazu kann die Stichprobenziehung direkt auf die Nutzenden zugeschnitten, wegen der geringen Nutzungshäufigkeiten der Angebote längere Erhebungszeiträume gewählt oder die Fragestellungen angepasst werden. Neben der Abfrage von retrospektiv genutzten Verkehrsangeboten in Form von Revealed-

Preference-Befragungen, werden daher zunehmend Stated-Preference-Befragungen durchgeführt. Mit diesen können hypothetische Situationen erhoben werden. Dies kann bei neuen Mobilitätsformen erforderlich sein, da sie oft nur wenigen Nutzenden bekannt sind oder selten genutzt werden. Zudem können Nutzenden- und Nutzungsdaten der Anbieter von neuen Mobilitätsformen verwendet werden, sofern sie verfügbar sind.

Durch die steigende Individualisierung des Verkehrsangebots, aber auch der Verkehrsnachfrage, bietet sich bei der Abbildung der neuen Mobilitätsformen und Mobilitätsdienstleistungen die agentenbasierte Modellierung an. Jeder Agent repräsentiert eine Person im Untersuchungsraum und weist individuelle Eigenschaften auf, z. B. in Form von Soziodemografie oder Verkehrsmittelbesitz. Die agentenbasierte Nachfragemodellierung modelliert alle Wege und Aktivitäten aller Agenten einzeln unter Berücksichtigung der Umfeldsituation der Agenten. Durch die räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Abbildung aller Aktivitäten und Wege können die Charakteristiken der Agenten (z. B. Verkehrsmittelverfügbarkeiten) und der Mobilitätsdienstleistungen, als zur Verfügung stehende Angebotsoptionen mit deren Eigenschaften, abgebildet werden. Durch eine kleinteilige, räumliche Abbildung der Wege können einzelne Etappen und somit intermodales Verhalten dargestellt werden. Durch die Modellierung von längeren Zeiträumen ist es möglich, multimodales Verkehrsverhalten zu analysieren. Mit der agentenbasierten Modellierung sind alle Wahlentscheidungen der Agenten, sei es beim Verkehrsmittelbesitz oder bei der Aktivitäten-, Ziel und Verkehrsmittelwahl, individuell auf die Agenten zugeschnitten. So können die Charakteristiken der neuen Mobilitätsformen auf Verkehrsangebots- und -nachfrageseite integriert werden.

Sowohl bei der Erhebung als auch bei der Modellierung hängt die Art der Anpassung der Planungswerkzeuge von der jeweiligen neuen Mobilitätsform bzw. Mobilitätsdienstleistung ab und muss immer im Einzelfall betrachtet werden.

Abstract

New technologies and forms of mobility are gradually becoming part of today's transportation supply, thus, diversifying it and resulting in a more individual transportation demand. Such new forms of mobility include car- or bikesharing, ridesharing, -hailing and -pooling as well as new technologies, such as electric mobility or automation. Although these new forms of mobility and mobility services currently only account for a small share of the total modal split, they are becoming increasingly important, as the market development is very dynamic. This dynamic can be attributed to several factors such as the increased awareness of environmental issues, technical developments, individualization and changing values of transportation users as well as information and communication technology.

Because these new services have the potential to make a lasting impact on transportation systems, it is necessary to reflect adequately the developments of the mobility market in transportation planning. The main method of choice in transport planning are travel demand models, which are usually based on travel surveys. However, as new forms of mobility are currently still rarely used, they are often not adequately accounted for in the data and subsequent models. To be able to take these new forms of mobility into account in transport planning tools, it is advisable to adapt both surveys and models.

Travel surveys should be adapted such that the sample includes enough participants who have used the new mobility service. For this purpose, the sampling can be tailored to the users of new forms of mobility. Furthermore, longer survey periods increase the chance that the new services are used during the survey or the questions can be adapted. In addition to revealed preference surveys – in which respondents retrospectively report their mode choices – stated preference surveys are becoming more popular. Stated preference surveys are used to present respondents with hypothetical situations

in which they are asked to choose among a given set of alternatives. Although new forms of mobility are often not sufficiently known or used by respondents, stated preference surveys still allow for the generation of an adequate data basis. Additionally, user and usage data made available by mobility service providers can increase information density – on the condition that the data are available.

Travel demand models should be adapted as well, especially when wanting to evaluate policy measures and (future) effects of new mobility services. Agent-based travel demand models are suitable to consider new forms of mobility and mobility services, adequately, because they work on an individual level. Each agent represents a person in the study area and has individual characteristics, for example socio-demographics or access to cars, carsharing or transit passes. Agent-based travel demand models simulate all trips (including modes, trip purposes, etc.) and activities of all agents individually. Due to the high spatial (geocodes or small zones) and temporal (per minute) resolution of all trips and activities, agent-based travel demand models consider the characteristics of the agents (e.g., mode availability or ownership) and of the mobility services (available mode options and their characteristics) in every specific situation. Additionally, agent-based travel demand models work with trip stages and thus intermodal travel behavior. By modelling longer periods of time, it is also possible to analyze multimodal travel behavior. All steps of the agent-based model, e.g., mode ownership modules or activity, destination and mode choice, can be adapted such that the characteristics of the new forms of mobility on the supply and demand side are integrated on an individual level.

In both surveys and models the type of adaptation depends on the specific new form of mobility or mobility service and must be considered on a case-by-case basis.

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Habilitation, abgesehen von den vollständig und genau bezeichneten Hilfsmitteln und Quellen, selbstständig verfasst und angefertigt sowie die Grundsätze des Karlsruher Instituts für Technologie zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis beachtet habe.

Karlsruhe, Oktober 2021

Dr.-Ing. Martin Kagerbauer

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract.....	iii
Inhaltsverzeichnis.....	vii
Abbildungsverzeichnis.....	ix
Tabellenverzeichnis.....	xv
Abkürzungsverzeichnis.....	xvii
Vorwort.....	xxi
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen	5
2.1 Definitionen	5
2.2 Treiber für die Veränderung der Mobilität	10
2.2.1 Städtebauliche Aspekte.....	15
2.2.2 Klima- und Umweltaspekte: Postfossile, klimaneutrale Mobilität.....	20
2.2.3 Individualisierung: Smart Mobility und Wertewandel	29
2.2.4 Digitalisierung: Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)	34
2.3 Mobilitätsverhalten	36
3 Integration neuer Mobilitätsformen in die Verkehrsplanung	51
3.1 Planungsprozesse	51
3.2 Erhebung.....	55
3.2.1 Revealed-Preference-Befragungen (RP-Befragung)	58
3.2.2 Stated-Preference-Befragungen (SP-Befragung).....	69
3.3 Modellierung	80

4	Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung	105
4.1	Integration neuer Mobilitätsformen	106
4.2	Neue Mobilitätsformen	108
4.2.1	Elektromobilität.....	108
4.2.2	Fahrzeugsharing (Carsharing, Bikesharing, ...)	133
4.2.3	Ridesharing, Ridehailing und Ridepooling	164
4.2.4	Automatisierung.....	191
4.3	Multi- und Intermodalität als Folge neuer Mobilität.....	217
4.3.1	Berücksichtigung von Multimodalität in den Planungswerkzeugen.....	219
4.3.2	Berücksichtigung von Intermodalität in den Planungswerkzeugen.....	221
5	Ausblick	231
6	Zusammenfassung.....	237
	Literaturverzeichnis	245

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Verkehrsangebot: Abgrenzung Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsdienstleistung (=Mobilitätsdienstleitungen).....	6
Abbildung 2.2:	Auswahl von Start-ups im Mobilitätsbereich, Stand 2019	13
Abbildung 2.3:	Veränderung von Geschäftsmodellen.....	14
Abbildung 2.4:	Verschimmen der Mobilitätsstrukturen.....	19
Abbildung 2.5:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen weltweit im Jahresvergleich (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äquivalent).....	21
Abbildung 2.6:	Höhe der CO ₂ -Emissionen nach ausgewählten Ländern weltweit im Jahresvergleich 1990 und 2018 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äquivalent).....	22
Abbildung 2.7:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äquivalent)	23
Abbildung 2.8:	Ziele des Klimaschutzplans der BMU	25
Abbildung 2.9:	Entwicklung der NO _x -Emissionen in Deutschland (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äquivalent)	26
Abbildung 2.10:	Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte in Deutschland	28
Abbildung 2.11:	Rahmenfaktoren des individuellen Mobilitätsverhaltens. 37	
Abbildung 2.12:	Lebenszyklus von der dreiphasigen Biografie hin zu Multigrafie.....	38
Abbildung 2.13:	Entwicklung der Verkehrsleistung in den letzten 20 Jahren	40

Abbildung 2.14: Entwicklung des Verkehrsaufkommens in den letzten 20 Jahren	40
Abbildung 2.15: Entwicklung des Verkehrsmittelnutzung (MIV und ÖV) in den letzten 20 Jahren	41
Abbildung 2.16: Entwicklung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Führerschein und ÖV-Zeitkarte) in den letzten 20 Jahren	43
Abbildung 2.17: Kombination von Modi in Deutschland.....	45
Abbildung 2.18: Entwicklung des multimodalen Verkehrsverhaltens.....	46
Abbildung 2.19: Entwicklung des multimodalen Verkehrsverhaltens.....	47
Abbildung 2.20: Auswertung intermodaler Wege für ÖV in Baden-Württemberg und für Carsharing in Karlsruhe	49
Abbildung 3.1: Wechselwirkungen zwischen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot.....	52
Abbildung 3.2: Treiber Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot.....	54
Abbildung 3.3: Modal Split in Deutschland im Jahr 2017	60
Abbildung 3.4: Städteranking Carsharing in Deutschland 2019	61
Abbildung 3.5: Modal Split in der Region und Stadt Karlsruhe mit neuen Mobilitätsformen im Jahr 2017.....	62
Abbildung 3.6: Übersicht zum methodischen Vorgehen beim Ziehen einer Stichprobe	65
Abbildung 3.7: Ablauf einer Choice-Befragung	73
Abbildung 3.8: Beispiel einer Nest-Struktur	75
Abbildung 3.9: Beispiel einer vom KIT-IfV durchgeführten Stated-Choice-Befragung	77
Abbildung 3.10: Die vier Stufen eines makroskopischen Verkehrsnachfragemodells	83
Abbildung 3.11: Ablauf von mobiTopp – Long-Term- und Short-Term-Modell	88

Abbildung 3.12:	Ablauf des Short-Term-Modells in mobiTopp	93
Abbildung 4.1:	Nettostromerzeugung zur öffentlichen Stromversorgung in Deutschland im ersten Quartal 2020	109
Abbildung 4.2:	Entwicklung der Nettostromerzeugung zur öffentlichen Stromversorgung in Deutschland im ersten Quartal von 2015 bis 2020	110
Abbildung 4.3:	Bestandsentwicklung von Elektro-Pkw (weltweit und in ausgewählten Ländern in den Jahren 2012 bis 2019	113
Abbildung 4.4:	Verbrauchergruppen bei der Einführung von neuen Technologien (blau) und Marktanteil (gelb)	116
Abbildung 4.5:	Verteilung der maximalen Fahrleistung pro Pkw und Tag für verschiedene Betrachtungszeiträume	121
Abbildung 4.6:	Verteilung der E-Fahrzeuge in der Region Stuttgart 2030	127
Abbildung 4.7:	Lademenge je Ladeort in der Region Stuttgart	129
Abbildung 4.8:	Beispiel für ein kombiniertes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell.....	131
Abbildung 4.9:	Anzahl Carsharing-Fahrzeuge und Carsharing-Kunden (Stand 2020)	139
Abbildung 4.10:	Anzahl Carsharing-Fahrzeuge und Carsharing-Kunden bis zum Jahr 2020.....	140
Abbildung 4.11:	Carsharing Städteranking	141
Abbildung 4.12:	Daten zu den Bikesharing-Programmen in Deutschland	144
Abbildung 4.13:	Anzahl der E-Scooter in ausgewählten deutschen Städten 2019 nach Anbietern	145
Abbildung 4.14:	Struktur der Carsharing-Kundschaft von stationsbasierten und free-floating Carsharing- Systemen	147

Abbildung 4.15: Weglängenverteilung pro Buchung von stationsbasierten und free-floating Carsharing-Systemen.....	148
Abbildung 4.16: Screenshot der Buchungsplattform (App) von Stadtmobil in Karlsruhe.....	150
Abbildung 4.17: Nutzungshäufigkeiten von Carsharing-Fahrzeugen durch Carsharing-Nutzende	152
Abbildung 4.18: Nutzungshäufigkeiten von Carsharing-Fahrzeugen in Deutschland	153
Abbildung 4.19: Wegezwecke mit stationsbasiertem und free-floating Carsharing in der Region Stuttgart.....	161
Abbildung 4.20: Ganglinien der stationsbasierten und free-floating Carsharing-Wege in der Region Stuttgart – modelliert und aus Erhebungsdaten	162
Abbildung 4.21: Nutzung von Ridesharing-Anbietern in Deutschland in den letzten 12 Monaten.....	166
Abbildung 4.22: Durchschnittliche Anzahl der täglichen Fahrten ausgewählter Ridehailing-Anbieter weltweit im Jahr 2019 (Stand: Mai 2019; in Mio.).....	169
Abbildung 4.23: Nutzende von Ridehailing-Diensten in ausgewählten Städten	170
Abbildung 4.24: Reduktion des Verkehrsflusses durch Ridepooling-Dienste.....	173
Abbildung 4.25: Schematische Darstellung der Pooling-Vorgänge	179
Abbildung 4.26: Analyse eines einzelnen Ridepooling-Fahrzeuges.....	180
Abbildung 4.27: Analyse eines einzelnen Ridepooling-Fahrzeuges.....	182
Abbildung 4.28: Modal Split für Boston Area für Prognose-Nullfall 2030 – eigene Berechnungen	183

Abbildung 4.29: Zeitliche Verteilung der Nachfrage an MOIA-Fahrten (Hamburg, linker Teil) und an allen Verkehrsmitteln (MiD, rechter Teil)	189
Abbildung 4.30: Grade der Automatisierung und ihre Definition nach BAST	193
Abbildung 4.31: Levels (Stufen) of Driving Automation nach SAE J3016 ..	194
Abbildung 4.32: Vergleich der Nutzungsabsicht bei verschiedenen Verkehrstypen.....	197
Abbildung 4.33: Hemmnisse bei der Einführung des autonomen Fahrens.....	201
Abbildung 4.34 Exemplarische Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen.....	202
Abbildung 4.35: Anteil der Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen an den Neuzulassungen	203
Abbildung 4.36: Potenzielle Änderungen der Zeitverwendung bei Studierenden beim Weg zur Ausbildung.....	206
Abbildung 4.37: Beschreibung des autonomen Fahrens für eine Befragung	210
Abbildung 4.38: Beispiel für eine Befragung zur Zeitverwendung im autonomen Fahrzeug	212
Abbildung 4.39: Differenz der in einer Zelle beginnenden Fahrzeugwege in Stuttgart in der Spitzenstunde im Szenario: „Heute versus nur autonomes Ridepooling ohne privaten Pkw-Besitz“	214
Abbildung 4.40: Anzahl der Etappen pro Weg aus MiD 2017	225
Abbildung 4.41: Nested-Logit-Ansatz für ein intermodales Verkehrsmittelwahlmodell.....	227
Abbildung 4.42: Ergebnis der modellierten intermodale Wege.....	229

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Aktualisierte Einteilung der Verkehrsmittel/Produkte nach Verkehrsart, Modus und Zugang	9
Tabelle 2.2:	Unterschiede Urban Sprawl und New Urbanism	17
Tabelle 3.1:	Kenngößen aus Haushaltsbefragungen nach EVE.....	56
Tabelle 3.2:	Personenbezogene Erhebungsansätze zu allgemeinem Verhalten, Einstellungen oder Selbsteinschätzungen	67
Tabelle 3.3:	Klassifikation der Befragungen in hypothetischen Situationen	70
Tabelle 3.4:	Terminologie zum Personen- und Wirtschaftsverkehr	81
Tabelle 3.5:	Für die Verkehrsmittelwahl zur Verfügung stehendes Choice-Set in verschiedenen Situationen.....	94
Tabelle 4.1:	Einflussfaktoren des Logit-Modells zur Bestimmung der Nutzenden für das stationsbasierte Carsharing	159
Tabelle 4.2:	Soziodemografische Struktur der MOIA-Nutzenden.....	176
Tabelle 4.3:	Mobilitätsstruktur der MOIA-Nutzenden.....	177
Tabelle 4.4:	Erhebungsansätze für intermodales Verhalten.....	223
Tabelle 4.5:	Relevanz der Abbildung der Verkehrsmittelkombinationen (2 und 3 Etappen)	228
Tabelle 6.1:	Zu berücksichtigende Charakteristika der neuen Mobilitätsformen	238
Tabelle 6.2:	Anpassungen in den Erhebungen durch die Integration neuer Mobilitätsformen.....	239
Tabelle 6.3:	Anpassungen in der Modellierung durch die Integration neuer Mobilitätsformen.....	241

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating current
AST	Anrufsammeltaxi
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BEV	Battery Electric Vehicles
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BW	Baden-Württemberg
CNG	Compressed Natural Gas
CS	Carsharing
CsgG	Carsharing-Gesetz
DC	Direct current
EVE	Empfehlung für Verkehrserhebungen
FCD	Floating Car Data
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
Fz	Fahrzeug
HEV	Hybrid Electric Vehicle
IfV	Institut für Verkehrswesen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie

ITCS	Intermodal Transport Control System
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KVV	Karlsruher Verkehrsverbund
KW	Kilowatt
LIS	Ladeinfrastruktur
LPG	Liquefied Petroleum Gas Vehicles
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
NG	Natural Gas Vehicle
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖPFV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personenfernverkehr
P&R	Park and Ride
P+M	Parken und Mitfahren
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PHEV	Plug-In-Hybridfahrzeug
Pkw	Personenkraftwagen
PKWF	nur Pkw als Fahrende
RBL	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem im ÖV
REEV	Range Extended Electric Vehicles
RP	Revealed Preference (i. d. R. verwendet für Befragungen)
SAE	Society of Automotive Engineers

SOC	State of charge
SP	Stated Preference (i. d. R. verwendet für Befragungen)
StVO	Straßenverkehrsordnung
TAF BW	Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg
TUM	Technische Universität München
VoT	Value of Time
VOTL	Vertical Take-Off and Landing

Vorwort

Der Reiz für die Forschenden besteht darin, etwas Neues zu entdecken. Neue Mobilitätsformen sind Fluch und Segen zugleich. Segen darin, dass sich das Angebot ständig verändert und volatil ist, und somit immer Raum bleibt, die Wirkungen neu zu entdecken. Fluch, in der Form, dass sich die Wirkungen ändern und immer wieder neu entdeckt werden müssen.

Das KIT-Institut für Verkehrswesen bot und bietet für mich das ideale Umfeld für die Beforschung der neuen Mobilitätsformen, die in meinem bisherigen (beruflichen) Leben immer wieder im Fokus standen. Diese vorliegende Arbeit fasst die Arbeiten, die ich seit meiner Promotion am KIT begleiten durfte, zusammen – mit einem großartigen Team am gesamten IfV.

Mein spezieller Dank geht an die IfV-Modellierer (in der Reihenfolge des Erscheinens): Nicolai Mallig, Ole Schröder, Michael Heilig, Tim Hilgert, Lars Briem, Anna Reiffer, Tim Wörle, Nadine Kostorz, Gabriel Wilkes, Lukas Barthelmes, Christian Klinkhardt, Jelle Kübler, Milan Schmitt, Emre Görgülü – ihr seid das beste Team der Welt, ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Besonders bedanken möchte ich bei Peter Vortisch, für die uneingeschränkte Unterstützung – es ist mir eine Ehre in deiner Zeit als Institutsleiter der erste Habilitand zu sein, nachdem ich nur bedingt dein erster Promovend war.

Vielen Dank auch an Klaus Bogenberger und Carsten Gertz für eure fachliche Expertise im wissenschaftlichen Austausch und die Erstellung der Gutachten.

Ganz herzlichen Dank an das gesamte Team der INOVAPLAN GmbH dafür, dass ich mit euch in vielen interessanten und erfolgreichen Projekten den Bezug zur Verkehrsplanungspraxis habe. Die Verbindung aus Forschung und Praxis ist für mich äußerst wertvoll, die Arbeit mit euch macht sehr viel Freude.

Danke an meine Geschäftsführungskollegen Tim Hilgert, Sascha Klein und Wilko Manz sowie Dirk Zumkeller, der mich mein ganzes Berufsleben bei der INOVAPLAN GmbH und am IfV begleitet.

Danke an euch alle, dass ihr mir die Zeit für „Keine Termine“ in meinem Kalender für diese Arbeit ermöglicht habt.

Und vor allem: Danke an meine Frau Anke für alles!

Karlsruhe, Oktober 2021

Dr.-Ing. Martin Kagerbauer

1 Einleitung

Mobilität der Zukunft, was ist das? Die Forschung in dem Bereich Mobilität und Verkehr beschäftigt sich damit intensiv. Gerade in Zeiten sich verändernder (Mobilitäts-)bedürfnisse der Menschen, aber auch neuer technischer Mittel zur Fortbewegung sind beide ein volatiler Forschungsgegenstand. Wie sieht die Mobilität der Zukunft aus? Sie wird sich in bestimmten Teilen verändern – das Zeitbudget der Menschen, das für Ortsveränderungen zur Durchführung von Aktivitäten verwendet wird, ist jedoch seit Jahrzehnten relativ konstant.^{1,2} Was sich geändert hat, ist die Geschwindigkeit, mit der wir uns bewegen, und somit auch die Entfernung und/oder die Verkehrsmittel, die wir verwenden.

Mobilität, vom lateinischen *mobilitas* (Beweglichkeit, Schnelligkeit, Gewandtheit) bzw. *mobilis* (beweglich, leicht zu bewegen, biegsam)³, beschreibt die geistige Beweglichkeit, oder soziologisch gesehen, die Beweglichkeit in Bezug auf den Beruf, die soziale Stellung oder den Wohnsitz. Zur Mobilität gehören die Möglichkeit und Bereitschaft zur Bewegung.⁴ Im Verkehr hingegen, zeigt

¹ Lisa Ecke, Bastian Chlund, Miriam Magdolen, Tim Hilgert und Peter Vortisch, „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung.“ (Institut für Verkehrswesen (KIT), 2020).

² Claudia Nobis und Tobias Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“. FE-Nr. 70.904/15 (Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018).

³ Pons Online-Wörterbuch. <https://de.pons.com/%C3%BCbersetzung/latein-deutsch> (letzter Zugriff: 7. Februar 2020).

⁴ Helmut Nuhn und Markus Hesse, *Verkehrsgeographie*, 1. Aufl. Grundriss allgemeine Geographie 2687 (Paderborn: Schöningh, 2006). <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838526874>.

sich die realisierte Mobilität.⁵ Obwohl beide Begriffe im heutigen Sprachgebrauch oft fälschlicherweise synonym verwendet werden und Mobilität im Vergleich zum Verkehr eine viel positivere Konnotation hat, bezieht die Mobilität die individuellen Motive und Hintergründe stärker mit ein. Verkehr ist „nur“ das Ergebnis der realisierten Mobilität. Wenn im Folgenden von Mobilität gesprochen wird, ist immer die realisierte Mobilität gemeint.

Ein Blick in die Historie zeigt, dass sich die Art, wie die Mobilität durchgeführt wird, im Laufe der Zeit ändert. Heute ist die Anzahl der Optionen, mit welchen Verkehrsmitteln die Mobilität durchgeführt wird, weitaus höher, als noch in den zurückliegenden Dekaden: E-Scooter, Ridepooling, Elektroautos, Bikesharing oder Carsharing (in verschiedenen Angebotsformen; flexibel oder stationsgebunden), Taxis, öffentliche Verkehrsmittel (mit unterschiedlichen Angeboten vom „traditionellen“ Bus bzw. Schienenbetrieb hin zu flexiblen Formen wie beispielsweise AST (Anrufsammeltaxis)), Fahrräder und natürlich der Fußverkehr.^{6,7}

Zukünftig werden vermutlich diese Verkehrsmittelangebote noch erweitert um autonome Fahrzeuge (inklusive Robotaxi oder Roboshuttles) oder Flugtaxi und sicher auch Konzepte, die heute noch nicht absehbar sind.

Der Blick zurück zeigt, dass die Verkehrsmitteloptionen in der Vergangenheit übersichtlicher waren: Wege zu Fuß gab es immer, dann die Fortbewegung mit Tieren (Reiten und mit Kutschen) gefolgt von Eisenbahn mit Dampf und Fahrrad⁸ über motorisierte Fahrzeuge, erstmals patentiert mit dem

⁵ Claus J. Tully und Dirk Baier, *Mobiler Alltag: Mobilität zwischen Option und Zwang - vom Zusammenspiel biographischer Motive und sozialer Vorgaben*, 1. Aufl. (Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss, 2006).

⁶ Strenggenommen nach FGSV ist der Fußverkehr kein Verkehrsmittel, sondern eine Bewegung mit den Füßen (zu Fuß). Verkehrsmittel sind nach dieser Definition: Fahrzeuge für die Ortsveränderung von Personen und/oder Gütern.

⁷ FGSV, *Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen* (Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2020).

⁸ Erfindung der Draisine um 1817, in den Folgejahren folgten weitere Spezifikationen.

Motordreirad „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“⁹ bis hin zur Passagierluftfahrt Anfang des 20. Jahrhunderts. Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts gab es dann, abgesehen von verschiedenen Spezifikationen der oben benannten Verkehrsmodi Fuß, Rad, motorisierter Individualverkehr (MIV) und öffentlicher Verkehr (ÖV), keine großen Veränderungen.

Ab dem 21. Jahrhundert kamen dann mit zunehmender Digitalisierung vor allem neue Geschäftsmodelle und Anwendungen bzw. Abwandlungen der bestehenden Verkehrsmittel in einem immer individualisierteren und flexibleren Umfeld hinzu. Neue und detailliertere Informationen und der (digitale) Zugang zu (neuen) Verkehrsmitteloptionen ermöglichen demnach eine vielfältigere Nutzung der Verkehrsmittel, je nach Situation. Veränderungen im Verkehrsangebot sowie bei den Mobilitätsdienstleistungen bedingen auch eine veränderte Verkehrsnachfrage – und umgekehrt. Somit ergeben sich Veränderungen im gesamten Verkehrsbereich, die Auswirkungen auf die Planungsprozesse und -methoden haben.

Essenziell wichtig für nutzerorientierte Verkehrsangebote und Mobilitätsdienstleistungen ist, zu wissen, wie diese auf das Mobilitätsverhalten und damit auch auf die Verkehrsmittelnutzung wirken. Nur so kann die Wirtschaftlichkeit und die Sinnhaftigkeit der Mobilitätsdienstleistungen und Verkehrsangebote bewertet werden. Deren großer Unterschied zu konventionellen Verkehrsmitteln besteht darin, dass sie erstens keine Massenphänomene sind und nur von wenigen Menschen, oft auch selten, benutzt werden. Das erschwert die Erhebung der Nutzungen, die für Verkehrsplanungsprozesse notwendig sind, denn dafür wird eine relativ große Stichprobe benötigt, um Nutzungsfälle zu identifizieren – sofern die Stichproben zufällig gezogen werden. Zweitens sind neue Mobilitätsformen oft erst in einer frühen Planungs- bzw. Umsetzungsphase und das realisierte Mobilitätsverhalten der Menschen mit diesen Mobilitätsformen kann nicht einfach erhoben werden, so dass neue oder andere Erhebungsformen notwendig werden. Drittens gilt

⁹ Erstes Patent im Jahr 1886 von Carl Benz. Vorläufer gab es auch schon früher.

es auch, Modelle zu ertüchtigen bzw. neue Modellansätze zu entwickeln, die die neuen Mobilitätsformen adäquat abbilden. Herausforderungen hierbei sind die seltene Nutzungshäufigkeit und die Übertragbarkeit der Wirkungszusammenhänge der konventionellen Verkehrsmodi bzw. Verkehrsmittel auf neue Mobilitätsformen.

Ein Großteil der Forschung des Autors dieser Habilitationsschrift befasst sich mit der Analyse neuartiger Mobilitätsformen, der Erhebung von Daten der Nutzenden sowie der Nutzung und Verarbeitung dieser Daten zum Einbau in Verkehrsnachfragemodelle in Form von Algorithmik. Ziel dabei war und ist, nicht nur die Mobilitätsformen im Blick zu haben, sondern vor allem auch die Nutzung dieser zu beschreiben. Somit ist es möglich, Wirkungen neuer Mobilitätsformen zu analysieren. Die Wirkungen zu kennen und quantifizieren zu können, ist essenziell wichtig zum einen für die Anbieter und zum anderen zur Bewertung der neuen Mobilitätsformen auf verkehrsplanerischer Ebene.

Die bisher betrachteten Mobilitätsformen sind: Elektromobilität, Carsharing, Bikesharing zusammengefasst als Fahrzeugsharing, Ridesharing, Ridehailing und Ridepooling, Automatisierung und daraus resultierend die Betrachtung von Multi- und Intermodalität. Umspannt werden diese Forschungen von einer integrierten Betrachtungsweise aller Verkehrsmittel und den wechselseitigen Wirkungen mit Hilfe des agentenbasierten Verkehrsnachfragemodells mobiTopp, das am Institut für Verkehrswesen (IfV) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) maßgeblich in Projekten zu o.g. Themen entwickelt wird.

Ziel dieser Arbeit ist es, neue Mobilitätsformen zu beschreiben, die Möglichkeiten und Einschränkungen der Erhebung zum Mobilitätsverhalten mit neuen Mobilitätsformen darzustellen, mit den Datengrundlagen neue oder bestehende Modellalgorithmen zu optimieren, um die Wirkungen neuer Mobilitätsformen bewerten zu können. Dies ist wichtig, um den Entscheidungsträgern eine Entscheidungsgrundlage z. B. für Genehmigungen bereitzustellen oder die Anbieter bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen zu unterstützen. Ergänzt wird die Arbeit von Beispielen aus zahlreichen, meist KIT-IfV-eigenen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet.

2 Grundlagen

In den letzten Jahren haben sich immer mehr Verkehrsangebote inklusive Mobilitätsdienstleistungen etabliert. Die Hintergründe hierfür sind vielfältig; unter anderen sind das: Bevölkerungszuwächse in Ballungsräumen und der Bedarf flexibler Mobilität, ökologische und Nachhaltigkeitsaspekte, verändertes Mobilitätsverhalten in Form von zunehmender Multi- und Intermodalität sowie bessere technische Möglichkeiten und IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) und viele andere mehr. Zudem rückt das Thema Mobilität im Allgemeinen mehr und mehr in den Fokus der (öffentlichen) Diskussion und sehr schnell und oft kurzlebig kommen neue Geschäftsmodellideen auf dem Markt. Zum einen trägt die Start-up-Kultur dazu bei, Ideen für Mobilitätsdienstleistungen und Verkehrsangebote zu entwickeln und diese zu testen. Zu anderen streben aber auch etablierte Mobilitätsdienstleister, wie die Autoindustrie (z. B. Daimler und BMW mit ReachNow oder VW mit MOIA) oder auch öffentliche Verkehrsanbieter (wie die Deutsche Bahn mit ioki), die Erweiterung bzw. Veränderung ihrer Geschäftsfelder und das Erschließen neuer Märkte an.

2.1 Definitionen

Jeder dieser o.g. Bausteine trägt dazu bei, dass sich das Verkehrsangebot (inklusive Mobilitätsdienstleistungen) aber auch die Verkehrsnachfrage verändern und sich gegenseitig bedingen. Verändertes Verkehrsverhalten bedingt ein anderes Verkehrsangebot (mit Mobilitätsdienstleistungen) und ein verändertes Verkehrsangebot (mit Mobilitätsdienstleistungen) bedingt ein anderes

Verkehrsverhalten. Dieses Wechselspiel ist nichts Neues¹⁰, allerdings wird durch die zunehmende Anzahl an Verkehrsangeboten und Mobilitätsdienstleistungen die Verkehrsmittelnutzung vielfältiger und durch die Kombinatorik auch komplexer.

Unter der Verkehrsnachfrage versteht man allgemein die „Summe aller Ortsveränderungen von Personen [und Gütern] in einem Gebiet innerhalb eines bestimmten Zeitraums“.¹¹

Das Verkehrsangebot setzt sich zusammen aus Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsdienstleistungen (im allgemeinen Sprachgebrauch vor allem als Mobilitätsdienstleistungen bezeichnet), wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist.

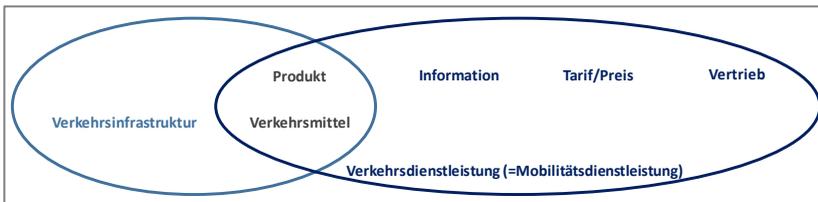


Abbildung 2.1: Verkehrsangebot: Abgrenzung Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsdienstleistung (=Mobilitätsdienstleistungen)¹²

„Die Verkehrsinfrastruktur besteht aus den Verkehrswegen und den zugehörigen betrieblichen Einrichtungen wie z. B. Lichtsignalanlagen oder Haltestellen sowie Verknüpfungsanlagen, die einen Wechsel innerhalb und zwischen den Verkehrsmitteln erlauben. Verkehrsdienstleistungen sind selbständige,

¹⁰ Markus Friedrich, „Wie viele? Wohin? Womit? Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen?“ In *HEUREKA '11. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2011).

¹¹ FGSV, *Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen*.

¹² Martin Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr: Teilpapier 1: Definitionen.“ (2017). <https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).

am Markt realisierte Leistungen, die mit der Bereitstellung und/oder dem Einsatz von Leistungsfähigkeiten zur Überwindung von räumlichen Distanzen verbunden sind, wobei der Erstellungsprozess sämtliche Aktivitäten umfasst, die im Verlauf der Dienstleistungserstellung anfallen (Produkt, Information, Tarif/Preis, Vertrieb). In deren Erstellungsprozess werden interne und externe Faktoren kombiniert und deren Faktorenkombination mit dem Ziel eingesetzt, Ortsveränderungen von Personen (oder Gütern) vorzunehmen. Typische Verkehrsdienstleistungen liegen im Bereich des öffentlichen Verkehrs und der Sharing-Systeme. So ist beispielsweise das Produkt Carsharing (Anbieten von Fahrgelegenheiten) eine Verkehrsdienstleistung, die mit einem Verkehrsmittel (Pkw) angeboten wird. [...] Die Verkehrsinfrastruktur gehört nicht zur Verkehrsdienstleistung, jedoch ist die Qualität der Verkehrsdienstleistung wesentlich von der Infrastrukturausstattung beeinflusst“¹³.

Während die Verkehrsinfrastruktur sehr stabil ist und deren Erstellungsprozesse und Planungsvorläufe sich lange, teilweise über Jahrzehnte, hinziehen,¹⁴ sind die Produkte bzw. Verkehrsmittel relativ volatil. Als Beispiele sind hier Bikesharing-Räder oder E-Scooter zu nennen, die in Gebieten kurzfristig angeboten werden und auch ebenso kurzfristig wieder verschwinden können. Ähnlich verhält es sich mit Informationssystemen, Apps oder Vertriebskanälen. Die neuartigen, nicht konventionellen Modi¹⁵, werden oft auch als „Neue Mobilitätsformen“ bezeichnet. Diese neuen Mobilitätsformen haben zwar sowohl im Verkehrsaufkommen als auch in der Verkehrsleistung nur einen kleinen Anteil am Modal Split, aber sie führen auch dazu, dass die Einteilung in

¹³ Martin Kagerbauer, Claudia Nobis, Carsten Sommer, Carsten Gertz, Till Ackermann und Willi Loose, „Definitionen zu Multi- und Intermodalität.“ *Straßenverkehrstechnik* 5 (2018): 366–372.

¹⁴ Karl-Hans Hartwig, Henrik Armbrecht, Marian Rückert, Henning Tegner, Heike Ehrmann, Thomas Franke und Karen Wanner, „Verkehrsinfrastruktur-Benchmarking Europa: Verkehrsinfrastrukturausstattung und verkehrspolitische Rahmenbedingungen in ausgewählten europäischen Staaten.“ (2007). ifmo.de.

¹⁵ Als konventionelle Modi werden der Fuß-, Rad- und motorisierte Individualverkehr mit privat besessenen Fahrzeugen und der öffentliche Verkehr bezeichnet.

die konventionellen Modi oft nicht mehr passend ist. Um dies zu verdeutlichen ein Beispiel: Unbestritten ist, dass das Produkt und gleichzeitig das Verkehrsmittel Carsharing-Fahrzeug, egal ob es free-floating oder stationsbasiert angeboten wird, dem Modus motorisierter Individualverkehr (MIV) zuzuordnen ist. Da aber der Zugang, im Sinne der Nutzung, zu diesem Verkehrsmittel im Vergleich zum privat besessenen Pkw fundamental unterschiedlich ist, wurde der Begriff des erweiterten Modus eingeführt¹⁶. Das ist auch dadurch begründet, dass sich sowohl die Nutzenden als auch die Nutzung stark unterscheiden^{17,18}. Der erweiterte Modus beinhaltet zusätzlich zu den o.g. konventionellen Modi noch die geteilten Verkehrsmittel (vgl. Tabelle 2.1). Die geteilten Verkehrsmittel können sowohl motorisiert als auch nicht motorisiert sein. Wenn das Produkt betrachtet wird, kann es aber auch nur eine geteilte Fahrt betreffen. Zudem wird unterschieden in Zugang zu den Verkehrsmitteln/Produkten: Privat vs. öffentlich und individuelle vs. kollektive Nutzung (während einer Fahrt oder nacheinander).

¹⁶ Kagerbauer et al., „Definitionen zu Multi- und Intermodalität“.

¹⁷ Michael Heilig und Martin Kagerbauer, „Längsschnittanalyse der Nutzung von stationsbasiertem Carsharing.“ In *DVWG-Jahresband 2016/2017*, hrsg. von Kerstin Rosenberger, Martin Kagerbauer und Jan Ninnemann (2018).

¹⁸ Anna Reiffer, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2019).

Tabelle 2.1: Aktualisierte Einteilung der Verkehrsmittel/Produkte nach Verkehrsart, Modus und Zugang¹⁹

			Zugang		
Verkehrsart	Modus	Erweiterter Modus	Privater Zugang	Öffentlicher Zugang	
			Individuelle Nutzung	Individuelle Nutzung nacheinander	Kollektive Nutzung während einer Fahrt
Nicht motorisierter Verkehr	Fußverkehr	Fußverkehr	Fußverkehr, Tretroller		
	Radverkehr und gleichgestellte Mikromobilität	Radverkehr (nicht geteilt)	Fahrrad, Pedelec, E-Tretroller	Rikscha, Velotaxi	
		Geteilte Verkehrsmittel			(E-)Bikesharing, (E-)Mietfahrrad, (E-)Tretroller-Sharing
Motorisierter Verkehr	MIV		private Fahrgemeinschaft, privates Autoteilen	Carsharing, ggf. auch Motorrad-, Moped-, Mofa-, E-Bike-, peer-to-peer Carsharing, Mietwagen, Ridehailing/-selling (Fahrgast bestimmt den Fahrtablauf; gewerblich)	Fahrgemeinschaft, Mitfahrgelegenheiten, Ridesharing (Fahrende initiieren die Fahrt), Ridepooling nach §50 PBefG "gebündelter Bedarfsverkehr" (Fahrgäste initiieren die Fahrt - der Anbieter versucht mehrere Personen mit ihren Fahrtwünschen zu bündeln; gewerblich)
		MIV (nicht geteilt)			Pkw, Motorrad, Moped, Mofa (jeweils ggf. elektrisch), E-Bike (jeweils Fahrende oder Mitfahrende)
Motorisierter Verkehr	ÖV	ÖPNV	ÖPNV	Taxi	Linienbus, Bürgerbus, Stadt- u. Straßenbahn inkl. Bahnen besonderer Bauart, U-Bahn, S-Bahn, Nahverkehrsbus, Fähre, flexible Angebotsformen/ Ridepooling nach §44 PBefG "Linienbedarfsverkehr" (Fahrgäste initiieren die Fahrt - der Anbieter versucht mehrere Personen mit ihren Fahrtwünschen zu bündeln), Reisebus (Stadtrundfahrt)
					ÖPFV

¹⁹ Aktualisiert nach: Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr“.

Wegen einer Vielzahl an Produkten/Verkehrsmitteln, werden die Informationen beispielsweise zu Verfügbarkeit und Buchungsmöglichkeiten der Produkte/Verkehrsmittel zunehmend wichtiger. Auch hier werden sich die Angebote gerade auch in Zeiten zunehmender technischen Möglichkeiten mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) verändern.²⁰

Die wesentlichen Treiber, die hinter den neuen, volatilen Verkehrsangeboten stehen, werden im Folgenden beschrieben.

2.2 Treiber für die Veränderung der Mobilität

Die Treiber für die Veränderung der Mobilität sind vielfältig, bedingen bzw. beeinflussen sich gegenseitig und können deshalb nicht isoliert betrachtet werden.²¹ Wichtige Treiber sind neben technischen Entwicklungen, vor allem städtebauliche Aspekte, Klima- und Umweltaspekte, die Individualisierung und Digitalisierung und viele andere mehr.

Technische Entwicklungen, wie die Elektromobilität oder die Automatisierung der Fahrzeuge, werden in Kapitel 4.2 näher betrachtet, da diese einen direkten Einfluss auf das Mobilitätsverhalten haben können und somit die technologischen Treiber neuer Mobilitätsformen sind. Verbesserungen in der Konstruktion der Fahrzeuge, in den Chassis oder in Funktionalitäten der Fahrzeuge beeinflussen unter Umständen die Fahrweise und die „Usability“ der Fahrzeuge und können so auch zu moderat verändertem Mobilitätsverhalten führen. Sie weisen aber keine tiefen Veränderungen in den bisherigen Nutzungsabläufen auf, da sich die Verkehrssysteme nicht grundlegend ändern und werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet. Als Beispiele hierfür

²⁰ Christoph Becker und Steffen Fabian, „Herausragende Mobilität? Eine objektive Bewertungsheuristik für inter- und multimodale Mobilitätsplattformen.“ In *Journal für Mobilität und Verkehr*, 59–65, 2/2019.

²¹ Henning Kagermann, „Das große Ganze denken.“ <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/die-mobilitaet-der-zukunft-das-grosse-ganze-denken/21150326.html> (letzter Zugriff: 24. März 2020).

sind der Leichtbau von Pkw, verbesserte Getriebearten oder auch Abstandsassistenten etc. zu nennen.

Im Folgenden werden städtebauliche Trends, Klima- und Umweltbewusstseinsaspekte, Individualisierung und Digitalisierung näher betrachtet. Alle haben gemeinsam, dass zu deren Umsetzung immer neue Geschäftsmodelle entwickelt werden. Die Start-up-Community²² arbeitet im Mobilitätsbereich, da vor allem durch die Digitalisierung ganz allgemein, Daten und Informationen das Verkehrsangebot erweitern. Durch Open-Data-Strategien sind der Bezug und das Verwenden der Daten relativ einfach. „Start-up communities are popping up everywhere [...]. These entrepreneurial ecosystems are driving innovation, new business creation, and job growth. Start-up communities document the strategy, dynamics, tactics, and long-term perspective required for building communities of entrepreneurs who can feed off of each other’s talent, creativity, and support.”²³ Durch eine Vielzahl von neuen Mobilitätsideen und möglichen Anwendungen im Verkehrsbereich und der Aussicht, daraus, analog zu Beispielen wie Google, Amazon etc., Geschäftsfelder zu entwickeln, ist der Start-up-Markt ebenfalls ein Treiber der neuen Mobilität geworden. Start-ups sind „junge, noch nicht etablierte Unternehmen, die zur Verwirklichung einer innovativen Geschäftsidee (häufig in den Bereichen Electronic Business, Kommunikationstechnologie oder Life Sciences) mit geringem Startkapital gegründet werden und i. d. R. sehr früh zur Ausweitung ihrer Geschäfte und Stärkung ihrer Kapitalbasis entweder auf den Erhalt von Venture-Capital bzw. Seed Capital (eventuell auch durch Business Angels) angewiesen sind. Aufgrund der Aufnahme externer Gelder wie Venture-Capital ist das Unternehmen auf einen Exit angewiesen, im Zuge dessen die

²² Brad Feld, *Startup communities: Building an entrepreneurial ecosystem in your city*. Startup revolution (Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2012).
<http://www.esmt.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1022348>.

²³ Ebd.

Kapitalgeber ihre Investments realisieren.“²⁴ Im Mobilitätsbereich arbeiten die Start-ups meist im Bereich von Sharing-Modellen, Autonomes Fahren, Flottenmanagement, Energie und Infrastruktur, Software as a Service, Artificial Intelligence, Sensorik sowie Big Data.²⁵ Einige Start-ups setzen sich mit Ihren Produkten durch. Beispiel hierfür sind UBER, LYFT, ioki, MOIA oder drivy und Voi. Meist stehen dahinter größere Firmen oder Geldgeber wie beispielsweise VW bei MOIA oder die Deutsche Bahn bei ioki. Neben dem Investment versprechen sich die Unternehmen, schnell Ideen zu generieren und ausprobieren zu können, um diese dann, sofern sie erfolgreich sind, in ihr Portfolio zu integrieren. Die Arbeitsweise dieser Start-ups ist sehr innovativ, das bedeutet, dass Ideen generiert, Anwendungen umgesetzt und ausprobiert werden und deren Wirkungen und Erfolg dann getestet werden. Einen Überblick über Start-ups im Mobilitätsbereich kategorisiert nach Themenfeldern gibt Abbildung 2.2. Diese Liste ist nicht vollständig, sie zeigt eine Auswahl der Unternehmen. Auf Grund der Vielzahl von Start-ups und deren unterschiedlich sichtbaren Darstellung in der Öffentlichkeit bzw. dem Arbeiten im Verborgenen, ist es nicht möglich, eine vollständige Liste zu erstellen. Die Themenfelder, in denen die Start-ups arbeiten, beschreiben meist neue Mobilitätsformen, wie beispielweise Sharing (Car- oder Ridesharing), Charging (Elektromobilität) oder Parking. Letzteres ist ein Feld, in dem kurzfristig viele Veränderungen, u. a. auch durch Regulatorien oder Pricing, erwartet werden können.

²⁴ Ann-Kristin Achleitner, „Start-up-Unternehmen.“

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/start-unternehmen-42136/version-265490> (letzter Zugriff: 26. März 2020).

²⁵ Michael Brecht, „Mobility Startups.“ <https://emobilitaetblog.de/mobility-startups/> (letzter Zugriff: 26. März 2020).

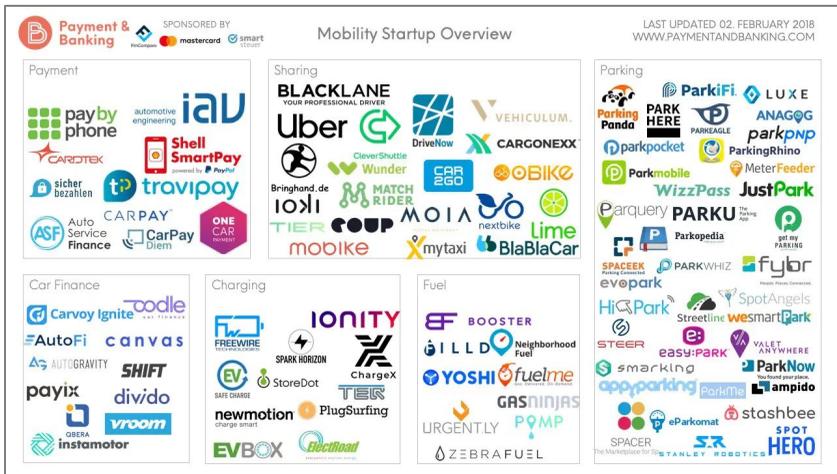


Abbildung 2.2: Auswahl von Start-ups im Mobilitätsbereich, Stand 2019²⁶

Die Start-up-Szene allgemein aber auch im Mobilitätsbereich ändert sich ständig. Mögliche Gründe hierfür sind vielfältig: Die Ideen oder Anwendungen finden keine Resonanz, es wird auf Grund der Flexibilität auf andere Themen oder Bereiche gesetzt oder die Geldgeber und Sponsoren ziehen sich zurück. Beispiele für im Jahr 2020 nicht mehr existierende Start-ups im Mobilitätsbereich sind u. a.:

- Scoo.me: Leihroller mit Verbrennungsmotoren. Den Markt übernahmen elektrisch betriebene Rollersharing-Dienste wie emmy.
- Oply: Ein zonenbasiertes Carsharing-Angebot, dem die Finanzierung fehlte.

Zusammengefasst sind Start-ups ein Treiber von neuen Mobilitätsangeboten oder Produkten, deren Markt sehr volatil ist. Grundsätzlich, wie Abbildung 2.3

²⁶ Nicole Nitsche, „Mobility Start ups – ein Überblick.“
<https://paymentandbanking.com/mobility-start-ups-ein-ueberblick/>.

zeigt, verändern sich die Geschäftsfelder im Mobilitätsbereich von der Produktion hin zu Dienstleistung und Mobilitätsservices, u. a. wegen zunehmender Vernetzung und Digitalisierung.

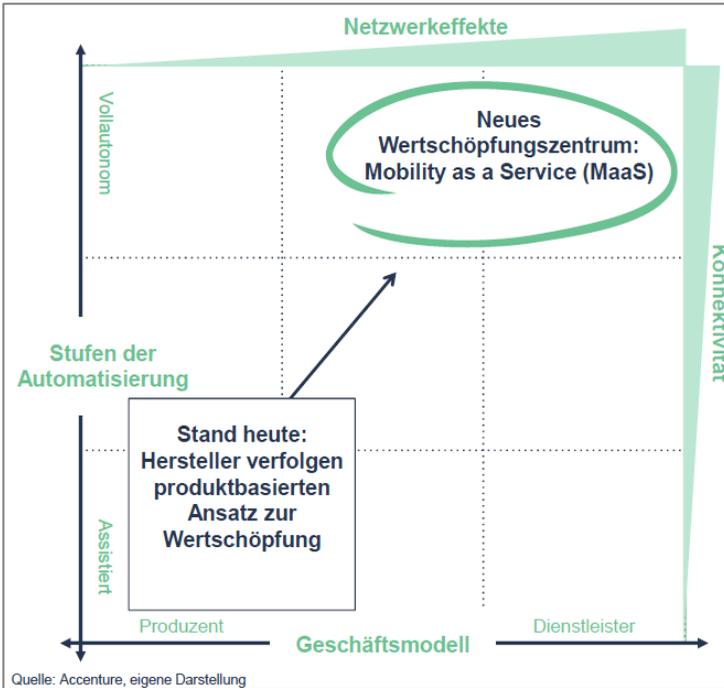


Abbildung 2.3: Veränderung von Geschäftsmodellen²⁷

Weitere Treiber neuer Mobilitätsformen werden im Folgenden beschrieben.

²⁷ Gerhard Wolf und Guido Zimmermann, „Urbanisierung und Neue Mobilität: Wie passen diese Megatrends zusammen?“. https://www.lbbw.de/konzern/research/2020/weiterestudien/20200127_lbbw_research_urbanisierung_und_neue_mobilitaet_aap9r8x7w7_m.pdf (letzter Zugriff: 26. März 2020).

2.2.1 Städtebauliche Aspekte

„Stadt formt Mobilität formt Stadt“²⁸. Die Wechselwirkungen von Stadtentwicklung und Mobilität gibt es schon seit jeher. Beide haben gegenseitige Auswirkungen und die Moden der Zeiten hatten und haben jeweils Einfluss auf die Gestaltung. Nach dem Zweiten Weltkrieg war das Leitbild der Charta von Athen maßgebend für die Gestaltung der Städte. „Besonders der Aspekt der Funktionstrennung [von Arbeit und Wohnen mit Fokus auf Wohnqualität] mit Verkehr als verknüpfendem Element entfaltete eine starke Wirkung. An dieser Stelle ergänzen sich die Charta und das Moderne- und Wohlstandssymbol Automobil“²⁹. In den 1950er und 1960er Jahren folgten die Leitbilder der Gegliederten und Aufgelockerten Stadt sowie der Autogerechten Stadt. In den 1970er Jahren änderten sich die Leitbilder in Richtung der Urbanisierung mit der Errichtung von Wohn- und Mischgebieten, gleichzeitig setzte sich aber auch die Stadt-Umland-Bewegung mit dem sogenannten „Häuschen im Grünen“ fort. Es wurden zu der Zeit auch „neue Siedlungen mit Hochhäusern am Stadtrand, die monofunktional dem Wohnen dienten und sich schnell zu neuen Problembereichen entwickelten“³⁰ errichtet. In den 1970er und 1980er Jahren wurden mit der Errichtung der Fußgängerzonen die Innenstädte aufgewertet, aber gleichzeitig auch die Suburbanisierung, also die Verlagerung der Wohnstandorte ins Umland, vorangetrieben. Ab den 1990er Jahren kam das Leitbild der Nachhaltigen Stadt und dann ab den 2000er Jahren die Stadt der kurzen Wege und die Durchmischung der Funktionen einer Stadt. 2007 verpflichteten sich 27 in Europa für Stadtentwicklung zuständige Ministerinnen und Minister anlässlich des informellen Ministertreffens zur

²⁸ Martin Randelhoff, „Stadt formt Mobilität formt Stadt.“. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/163387/analyse/mobilitaet-stadt-siedlungsstruktur-autogerechte-stadt-techniklaeubigkeit/> (letzter Zugriff: 5. September 2020).

²⁹ Klaus J. Beckmann, „Leitkonzept - Stadt und Region der kurzen Wege.“ (2011).

³⁰ Ebd.

Stadtentwicklung und zum territorialen Zusammenhalt in der Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt. Inhalt waren

- eine politische Initiative in ihren Mitgliedstaaten zu starten, um die Grundsätze und Strategien der Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt in nationale, regionale und lokale Entwicklungspolitiken integriert zu können.
- das Instrument der integrierten Stadtentwicklung voranzubringen, die Governance-Strukturen für deren Umsetzung zu unterstützen und die hierfür erforderlichen Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene zu schaffen.
- eine ausgeglichene räumliche Entwicklung auf der Basis eines europäischen polyzentrischen Städtesystems zu befördern.

Konkret bedeutet das die Stärkung der Innenstädte, soziale Integration, Bekämpfung von Ausgrenzung und Vermeidung von „No-go-Areas“ und die Attraktivität durch Schönheit.³¹ Nachhaltigkeitsgedanken und Umweltschutz und Energie- und Ressourcensparsamkeiten werden seither zunehmend wichtiger. Gefolgt von den Leitbildern Quartier, Stadt oder Region der kurzen Wege ist eine Stadt, die die Schlagwörter Grün-Urban-Vernetzt vereint, ein aktueller Leitbildgedanke. Dies wird als Gartenstadt 21 bezeichnet.³²

Für den Verkehr bzw. die Mobilität bedeutet diese Entwicklung, dass ausgehend von dem Auto, das in den 1950er, 1960er Jahren im Zentrum stand, über die Gleichberechtigung aller Verkehrsmittel in den 2000er Jahren, heute die

³¹ Beckmann, „Leitkonzept - Stadt und Region der kurzen Wege“.

³² Bastian Wahler-Žak, Hrsg., *Die Entwicklung der Gartenstadt und ihre heutige Relevanz*, Stand Februar 2017. Gartenstadt 21 (Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2017). <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201704191712>.

nachhaltigen Verkehrsmittel im Zentrum stehen. Schemionek³³ beschreibt diese Entwicklung, die Tabelle 2.2 zeigt:

Tabelle 2.2: Unterschiede Urban Sprawl und New Urbanism³⁴

Urban Sprawl	New Urbanism
geringe Bebauungsdichte	hohe Bebauungsdichte
Funktionstrennung	Funktionsmischung
bauliche Monotonie	bauliche Vielfalt
Anonymität	Gemeinschaft
soziale Homogenität	soziale Heterogenität
Fortbewegung mit Auto	Fortbewegung mit Auto, ÖPNV, Fahrrad, zu Fuß etc.
Kriminalität	Schutz
Geography of Nowhere	Sense of Place
Maßstabsebene „Auto“	Maßstabsebene „Mensch“
hierarchisches Straßensystem	Straßennetzwerk
Sackgassen in Wohngebieten	andere Verkehrsberuhigung
unkontrollierte Zersiedelung	geplante städtische Ausdehnung

Zusammenfassend änderten sich die Leitbilder der Stadtentwicklung auch hinsichtlich des Bezugs zum Verkehr seit dem Zweiten Weltkrieg komplett. Nach der Fokussierung auf den Pkw, der Ausdruck von Freiheit und Wohlstand war, über die Gleichberechtigung aller Verkehrsmittel bis hin zur aktuellen Bevorzugung des Umweltverbundes (Fuß-, Rad- und öffentlicher Verkehr). Hierbei stehen vor allem nachhaltige Verkehrsmittel und die Vernetzung dieser im Vordergrund. Schlagworte wie Smart City und Big Data spielen hierbei eine zentrale Rolle. Nach Gabler Wirtschaftslexikon ist Smart City ein „uneinheitlich verwendeter Begriff, unter dem i. d. R. alle Konzepte verstanden werden, Städte mithilfe der Möglichkeiten neuer technischer Entwicklungen und der Informations- und Kommunikationstechniken im Hinblick

³³ C. Schemionek, „New urbanism in US-amerikanischen Stadtregionen: ein effektives Planungskonzept gegen urban sprawl?“ (Dissertation, Bayerischen Julius-Maximilians-Universität, 2005).

³⁴ Nach: ebd.

auf Ökologie, sozialem Zusammenleben, politischer Partizipation etc. zu modernisieren und lebenswerter zu gestalten. Dazu gehören z. B. die nachhaltigere Nutzung von Ressourcen, indem Verkehrsflüsse durch intelligente Systeme aufeinander abgestimmt werden oder Beleuchtung nur bei Bedarf eingesetzt wird, wie auch die Digitalisierung der Verwaltung, damit Dienste, für die bisher eine persönliche Vorsprache notwendig war, zukünftig online durchgeführt werden können³⁵. Big Data und Smart City beinhalten die Vorstellung, Daten des Gesamtverkehrssystems zu erheben und zu verarbeiten und so das Gesamtverkehrssystem zu optimieren.³⁶ Beginnend bei der Autoindustrie mit Floating-Car-Data (FCD) oder Car2Car-Kommunikation setzen sich diese Dienste mittlerweile auch im ÖV (z. B. ITCS³⁷) oder auch bei Fahrradnutzungen durch.

Die Fokussierung auf den Umweltverbund und die Vernetzung dieser Verkehrsmittelangebote bedingen zum einen die Stadt- und Siedlungsentwicklung, sind aber zum anderen vor allem auch Treiber für neue Mobilitätsformen und die Vernetzungen bestehender oder auch neuer Verkehrsangebote.

Gleichzeitig verschwimmen durch die veränderten Stadt- und Regionalplanungsaspekte auch die Grenzen der Stadtentwicklungsstrukturen und somit der Verkehrsverflechtungen, wie Abbildung 2.4 zeigt.

³⁵ Markus Siepermann, „Smart City.“. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-city-54505/version-277534>.

³⁶ Martin Randelhoff, „Stadt formt Mobilität formt Stadt“.

³⁷ ITCS (Intermodal Transport Control System) ersetzt den Begriff Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL) im ÖPNV und bedeutet ein Rechnerverbund-System, das für vielfältige Aufgaben zur Steuerung verwendet werden kann.

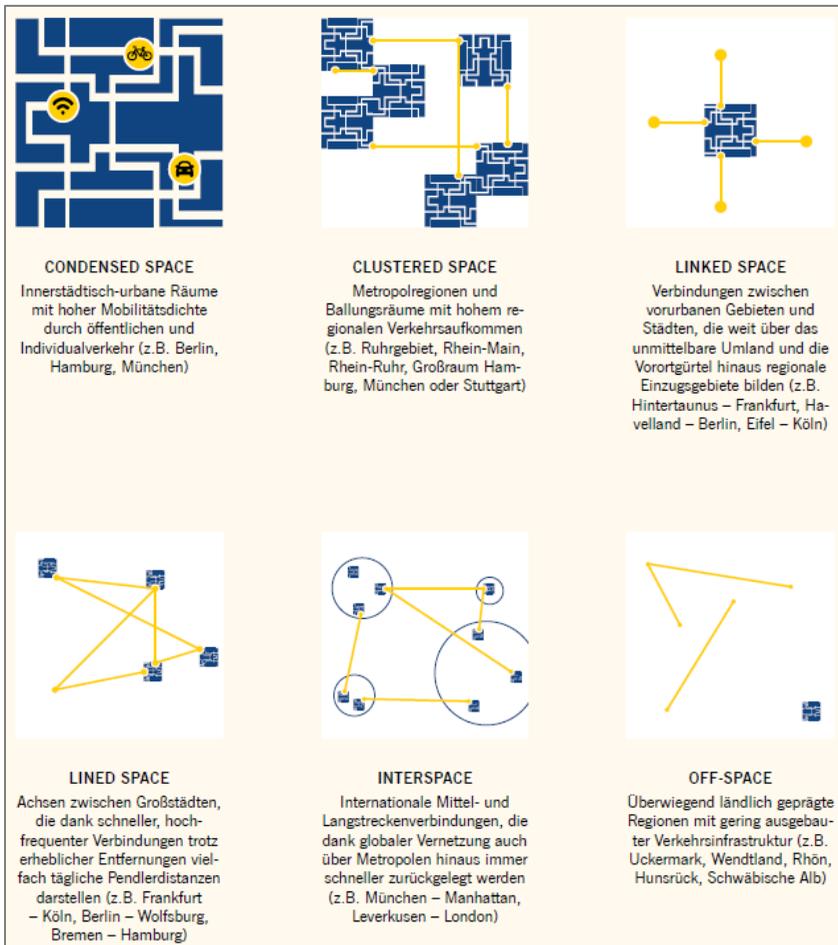


Abbildung 2.4: Verschmimmen der Mobilitätsstrukturen³⁸

³⁸ Christian Rauch, „Die Evolution der Mobilität.“ (Zukunftsinstitut, 2017).
<https://www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/mobilitaets-trends/mobilitaet-2040/>
 (letzter Zugriff: 6. September 2020).

Diese zunehmende Flexibilisierung der Bewegungsmuster der Menschen erzeugt zudem einen Bedarf an integrierten, verkehrsmittelübergreifenden Verkehrsangebotskonzepten. Da ein Verkehrsmittel allein den Bedarf nicht decken kann, ist dies nur durch die Vernetzung aller Verkehrsmittel möglich.

2.2.2 Klima- und Umweltaspekte: Postfossile, klimaneutrale Mobilität

Klima- und Umweltaspekte sind wichtige Rahmenbedingungen für den Verkehrsbereich, da dieser einen Teil der Emission verursacht. Zu den Treibhausgasen gehören laut Kyoto-Protokoll³⁹ Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFCs), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFCs) und Schwefelhexafluorid (SF₆)⁴⁰. Deren Referenzwert wird in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt, da CO₂ mit knapp 90% den größten Anteil hat.⁴¹ Der Ausstoß von Treibhausgasen ist weltweit in den letzten Jahren gestiegen.

Abbildung 2.5 zeigt die Entwicklung seit 1995 bis 2018.

³⁹ Im Kyoto-Protokoll von 1997 hat die internationale Staatengemeinschaft erstmals eine absolute und rechtlich bindende Begrenzung des Ausstoßes von Treibhausgasen in einem völkerrechtlichen Vertrag verankert.

⁴⁰ Seit 2015 wird Stickstofftrifluorid (NF₃) zusätzlich einbezogen.

⁴¹ Im Jahr 2016 entfallen in Deutschland 88,2 % der Freisetzung von Treibhausgasen auf Kohlendioxid, 6,0 % auf Methan, 4,2 % auf Lachgas und rund 1,7 % auf die F-Gase. Quelle: Umweltbundesamt, „Die Treibhausgase.“ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> (letzter Zugriff: 3. September 2020).

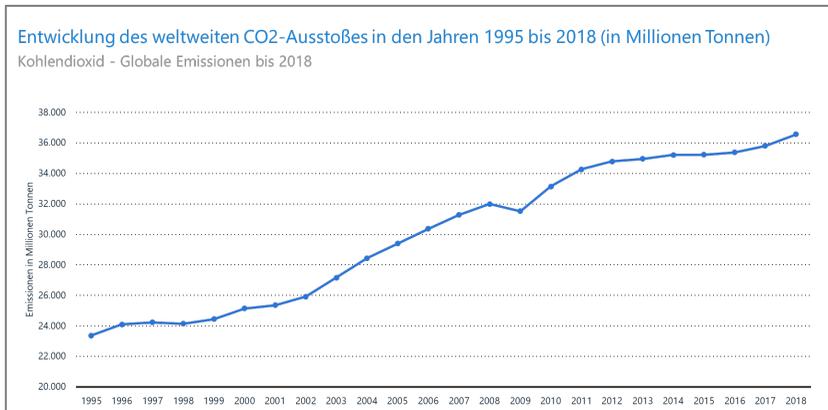


Abbildung 2.5: Entwicklung der CO₂-Emissionen weltweit im Jahresvergleich (in Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent)⁴²

Während in den meisten Ländern die Emissionen relativ stabil geblieben sind (vgl. Abbildung 2.6), ist der Anstieg der CO₂-Emissionen hauptsächlich auf China und Indien zurückzuführen.

⁴² A. Breitkopf, „Entwicklung des weltweiten CO₂-Ausstoßes in den Jahren 1995 bis 2018.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/208750/umfrage/weltweiter-co2-ausstoss/> (letzter Zugriff: 2. April 2020).

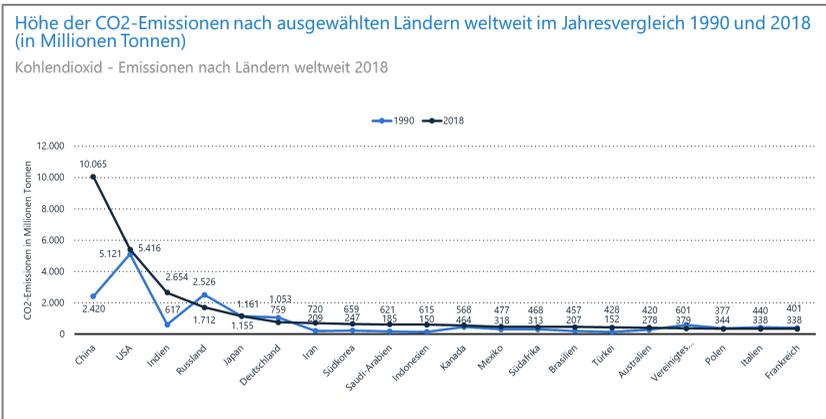


Abbildung 2.6: Höhe der CO₂-Emissionen nach ausgewählten Ländern weltweit im Jahresvergleich 1990 und 2018 (in Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent)⁴³

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland ist seit 1990 insgesamt rückläufig.⁴⁴ Innerhalb der einzelnen Sektoren der Emittenten gibt es jedoch auch Unterschiede. Während die Sektoren Energiewirtschaft, Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie, wenn auch leichte, Einsparungen aufweisen, ist das bei Landwirtschaft und im Verkehrsbereich nicht festzustellen (vgl. Abbildung 2.7).

⁴³ A. Breitkopf, „Höhe der CO₂-Emissionen nach ausgewählten Ländern weltweit im Jahresvergleich 1990 und 2018.“.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167864/umfrage/co-emissionen-in-ausgewaehnten-laendern-weltweit/> (letzter Zugriff: 2. April 2020).

⁴⁴ Die Höhe der CO₂-Emissionen nahm gegenüber dem Jahr 1990 in Deutschland um circa 24 % ab. Felix Poetschke, „Treibhausgasemissionen 2015 im zweiten Jahr in Folge leicht gesunken.“.

<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-2015-im-zweiten-jahr-in> (letzter Zugriff: 2. April 2020).

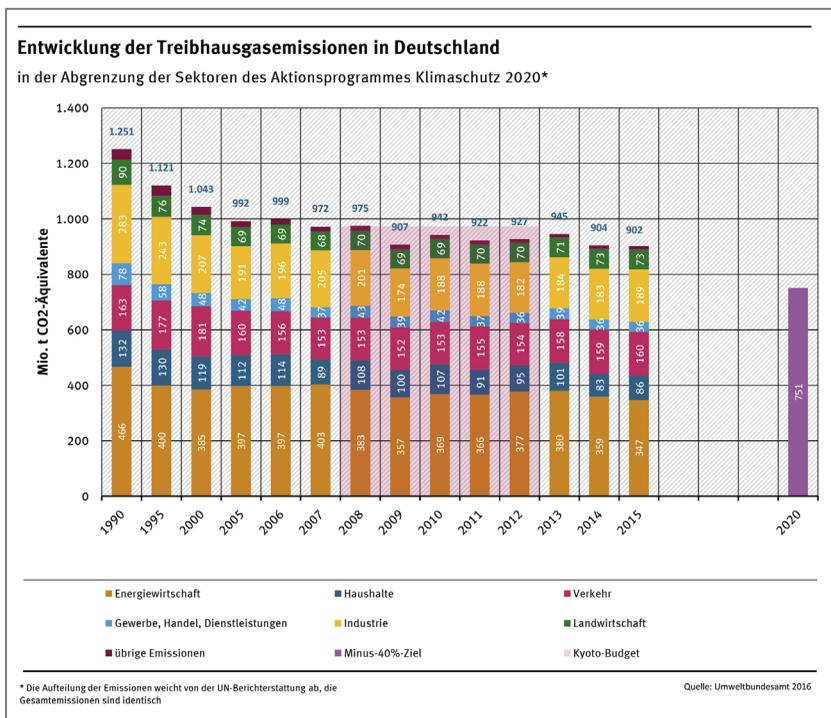


Abbildung 2.7: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland (in Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent)⁴⁵

Der Klimaschutzplan⁴⁶ der 2016 vom Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz und nukleare Sicherheit (BMU) aufgestellt wurde, beschreibt welche Veränderungen eintreten müssen, um die Klimaschutzziele des Pariser

⁴⁵ Poetschke, „Treibhausgasemissionen 2015 im zweiten Jahr in Folge leicht gesunken“.

⁴⁶ BMU, Arbeitsgruppe IK III 1, „Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.“, 2. Aufl. (2016).
<https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/> (letzter Zugriff: 5. September 2020).

Abkommens⁴⁷, die im Jahr 2015 beschlossen wurde, einhalten zu können. Die Ziele des Pariser Abkommens sind:

- „Die Staaten setzen sich das globale Ziel, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf "deutlich unter" zwei Grad Celsius zu begrenzen mit Anstrengungen für eine Beschränkung auf 1,5 Grad Celsius.
- Die Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel soll gestärkt werden und wird neben der Minderung der Treibhausgasemissionen als gleichberechtigtes Ziel etabliert.
- Zudem sollen die Finanzmittelflüsse mit den Klimazielen in Einklang gebracht werden.“⁴⁸

Der Klimaschutzplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) beschreibt die notwendigen Veränderungen, die eintreten müssen, um den Wandel schaffen zu können. Dazu zählt die Minderung der Treibhausgasemissionen, um eine Treibhausgas-Neutralität im Jahr 2050 zu erreichen. Wichtige Bausteine sind der Strukturwandel der Automobilindustrie und die Erreichung einer klimaneutralen, postfossilen Mobilität.

Das im Klimaschutzplan ausgegebene Ziel in den Sektoren (hier Handlungsfelder genannt) ist in Abbildung 2.8 dargestellt:

⁴⁷ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Abkommen von Paris.“. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html> (letzter Zugriff: 2. April 2020).

⁴⁸ Ebd.

Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (Minderung in % gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
Teilsumme	1.209	890	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	39	12	5	87 %
Gesamtsumme	1.248	902	543 – 562	56 – 55 %

Quelle: Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

Abbildung 2.8: Ziele des Klimaschutzplans der BMU⁴⁹

Neben den Treibhausgasen spielen im Verkehrsbereich auch die NO_x-Emissionen eine Rolle. NO_x ist eine Sammelbezeichnung für Stickstoffoxide, die aus den Atomen Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) aufgebaut sind. Die drei wesentlichen Verbindungen sind NO (Stickstoffmonoxid), NO₂ (Stickstoffdioxid) und N₂O (Distickstoffoxid). Stickstoffoxide sind gasförmige Schadstoffe in der Luft, die gesundheitsgefährdend sind und den menschlichen Atemtrakt sowie die Vegetation schädigen.⁵⁰ Die Folge für den Menschen können Atemnot, Husten, Bronchitis, Lungenödem, steigende Anfälligkeit für Atemwegsinfekte sowie Lungenfunktionsminderung sein. Stickstoffoxide entstehen vor allen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie z. B. Kohle, Öl oder andere Treibstoffe. Ca. 80% der NO_x-Emissionen aus dem Verkehr stammen aus Dieselmotoren.⁵¹ Wie Abbildung 2.9 zeigt, sind die NO_x-Emissionen seit 1990 in allen Quellkategorien rückläufig.

⁴⁹ BMU, Arbeitsgruppe IK III 1, „Klimaschutzplan 2050“.

⁵⁰ W. Schöngrundner, „Stickstoffoxide.“ *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 2, Nr. 2 (1990): 111–115.

⁵¹ Cristina Guerreiro, Frank de Leeuw, Valentin Foltescu, Alberto González Ortiz und Jan Horálek, *Air quality in Europe: 2015 report*. EEA report (Luxembourg: Publications Office, 2015).

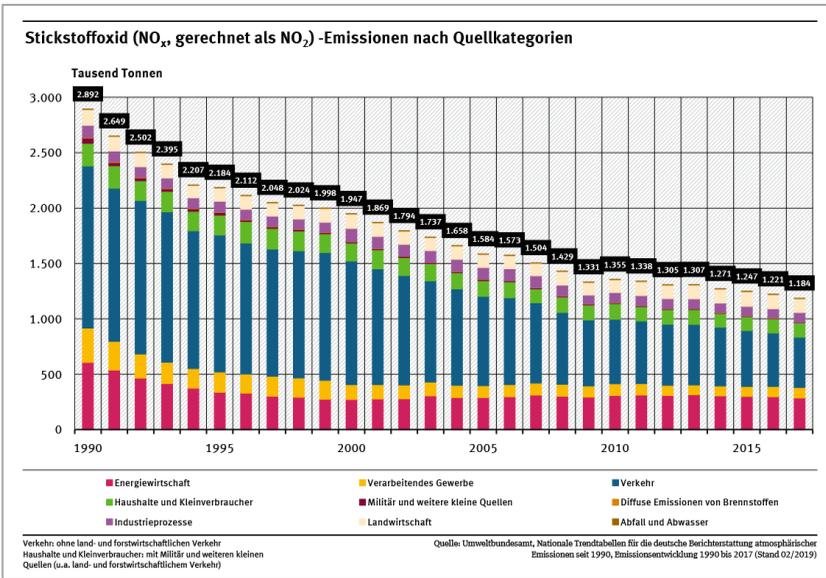


Abbildung 2.9: Entwicklung der NO_x-Emissionen in Deutschland (in Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent)⁵²

Dennoch wurde im Jahr 2018 der maximale NO₂-Grenzwert im Jahresmittel von 40 Mikrogramm NO₂ pro Kubikmeter Luft in 57 Städten in Deutschland überschritten.⁵³

NO₂ ist zudem eine Vorläufersubstanz für Feinstaub. Feinstaub ist ein Gemisch fester und flüssiger Partikel. Diese Partikel, die sich in der Luft befinden, bestehen vor allem aus Sulfat, Nitrat, Ammoniak, Natriumchlorid,

⁵² Umweltbundesamt (Hrsg.), „Stickstoffoxid-Emissionen.“
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990> (letzter Zugriff: 2. April 2020).

⁵³ Umweltbundesamt (Hrsg.), „Liste der Städte mit NO₂-Grenzwertüberschreitung.“
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/liste-der-staedte-no2-grenzwertueberschreitung> (letzter Zugriff: 3. April 2020).

Kohlenstoff, mineralischem Staub und Wasser.⁵⁴ Ursache für Feinstaub sind u. a. Rußpartikel, Reifenabrieb, Plastikteilchen, Dünge- und Abfallrückstände. Je nach Größe wird zwischen PM10 (PM, particulate matter mit einem maximalen Durchmesser von 10 µm), PM2,5 und ultrafeinen Partikeln mit einem Durchmesser von weniger als 0,1 µm unterschieden. Bei Menschen führt eine erhöhte Feinstaubbelastung zu Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen.

Der europaweit geltende Tagesgrenzwert für PM10 beträgt 50 µg/m³ und darf maximal 35-mal im Jahr überschritten werden. Für PM2,5 liegt der Zielwert bei 25 µg/m³ im Jahresmittel. Seit 1. Januar 2020 ist dieser Wert verbindlich einzuhalten⁵⁵. Wie in Abbildung 2.10 dargestellt, sind die PM10-Konzentrationen in Deutschland rückläufig und werden gelegentlich in Ballungsräumen überschritten.⁵⁶

⁵⁴ Christoph Hüglin, Matthias Gianini und Robert Gehring, „Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub: Untersuchungen an ausgewählten NABEL-Standorten.“ (2012); Schlussbericht. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externestudienberichte/chemische_zusammensetzungundquellenvonfeinstaub.pdf.download.pdf/chemische_zusammensetzungundquellenvonfeinstaub.pdf (letzter Zugriff: 3. April 2020).

⁵⁵ Bundesamt für Justiz, „Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.“. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/ (letzter Zugriff: 3. April 2020).

⁵⁶ Umweltbundesamt, „Feinstaub-Belastung.“. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaubbelastung#uberschreitungssituation> (letzter Zugriff: 3. April 2020).

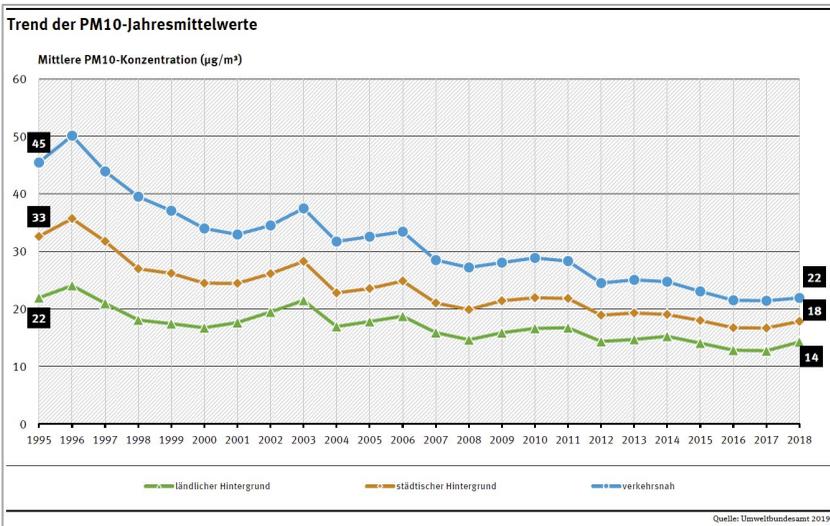


Abbildung 2.10: Entwicklung der PM10-Jahresmittelwerte in Deutschland⁵⁷

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist es erforderlich, alle Emissionen weiter zu reduzieren. Um die Pariser Klimaziele einzuhalten, dürfen u. a. im Verkehrsbereich nur noch rund 40% der Treibhausgase emittiert werden. Dies kann/soll durch die sogenannten drei „V“, Vermeiden - Verlagern - Verbessern, erreicht werden.

- Vermeiden: Weniger Verkehr durch Bündelung und Effizienzgewinne. Möglichkeiten hierfür sind: Vermeidung von Wegen durch Mobile Office oder Teletworking; kürzere Wege durch veränderte Stadtstrukturen.
- Verlagern: Durchführung von Wegen mit umweltfreundlichen Verkehrsmitteln. Möglichkeiten hierfür sind: Verlagerungen der Wege vom motorisierten Individualverkehr auf öffentliche Verkehrsmittel

⁵⁷ Umweltbundesamt, „Feinstaub-Belastung“.

oder Wege mit Fahrrad und zu Fuß; neue Verkehrsmittel/Produkte wie Ridesharing oder Ridepooling.

- Verbessern: Nutzung von technischen Entwicklungen und Emissionsreduzierungen. Möglichkeiten hierfür sind: Nutzung von emissionsfreien Verkehrsmitteln, z. B. Elektroautos angetrieben mit regenerativer Energie oder emissionsarme Verbrennungsmotoren.

Zur Umsetzung dieser Ziele ist es, neben weiteren Maßnahmen, hilfreich, neue Verkehrsangebote einzuführen, um die negativen Umweltauswirkungen des Verkehrs zu reduzieren.

2.2.3 Individualisierung: Smart Mobility und Wertewandel

Neben der ökologischen Wahrnehmung des Pkw und der Abkehr von Verbrennungsmotoren hin zu umweltfreundlicheren Pkw, verringert sich die Bedeutung des Autos als Statussymbol. So konstatiert das Institut für Demoskopie Allensbach, dass vor allem bei den jüngeren Menschen unter 40 Jahren der Anteil der Autofahrenden im Vergleich zum Zeitraum zwischen 1985 und 2016 rückläufig ist, obwohl Autonutzung und -besitz insgesamt in den letzten Dekaden gestiegen sind bzw. in den letzten Jahren relativ stabil blieben.⁵⁸ Bei den älteren Bevölkerungsschichten ist hingegen das Gegenteil der Fall. Zudem sei das „Interesse an Carsharing [...] seit 2012 kontinuierlich gewachsen (2016 auf 11,7%) und wird vor allem von jüngeren Männern mit hohem sozialem Status genutzt, die keinen Pkw im Haushalt haben und häufig auch den ÖPNV nutzen.“⁵⁹

⁵⁸ Michael Sommer, „Das Auto: Nicht mehr der Deutschen liebstes Kind.“. https://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/AWA/AWA_Praesentationen/2016/AWA_2016_Sommer_Auto.pdf (letzter Zugriff: 7. April 2020).

⁵⁹ Ebd.

Zudem haben Menschen heute einen weniger emotionalen Bezug zum Auto als früher.⁶⁰ Gerade bei den sogenannten Millennials, der sogenannten Generation Y, die um die Jahrtausendwende geboren sind, ist sowohl das Mobilitätsverhalten als auch der Umgang mit Statussymbolen verändert: Das Auto ist nicht mehr so wichtig und das Statussymbol ist nicht mehr (nur) der Pkw, sondern auch andere, wie zum Beispiel das Smartphone.⁶¹ Ayberk fasst den Wandel der Statussymbole wie folgt zusammen: „Nicht nur am Schreibtisch und am Arbeitsplatz verschwinden Statussymbole oder werden unsichtbar. Auch bei einem [...] Dienstwagen lässt sich eine Veränderung erkennen. Früher war der Status, der mit einer Position verbunden war, ganz klar am Fahrzeugtyp und an der Fahrzeugklasse zu erkennen. [...] Der Status besteht also in der Konfiguration und die erkennt man nicht von außen. Weder am Nummernschild noch an der Karosserie lässt sich sehen, ob der Dienstwagen einem Direktor oder einem rangniederen Mitarbeiter gehört. Damit verschwindet Status nicht, aber er wird unsichtbarer.“⁶² Um attraktiver für Mitarbeitende zu sein, gehen seit einiger Zeit, vor allem mobilitätsbezogene, Firmen dazu über, keine Dienstwagen mehr bereitzustellen, sondern sogenannte „Mobilitätsbudgets“⁶³. Ein Mobilitätsbudget beinhaltet einen bestimmten Betrag an Geld, der für sämtliche Wege oder Reisen eingesetzt werden kann unabhängig vom genutzten Verkehrsmittel. Die Modelle gehen soweit, dass Angestellte auch ihre dienstlichen Reisen in dem Mobilitätsbudget integriert haben, und am Ende eines Monats das verbliebene Geld

⁶⁰ Springer Fachmedien Wiesbaden, „„Es droht die Gefahr der EnT-Emotionalisierung des Autos.““ *ATZelektronik* 6, Nr. 2 (2011): 18–21.

⁶¹ Eva-Maria Ayberk, Lisa Kratzer und Lars-Peter Linke, *Weil Führung sich ändern muss: Aufgaben und Selbstverständnis in der digitalisierten Welt*, 1. Auflage (Wiesbaden: Springer Gabler, 2017).

⁶² Ebd.

⁶³ Alina Steindl und Wolfgang Inninger, „CarSharing und Mobilitätsbudget statt Dienstwagen?“ *Internationales Verkehrswesen*, 04.2016.

ausgezahlt oder in Urlaub ausgeglichen bekommen.⁶⁴ Die Anwendung der Mobilitätsbudgets zeigt, dass dadurch die Art der Durchführung der Mobilität individueller und bewusster wird. Diese zunehmende Individualisierung bedeutet zudem einen steigenden Bedarf an Verkehrsangeboten, die situationsbezogen genutzt werden können.

Nicht nur die Mobilität wird individueller, sondern auch das Umfeld. So wird multitemporale und multilokale Arbeit wichtiger. Durch die Digitalisierung und Dematerialisierung der betrieblichen Arbeitsprozesse wird die Möglichkeit eines raum-zeitlich flexiblen Arbeitens größer.^{65,66,67} Diese flexiblen Arbeitsformen geben zum einen Privilegien für die Arbeitnehmenden, zum anderen zeigen Studien aber auch, dass deren Leistungsfähigkeit und damit auch die Leistungen für die Arbeitgebenden steigen.^{68,69} Diese Flexibilität und Unabhängigkeit haben zur Folge, dass die Grenzen zwischen Arbeit und Freizeit verschwimmen.

Durch die zunehmende Globalisierung in der Berufswelt, aber auch im privaten Umfeld und in der Freizeit, werden die Anforderungen an das

⁶⁴ European Platform on Mobility Management (EPOMM), „Mobilitätsbudget.“ http://www.epomm.eu/newsletter/electronic/0312_EPOMM_enews_DE.html (letzter Zugriff: 8. April 2020).

⁶⁵ Sebastian Köffer und Nils Urbach, „Die Digitalisierung der Wissensarbeit – Handlungsempfehlungen aus der Wirtschaftsinformatik-Forschung.“ *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 53, Nr. 1 (2016): 5–15.

⁶⁶ Andreas Boes, Tobias Kämpf, Barbara Langes und Thomas Lühr, „Informatisierung und neue Entwicklungstendenzen von Arbeit.“ *Arbeits- und Industriesoziologische Studien* Vol. 7 (1) Seite 5-23 (Arbeits- und Industriesoziologie, 2014).

⁶⁷ Johann Weichbrodt, Martial Berset und Michael Schläppi, „FlexWork Survey 2016: Befragung von Erwerbstätigen und Unternehmen in der Schweiz zur Verbreitung mobiler Arbeit.“ (2016).

⁶⁸ Gerlinde Vogl und Gerd Nies, *Mobile Arbeit. Betriebs- und Dienstvereinbarungen* (Frankfurt am Main: Bund-Verl., 2013).

⁶⁹ Annette Henninger, „Kleemann, Frank: Die Wirklichkeit der Teleheimarbeit. Eine arbeitssoziologische Untersuchung. Berlin: edition sigma 2005, ISBN 3-89404-525-6, 374 Seiten, 24,90 Euro.“ (2006).

Mobilitätsangebot höher.⁷⁰ Je nach Situation werden verschiedene Transportmittel für die zunehmenden Wege vor allem im Fernverkehr genutzt. Diese werden vor allem Reise- und Tourismusaktivitäten⁷¹, aber auch beruflich bedingte Fernreisen genutzt, die das soziale Umfeld und das persönliche Netzwerk erweitern. Zudem werden die Aktionsradien der Menschen größer.

Diese zunehmende realisierte Mobilität betrifft nicht nur die jungen Erwachsenen, wie z. B. Studierende mit Auslandsaufenthalten und Reisen oder berufstätige Business-Traveller, auch die älteren Generationen werden mobiler. Die sogenannten Forever Youngsters, also die jungen Alten, oder die Silver Mover im mobilen Unruhezustand weisen eine zunehmende Mobilität auf. Die Mobilität dieser Altersgruppe ist nicht so flexibel hinsichtlich der Verkehrsmittelnutzung wie die der jüngeren Generationen. Durch die vermehrte Pkw-Nutzung der Älteren wird die rückläufige Pkw-Nutzung der jüngeren Menschen in Deutschland in Menge und Intensität ausgeglichen, so dass diese im Mittel relativ konstant bleibt.^{72,73}

Die genannten Individualisierungstendenzen bei Personen und die schwindende Wichtigkeit des Besitzes von Verkehrsmitteln hat nicht zwingend zur Folge, dass die Nutzungen zum Beispiel im Pkw-Bereich im selben Maße eingeschränkt werden. Sharing-Angebote bieten hier die Möglichkeit, die Verkehrsnachfrage in Form von Carsharing aber auch Bikesharing oder Ridesharing/-pooling auch ohne den Besitz der Fahrzeuge aufrechtzuerhalten. Die

⁷⁰ Lothar Hagebölling und Neven Josipovic, Hrsg., *Herausforderung Mobilitätswende: Ansätze in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft*, 1. Auflage. Mobilitätsrecht-Schriften (Berlin: BWV Berliner Wissenschafts-Verlag, 2018).

⁷¹ Forschungsgemeinschaft Urlaub und Reisen e.V. (FUR), „ReiseAnalyse 2019 - Erste ausgewählte Ergebnisse der 49. Reiseanalyse zur ITB 2019.“ (2019).

⁷² Uwe Kunert, Sabine Radke, Bastian Chlond und Martin Kagerbauer, „Automobility in Flux: More Women and Older Drivers at the Wheel.“ *DIW Economic Bulletin*, Nr. 8 (2013): 18–28.

⁷³ Martin Kagerbauer und Wilko Manz, „Anforderungen an Mobilitätsdaten aufgrund heterogener Entwicklung der Verkehrsnachfrage.“ In *Mobiles Leben - Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller*, hrsg. von Institut für Verkehrswesen, 84–101 (Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009).

Schlagworte „Zugang statt Besitz“ oder „Sharing is caring“ spiegeln diese gesellschaftlichen Veränderungen wider.^{74,75,76} Das Teilen beschränkt sich hier nicht nur auf den Mobilitätsbereich, sondern u. a. auch Kleidungstausch, Couchsurfing oder gemeinsames Nutzen von selten gebrauchten Gegenständen, wie beispielweise Maschinen. Dieser geteilte Konsum ist in fast allen Lebensbereichen zu sehen und gilt als einer der Megatrends der heutigen Zeit.^{77,78}

Durch sogenannte Smart-Mobility-Ansätze wird die Individualisierung verstärkt und umgekehrt, um optimale Synergien zu erzielen. Die Vernetzung von mobilitätsbezogenen aber auch mobilitätsexogenen Angeboten und Dienstleistungen erfolgt meist mit Hilfe der Digitalisierung und der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT).

⁷⁴ Barbara Lenz und Eva Fraedrich, „Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens.“ In *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, hrsg. von Markus Maurer et al., 639–658 (s.l.: Springer, 2015).
<http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=18942>.

⁷⁵ Carolin Baedeker, Kristin Leismann, Holger Rohn, Martina Schmitt und Indra Enterlein, *Nutzen statt Besitzen: Auf dem Weg zu einer ressourcenschonenden Konsumkultur ; eine Kurzstudie*. Schriften zur Ökologie 27 (Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 2012).
http://www.boell.de/downloads/Endf_NutzenStattBesitzen_web.pdf.

⁷⁶ Gerd Scholl, Maike Gossen, Magnus Grubbe und Tanja Brumbauer, „Alternative Nutzungskonzepte – Sharing, Leasing und Wiederverwendung.“ (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2013).

⁷⁷ Anja Schneider, *Sharing Economy: Leihen, teilen, tauschen anstatt besitzen gilt als Megatrend* (München: GBI-GENIOS Verlag, 2013).

⁷⁸ Anna Dąbrowska und Anna Gutkowska, „Collaborative Consumption as a New Trend of Sustainable Consumption.“ *Acta Scientiarum Polonorum Oeconomia*, 14 (2) (2015): 39–49.

2.2.4 Digitalisierung: Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)

Fahrzeugzentrierte Use-Cases für IKT, sind laut der Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)⁷⁹:

- Kartierung (hochgenaue Kartendaten und Straßeninformationen), Lokalisierung, Zeitsynchronisierung und Übertragung von Sensor-Rohdaten, Cloud-Services,
- Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen (z. B. zum Kreuzen, Überholen oder für Gefahrenbewältigung bzw. den Schutz für Fahrzeug und Verkehrsteilnehmende),
- Fahrmanöver (z. B. teleoperiertes Fahren oder Parken),
- Navigation oder Entertainment/Office/Infotainment, Fahrzeug als IoT (Internet of Things)-Objekt und
- Verkehrsmanagement als Smart-Traffic-Anwendungen oder Smart-Grid-/Smart-City-Anwendungen.

Die Digitalisierung hält aber nicht nur Einzug in das Fahrzeug selbst, sondern auch in den Verkehr und die Mobilität im Allgemeinen. „Nutzerdaten werden im Jahre 2025 Grundlage nahezu jedes Mobilitätsangebots sein. Viele Nutzer haben keinen Überblick darüber, welche Daten erfasst und verwendet werden und teilen ihre Daten gerne, um an günstigere Tarife zu kommen oder um auf ihre spezifischen Bedürfnisse zugeschnittene Services in Anspruch nehmen zu können.“⁸⁰ Das bedeutet, dass Daten und die Integration von Daten in Mobilitätsdienstleistungen wesentliche Punkte sind, um

⁷⁹ Andreas Festag, Marco Rehme und Jan Krause, *Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive?* (2016).
https://www.researchgate.net/publication/301560673_Studie_Mobilitat_2025_Koexistenz_oder_Konvergenz_von_IKT_fur_Automotive.

⁸⁰ Helmut Krcmar, „Mobilität. Erfüllung. System: Zur Zukunft der Mobilität 2025+.“ (2017).

nutzerorientierte Angebote zu schaffen. Ein einfaches Beispiel verdeutlicht das: die Buchung eines free-floating Carsharing-Fahrzeugs verläuft heute ausschließlich digital. Mit der Standortidentifikation der Nutzenden wird das nächste freie Fahrzeug gesucht; dieses wird beispielweise mit einer App reserviert, geöffnet und nach der Fahrt wieder zurückgegeben. Ein derartiger Prozess wäre vor wenigen Dekaden wegen fehlender IKT nicht möglich gewesen. Alle (neuen) Mobilitätsservices arbeiten mit IKT, sei es das Sharing oder das Pooling von Fahrzeugen, zur bestmöglichen Suche nach Ladeinfrastruktur (LIS) bei Elektromobilität oder der ÖV mit seinen teilweise intermodalen Auskunftssystemen. „Zur Kontrolle und Steuerung der persönlichen Daten dienen in Zukunft digitale Assistenten. Besonders bei komplexeren Mobilitätssituationen und -anforderungen wird dies interessant, wie z. B. beim Planen und Buchen einer längeren Reise unter Nutzung multimodaler, nahtloser Verkehrsangebote. [] Der zukünftige Mobilitätszugang ist digital.“⁸¹ Durch vielfältige digitale Verkehrsangebote in Form von Produkten oder Dienstleistungen ist es schwierig ohne digitale Unterstützung den Überblick zu behalten bzw. diese nutzen können. Dabei ist es wichtig, die Dienste miteinander sinnvoll zu verknüpfen.⁸² Es ist absehbar, dass „Dienstleistungen, die über die vom Mobilitätsanbieter bereitgestellte Transportfunktion hinausgehen und diese komplementär ergänzen, [...] zukünftig für die Wahl eines Mobilitätsangebots ausschlaggebend sein“⁸³ können.

⁸¹ Martin Kagerbauer, Thomas Schuster, Georg Hertweck und Oliver Wolf, „Mobilitätsmanagement im Wandel.“ In *Leichtbau-Technologien im Automobilbau: Werkstoffe - Fertigung - Konzepte*, hrsg. von Wolfgang Siebenpfeiffer, ATZ/MTZ-Fachbuch (Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg, 2014).

⁸² Uta Schneider, Claus Doll, Axel Ensslen, Wolf Fichtner, Martin Gießler, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Rayad Kubaisi, Anja Peters, Matthias Pfriem und Martin Wietschel, „Wie wir in Zukunft unterwegs sein werden.“ *energiezukunft*, Nr. 22 (2017): 20–22. http://energiezukunft.eu/fileadmin/user_upload/pdf/energiezukunft/energiezukunft_2017-22.pdf.

⁸³ Krcmar, „Mobilität. Erfüllung. System“.

Grundsätzlich sind neue Mobilitätsformen eine Folge von vielen verschiedenen Veränderungen und Treibern. Der direkte Einfluss zwischen IKT und dem Mobilitätsverhalten ist gegeben, so dass die Veränderungen in der IKT ein wesentlicher Treiber für neue Mobilitätsformen sind, da es viele v. a. technische Möglichkeiten und Anwendungen ermöglicht.

Zusammenfassend gibt es nicht den einen Treiber für neue Mobilitätsformen bzw. neue Verkehrsangebote inklusive Mobilitätsdienstleistungen, sondern ein Zusammenspiel von vielen Aspekten und Treibern. Wesentliche, hier genannten Verkehrsangebote sind aber nur dann erfolgreich, wenn sie angenommen und verwendet werden. Dies spiegelt sich in der Verkehrsnachfrage und im Mobilitätsverhalten wider.

2.3 Mobilitätsverhalten

Verkehrsangebote, wie zum Beispiel neue Mobilitätsformen, und die Verkehrsnachfrage, die Teil des Mobilitätsverhaltens ist, sowie veränderte Rahmenbedingungen, wie technische Möglichkeiten (z. B. IKT) oder regulatorische Eingriffe (Einfahrverbote), bedingen sich gegenseitig. Abbildung 2.11 zeigt wichtige Einflussfaktoren auf das Mobilitätsverhalten nach Ausmaß und Einflusspotenzialen und Steuerungen von außen, in diesem Fall der Kommunen. Dieser Zusammenhang bildet die Wechselwirkungen sehr gut ab.⁸⁴

⁸⁴ Dieses Kapitel wurde auszugsweise veröffentlicht für eine Veranstaltung im Rahmen des „Demografiebeirat“ in Stuttgart am 12.04.2021. Die Inhalte sind deshalb identisch bzw. ähnlich.

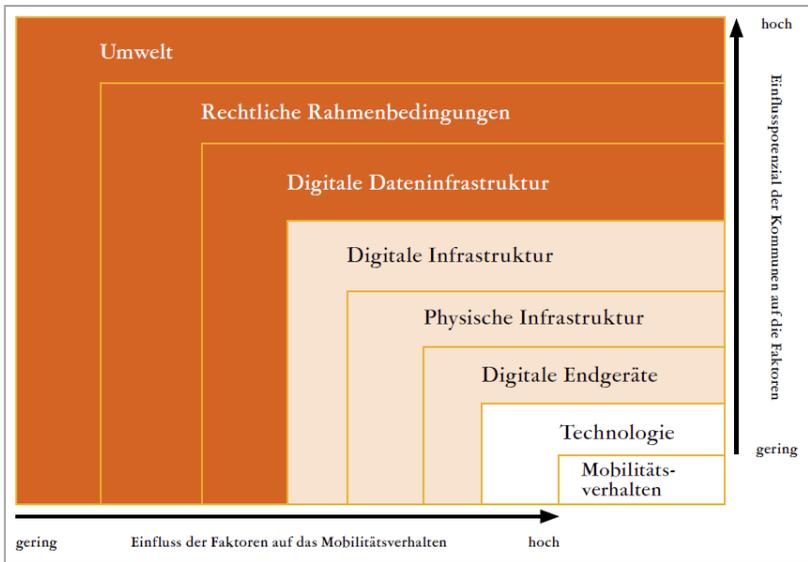


Abbildung 2.11: Rahmenfaktoren des individuellen Mobilitätsverhaltens⁸⁵

Mobilitätsenerhebungen zeigen zudem, dass sich das realisierte Mobilitätsverhalten im Laufe der Zeit verändert hat, und die Dynamik der Rahmenbedingungen, wie sie in Abbildung 2.11 aufgeführt sind, lässt auch künftig Veränderungen erwarten. Dazu zählen die laut der Studie *Mobilität 2025*⁸⁶ veränderte Einstellung zur Ökologie und zunehmendes Umweltbewusstsein, die rückläufige Bedeutung des Pkw-Besitzes vor allem in Großstädten und das Mobilitätsverhalten wird Lifestyle-bedingt flexibler, spontaner und situativer.

⁸⁵ Marc König, Moritz Stahl, Meier, Valerie, Rupprecht, Michael, Detlef Schumann und Reha Tözün, „Digitale Mobilität in Kommunen: Analyse für die Gestaltung von Innovationspartnerschaften zwischen Kommunen und Mobilitätswirtschaft 4.0 (InKoMo 4.0)“. https://www.staedtetag-bw.de/media/custom/2295_90297_1.PDF?1549441659 (letzter Zugriff: 3. April 2020).

⁸⁶ Andreas Festag, Marco Rehme und Jan Krause, *Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive?*

Diese Veränderungen sind einhergehend mit Bevölkerungszuwächsen in den Ballungsräumen und Großstädten und der gleichzeitig sinkenden Notwendigkeit des Pkw-Besitzes durch verschiedene kollektive und öffentliche Verkehrsangebote. Zudem steigen die Flexibilitäten im Alltag und in der Mobilität auch durch die Zunahme von Mobile Office, also das Arbeiten nicht nur am Arbeitsplatz, sondern auch zu Hause, an anderen Orten oder von unterwegs. All diese Treiber wurden in Kapitel 2.2 detailliert beschrieben.

Darüber hinaus verändern sich auch die persönlichen Biografien. Ausgehend von den klassischen drei Phasen (Kind/Jugend/Heranwachsend – Erwachsen/Erwerbstätig/Familie – Rente) entwickeln sich die Biografien der Menschen differenzierter und vielfältiger zu einer Multigrafie, wie in Abbildung 2.12 dargestellt ist.

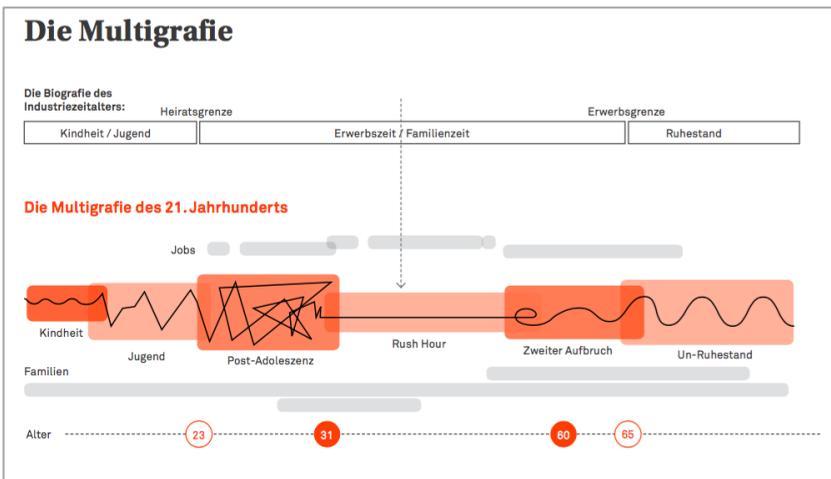


Abbildung 2.12: Lebenszyklus von der dreiphasigen Biografie hin zu Multigrafie⁸⁷

⁸⁷ David Mock, „Loud & proud: Die neue Story der Alten.“ <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/loud-proud-die-neue-story-der-alten/> (letzter Zugriff: 17. Juli 2020).

Diese Veränderung spiegelt sich auch im Mobilitätsverhalten wider.⁸⁸ Der Bericht des Deutschen Mobilitätspanels (MOP)⁸⁹, einer Längsschnitterhebung, die jährlich im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durchgeführt und vom KIT-IfV betreut wird, zeigt Veränderungen im Mobilitätsverhalten in den letzten 20 Jahren. Vor allem bei älteren Personen ist ein Anstieg der Verkehrsleistung, erhoben in Kilometer je Person und Tag, zu sehen (vgl. Abbildung 2.13). Die jüngeren Personen legen heutzutage ähnlich viele Kilometer zurück wie vor 20 Jahren, während sie zwischenzeitlich weniger unterwegs waren, aber die Anzahl der Wege sind heutzutage bei dieser Altersgruppe geringer als vor zehn und 20 Jahren (vgl. Abbildung 2.14). Das lässt darauf schließen, dass diese Personen heute weniger oft unterwegs sind, aber dafür weitere Strecken zurücklegen.

⁸⁸ Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mobilität heute und Morgen?“ In *Perspektive Mobilität - Herausforderungen im Gesellschaftlichen Wandel*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 138–145 (Berlin, 2013).

⁸⁹ Ecke et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung“.

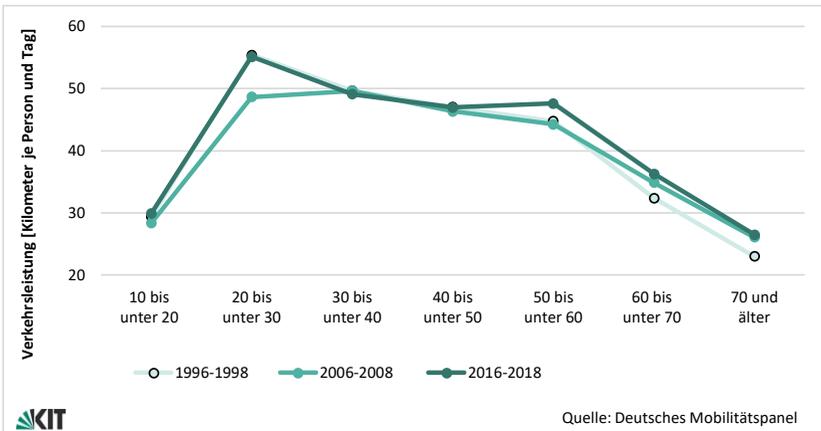


Abbildung 2.13: Entwicklung der Verkehrsleistung in den letzten 20 Jahren⁹⁰

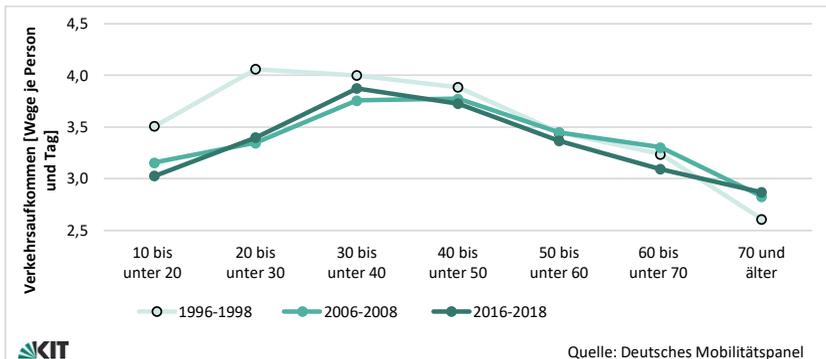


Abbildung 2.14: Entwicklung des Verkehrsaufkommens in den letzten 20 Jahren⁹¹

Bei der Verkehrsmittelnutzung ist zu beobachten, dass durchgehend, außer bei älteren Menschen, die Nutzung des ÖV heute höher ist als vor 20 Jahren.

⁹⁰ Ecke et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung“.

⁹¹ Ebd.

Gleichzeitig ist die MIV-Nutzung geringer als vor 20 Jahren, wobei die Veränderungen in den letzten zehn Jahren sehr schwach sind und sich nun bei den 20- bis 30-Jährigen wieder umzukehren scheinen⁹² (vgl. Abbildung 2.15). International sind die Erhebungsdaten nicht so aktuell wie in Deutschland, es zeigte sich aber ein ähnlicher Verlauf.^{93,94}

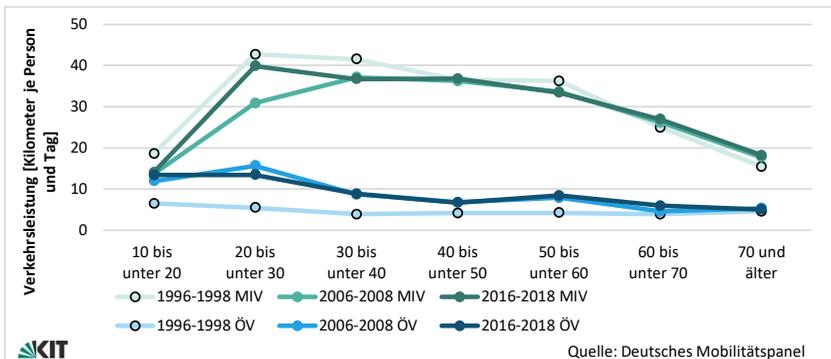


Abbildung 2.15: Entwicklung der Verkehrsmittelnutzung (MIV und ÖV) in den letzten 20 Jahren⁹⁵

⁹² Uwe Kunert, Sabine Radke, Bastian Chlond und Martin Kagerbauer, „Auto-Mobilität: Fahrleistungen steigen 2011 weiter.“ *DIW Wochenbericht*, Nr. 47 (2012): 3–148.

⁹³ Linda Christensen, Tobias Kuhnimhof, Jean-Paul Hubert, Angelika Schulz, Martin Kagerbauer und Natalia Sobrino, „Improving Comparability of Survey Results Through Ex-post Harmonization - a Case Study with Twelve European National Travel Surveys.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2014).

⁹⁴ Jean-Paul Hubert, Linda Christensen, Tuuli Järvi, Martin Kagerbauer, Natalia Sobrino und Christine Weiss, „Comparison of travel behaviour in 11 European Countries by use of post-harmonized European national travel surveys.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2014).

⁹⁵ Ecke et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung“.

Bedingt ist diese vermehrte Nutzung des ÖV auch durch die Verfügbarkeit von sogenannten Mobilitätswerkzeugen, also von Pkw und Führerschein und einer ÖV-Zeitkarte. Abbildung 2.16 zeigt die Zunahme der ÖV-Zeitkarten nahezu in allen Altersgruppen, außer bei den Seniorinnen und Senioren. Bei jüngeren Personen ist ein Rückgang der Führerscheinbesitzquote zu sehen. Bei älteren ist die Führerscheinbesitzquote teilweise sehr stark gestiegen, da die Personen, vor allem ältere Frauen, die nach dem Zweiten Weltkrieg keinen Führerschein hatten, verstorben sind und so nicht mehr in der Statistik berücksichtigt sind. Die nachkommenden Kohorten haben bei beiden Geschlechtern einen Führerschein. Die historisch bedingte Geschlechterungleichheit im Führerscheinbesitz ist nicht mehr stark ausgeprägt. Diese Veränderungen können mit anderen Mobilitätsbefragungen als dem MOP nicht so detailliert analysiert werden, der Trend zeigt sich aber auch in der Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD)⁹⁶.

Zudem ist die Bedeutung des Radverkehrs gestiegen. Auswertungen der MiD 2017⁹⁷ zeigen, dass der Radverkehr im Vergleich zum Jahr 2002 in 2017 in Wegen und Kilometern überproportional stark angestiegen ist und das relativ konstant über alle Altersgruppen hinweg, und dass er eher ein urbanes Phänomen ist. Zudem sind Fahrradfahrende i. d. R. multimodaler und nutzen im Verlauf einer Woche mehrere Modi.

⁹⁶ Nobis und Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“; infas und DLR, „Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends.“ (2010); infas und DIW, „Mobilität in Deutschland 2002 Ergebnisbericht.“ (2004).

⁹⁷ infas, DLR, IVT Research und infas 360, „Mobilität in Deutschland - Analyse zum Radverkehr und Fußverkehr.“ (Mai 2019).

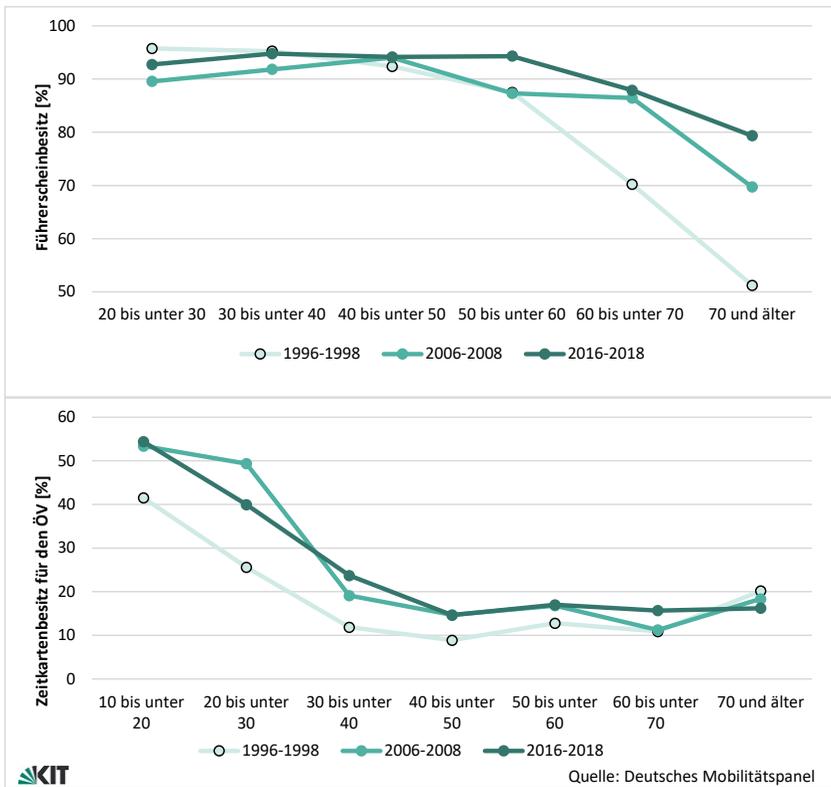


Abbildung 2.16: Entwicklung der Verkehrsmittelverfügbarkeit (Führerschein und ÖV-Zeitkarte) in den letzten 20 Jahren⁹⁸

Auswertungen des MOP zeigen, dass die Faktoren Soziodemografie, Pendelwege mit deren Eigenschaften und Verfügbarkeiten von Pkw und ÖV-Zeitkarten die Verkehrsmittelwahl beeinflussen und diese Veränderungen zu mehr

⁹⁸ Ecke et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung“.

Multimodalität führen.⁹⁹ Diese Ergebnisse werden von vielen weiteren Studien bestätigt.^{100,101} Zudem haben multi- und intermodale Wege, also der Zu-/Abgangswege vor allem zum ÖV, aber auch zu Carsharing-Angeboten¹⁰², eine zunehmende Relevanz.^{103,104} Grund hierfür sind vor allem im letzteren Fall die besseren Angebote in Qualität und Quantität.

Multimodales Verkehrsverhalten beschreibt die Nutzung von verschiedenen Verkehrsmodi in einem Zeitraum, der aus forschungspragmatischen Gründen meist innerhalb einer Woche liegt, da hierfür Daten vorhanden sind. Bestens geeignet für die Darstellung des multimodalen Verkehrsverhaltens ist daher das MOP, da hier jedes Jahr das Mobilitätsverhalten der Menschen über eine Woche erhoben wird. Abbildung 2.17 zeigt die Unterscheidung der Menschen in monomodale Personen, also Menschen, die innerhalb einer Woche nur einen Modus nutzen, und Verkehrsmittelkombinierende, also multimodale Personen. Der Modus Fußverkehr ist bei diesen Analysen exkludiert, da Fußwege

⁹⁹ Tim Hilgert, Christine Weiss, Martin Kagerbauer, Bastian Chlond und Peter Vortisch, „Stability and Flexibility in Commuting Behavior – Analyses of Mode Choice Patterns in Germany.“ In *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2016).

¹⁰⁰ Tobias Kuhnimhof, Matthias Wirtz und Wilko Manz, „Decomposing Young Germans’ Altered Car Use Patterns: Lower Incomes, More Students, Decrease in Car Travel by Men, and More Multimodality.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nr. 2320 (2012): 64–71. <http://dx.doi.org/10.3141/2320-08>.

¹⁰¹ Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mobilität heute und Morgen?“ In *Perspektive Mobilität - Herausforderungen im Gesellschaftlichen Wandel*.

¹⁰² Anna Reiffer, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mode Choice Behavior on Access Trips to Carsharing Vehicles.“ In *2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*, 353–358 (IEEE, 03.11.2020 - 05.11.2020).

¹⁰³ Martin Kagerbauer, Ole Schroeder, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Intermodale Mobilität – Elektromobile Fahrzeugkonzepte als Zubringer zum Öffentlichen Verkehr.“ In *6th Wissenschaftsforum Mobilität - Decisions on the Path of Future Mobility*, hrsg. von Universität Duisburg-Essen (2014), 2014.

¹⁰⁴ Anna Reiffer, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*.

(fast) immer vorkommen, auch wenn sie nur kurz sind, und so die Auswertungen verfälschen würden. Insgesamt haben ca. 40% der Menschen in Deutschland ein multimodales Verkehrsverhalten und kombinieren verschiedene Modi innerhalb einer Woche. 60% der Menschen sind monomodal oder gar nicht unterwegs. Meist treten die Kombinationen der Modi auf Wegen in Verbindung mit ÖV und Fahrrad auf.

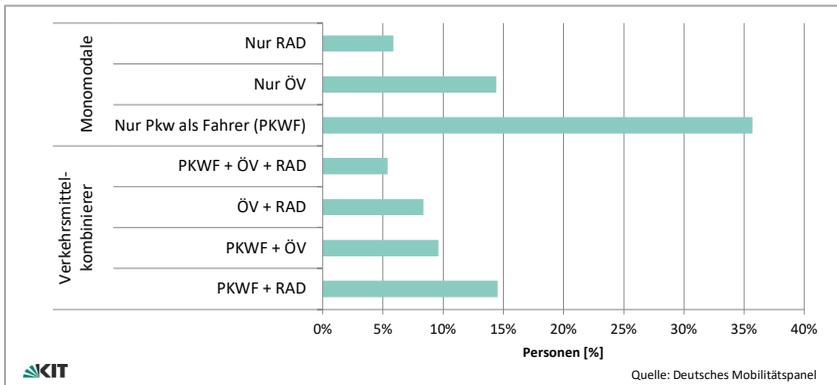


Abbildung 2.17: Kombination von Modi in Deutschland¹⁰⁵

Die zeitliche Entwicklung des multimodalen Verkehrsverhaltens über die letzten 20 Jahre zeigt, dass es weiter an Bedeutung gewinnt. Abbildung 2.18 veranschaulicht, dass in den Altersgruppen bis 60 Jahren das multimodale Verkehrsverhalten ansteigt (hier: Nutzung aller drei Modi MIV, ÖV und Rad innerhalb einer Woche). Vor allem in der jüngeren Altersgruppe zwischen 18 und 35 Jahren ist im Vergleich zu vor 15 Jahren ein deutlicher Anstieg zu sehen, wobei der Anteil der multimodalen Personen hier in den letzten 5 Jahren wieder etwas rückläufig ist. Die Steigerungsanteile multimodaler Personen bei den jungen Erwachsenen, aber auch bei den Menschen „mittleren Alters“ (zwischen 36 und 60 Jahren) sind deutlich zu erkennen. Bei den Seniorinnen

¹⁰⁵ Bastian Chlond, „25 Jahre Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Ein Rückblick und eine Beschreibung im Überblick“. <https://doi.org/10.5445/IR/1000100754>.

und Senioren (ab 61 Jahren) ist der Anteil der Personen mit multimodalem Verkehrsverhalten tendenziell konstant.

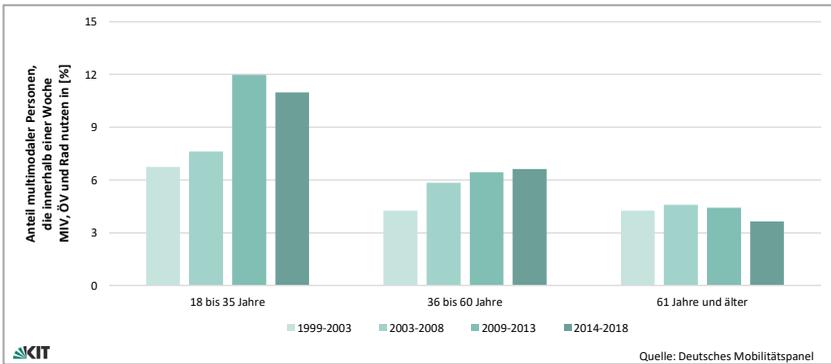


Abbildung 2.18: Entwicklung des multimodalen Verkehrsverhaltens¹⁰⁶

Obwohl das multimodale Verkehrsverhalten steigt, verhalten sich in Deutschland mehr als die Hälfte der Menschen monomodal. Wie Abbildung 2.19 zeigt, sind es vor allem die jüngeren Menschen, die ein multimodales Verkehrsverhalten haben. Multimodalität ist in dieser Abbildung unterteilt in Personen, die mindestens zwei Modi aus Radverkehr, MIV und ÖV innerhalb einer Woche kombinieren.

¹⁰⁶ Chlond, „25 Jahre Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Ein Rückblick und eine Beschreibung im Überblick“.

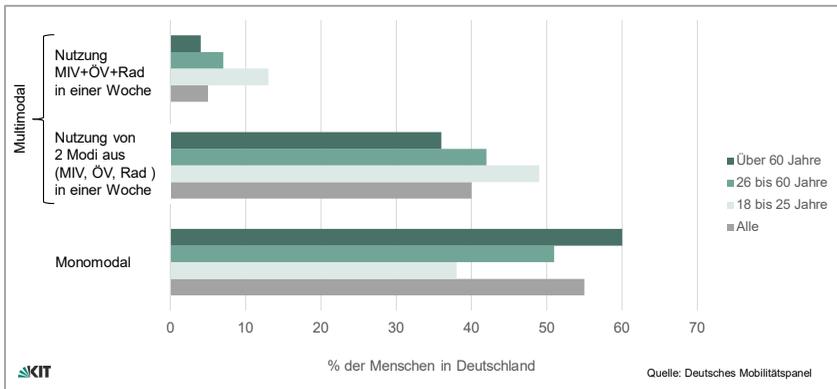


Abbildung 2.19: Entwicklung des multimodalen Verkehrsverhaltens¹⁰⁷

Intermodale Wege, also die Kombinationen von mehreren Modi¹⁰⁸ innerhalb eines Weges, kommen heutzutage eher selten vor. Meist treten intermodale Wege in Kombination mit dem Hauptverkehrsmittel ÖV oder (Car)sharing auf. In der MiD 2017 sind 3% aller ÖV-Wege in Deutschland eine Kombination von ÖV und Rad, 3% ÖV und Park&Ride und 2% ÖV und Mitfahrende¹⁰⁹. Für das Projekt regiomove¹¹⁰, in dem für die Region Karlsruhe die intermodalen Wege modelliert werden, wurden Daten der MiD 2017 für Baden-Württemberg¹¹¹ ausgewertet und eine Erhebung für realisierte Zugangs- bzw. Abgangswege zu/von stationsbasierten Carsharing-Fahrzeugen unter den Mitgliedern von

¹⁰⁷ Eigene Auswertungen des MOP.

¹⁰⁸ Fuß als Modus ist hier analog zur Multimodalität von den Auswertungen ausgenommen.

¹⁰⁹ Nobis und Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“.

¹¹⁰ Vgl. www.regiomove.de.

¹¹¹ Robert Follmer und Johannes Eggs, „Personenverkehr in Stadt und Land: Befragungsergebnisse Mobilitätsverhalten 2017.“. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/personenverkehr-in-stadt-und-land/> (letzter Zugriff: 8. September 2020).

stadtmobil Karlsruhe durchgeführt.¹¹² In Abbildung 2.20 sind zur Verdeutlichung der Anteile auch Fußwege aufgeführt. Die Erhebungen der intermodalen Wege für den ÖV zeigen in Baden-Württemberg (BW) ein ähnliches Bild wie in Deutschland: Etwa 5% der ÖV-Wege werden in Kombination mit einem Fahrrad durchgeführt und jeweils ca. 3% mit einem Pkw als Fahrende (Park and Ride (P&R)) und als Mitfahrende (Bringen/Holen zur/von der ÖV-Haltestelle). 89% aller Wege mit dem ÖV werden im Zu- bzw. Abgang zu Fuß durchgeführt.

Der Zugang bzw. der Abgang zu bzw. von Stationen von Carsharing (CS)-Fahrzeugen werden in Karlsruhe ebenfalls zu Fuß durchgeführt. Der Anteil ist mit 64% aller CS-Wege allerdings wesentlich geringer als beim ÖV. Rund 25% der intermodalen Wegetappe¹¹³ mit CS werden mit dem Fahrrad zurückgelegt, 8% mit dem ÖV und 3% der Etappe mit dem Pkw (Fahrende und Mitfahrende). Abbildung 2.20 zeigt zudem den Zugang/Abgang nach Verkehrsmittel und Etappenlänge.

¹¹² Anna Reiffer, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mode Choice Behavior on Access Trips to Carsharing Vehicles.“ In *2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*.

¹¹³ Eine Wegetappe ist ein mit einem Verkehrsmittel oder zu Fuß zurückgelegter Abschnitt eines Weges.

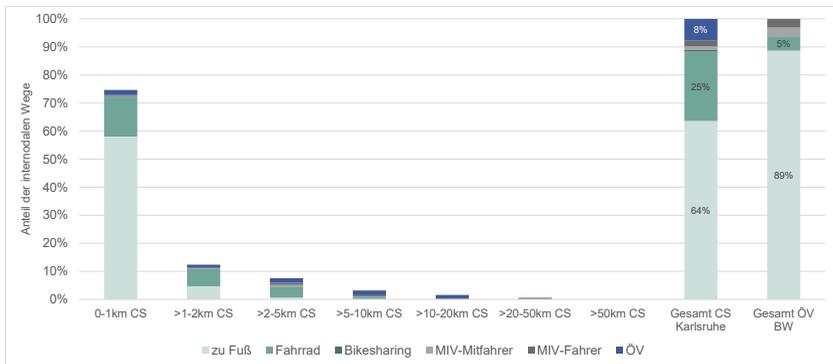


Abbildung 2.20: Auswertung intermodaler Wege für ÖV in Baden-Württemberg und für Car-sharing in Karlsruhe¹¹⁴

Diese Auswertungen zeigen, dass bei neuen Mobilitätsformen intermodale Wegetappen eine größere Rolle spielen als bei konventionellen Verkehrsmitteln, wie hier dem ÖV. Darüber hinaus ist das Vorhandensein von guten, intermodalen Verknüpfungen im ÖV oder bei Sharing-Dienstleistungen¹¹⁵ oder Mitfahrgelegenheiten eine Voraussetzung für die intermodale Nutzung. „Eine Zunahme der intermodal zurückgelegten Wege ist damit höher bei neuen Angebotsformen, die den schnellen und einfachen Wechsel zwischen den Verkehrsmitteln ermöglichen.“¹¹⁶

Dieses Kapitel zeigt, dass sich das Mobilitätsverhalten über die Zeit verändert, nicht zuletzt auch wegen veränderter Verkehrsangebote und neuer Mobilitätsformen. „Der Zusatznutzen beeinflusst zunehmend die Wahl des Verkehrsmittels“¹¹⁷ und sobald neue Mobilitätsformen einen individuellen

¹¹⁴ Eigene Auswertung der MiD 2017 und der eigenen Erhebung zu Zugangswegen in Karlsruhe.

¹¹⁵ Hauptsächlich Carsharing, aber auch Bikesharing.

¹¹⁶ Marcel Hunecke, Claus J. Tully und Doris Bäumer, *Mobilität von Jugendlichen: Psychologische, soziologische und umweltbezogene Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen* (Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2002).

¹¹⁷ Krcmar, „Mobilität. Erfüllung. System“.

Zusatznutzen generieren, werden diese auch genutzt. Die verkehrsplanerische Aufgabe ist nun, diese neuen Mobilitätsformen, die sowohl Verkehrsangebot als auch Verkehrsnachfrage beeinflussen, in den Planungen zu berücksichtigen. Das erfordert deren Integration in die Erhebung der Mobilität, aber auch in die Planungstools, also den Verkehrsmodellen. Beide müssen entsprechend auch methodisch angepasst werden, da es sich bei neuen Mobilitätsformen um differenzierte, vielfältige, volatile und oft auch selten vorkommende und genutzte Angebote im Vergleich zu den herkömmlichen Verkehrsmitteln handelt.

3 Integration neuer Mobilitätsformen in die Verkehrsplanung

Die Entwicklung neuer Mobilitätsformen hat seit dem Jahrtausendwechsel rapide zugenommen, während sich davor im Verkehrsangebot bei den etablierten Verkehrsmitteln (Fahrrad, Pkw, Bus und Bahn) sowie dem zu Fuß gehen wenig verändert hat, außer der technischen Weiterentwicklung der Fahrzeuge und dem Ausbau der Infrastruktur. Die Verkehrsnachfrage hat sich zwar verändert, allerdings nur hinsichtlich der Verteilung der Anteile innerhalb der etablierten Modi. Gründe dafür waren vor allem der steigende Pkw-Besitz und die größeren Aktionsradien und Wegestrecken in Folge von höheren Systemgeschwindigkeiten.

Vor allem für den Ausbau der Infrastruktur war es notwendig, Planungsprozesse zu haben, die zum einen die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangebot und -nachfrage abbildeten und mit denen zum anderen Notwendigkeit, Trassierung und Dimensionierung der Infrastrukturen ermittelt werden konnten. Dabei war es aber „nur“ notwendig, die Wege i. d. R. auf Basis von Reisezeitveränderungen auf die vorhandenen Verkehrsmittel aufzuteilen. Meist wurden nur die Modi MIV und ÖV berücksichtigt, da Fuß- und Radverkehr eine untergeordnete Rolle spielten und es sich beim Ausbau von Infrastrukturen maßgeblich um Straßenneubau oder den Bau von Schienenverbindungen handelte. Dieser Infrastrukturausbau bestimmte weitgehend die Verkehrsplanung ab Mitte des 20. Jahrhunderts bis zu dessen Ende.

3.1 Planungsprozesse

Die Planungsprozesse beinhalten auch heute noch die Abbildung des Verkehrsangebots und der Verkehrsnachfrage, die sich in Form von Wahlentscheidungen der Verkehrsteilnehmenden und der Auslastung des Verkehrsangebots gegenseitig beeinflussen (vgl. Abbildung 3.1).

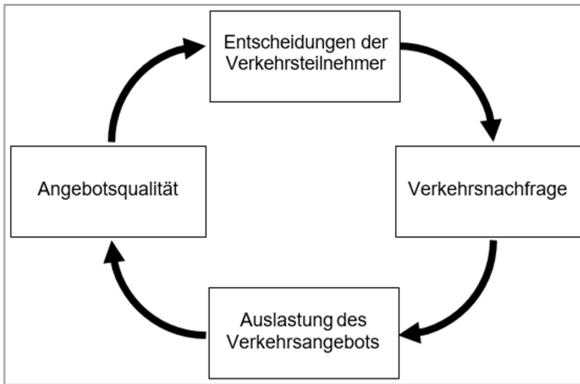


Abbildung 3.1: Wechselwirkungen zwischen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot¹¹⁸

Als Werkzeug für die Abbildung dieser Wechselwirkungen dienen Verkehrsnachfragemodelle, die ihren Ursprung in den 1950er Jahren haben.¹¹⁹ Die Modelle und Modellkonzepte wurden und werden stetig weiterentwickelt. Die Ermittlung der in Abbildung 3.1 dargestellten Zusammenhänge beruhen auf Modellalgorithmen, die wesentliche Bestandteile der Verkehrsnachfragemodelle sind. Für die Anwendung der Modellalgorithmen und um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu bekommen, sind empirische Daten (i. d. R. aus Befragungen) notwendig. Mit Hilfe von Erhebungen, die das Verhalten der Menschen abbilden, können die Modelle geschätzt und anschließend kalibriert

¹¹⁸ Markus Friedrich, Fabien Leurent, Irina Jackiva, Valentina Fini und Sebastián Raveau, „From Transit Systems to Models: Purpose of Modelling.“ In *Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems: COST Action TU1004 (TransITS)*, hrsg. von Guido Gentile, Klaus Noekel und Klaus Nökel. 1st ed. 2016, 131–234, Springer Tracts on Transportation and Traffic (s.l.: Springer-Verlag, 2016).

¹¹⁹ Carl Pirath, Hrsg., *Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft*, Zweite erweiterte Auflage (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1949).

werden. Sowohl die Methodik der Modelle als auch die der Erhebungen werden ständig weiterentwickelt.^{120,121,122}

In das Wechselspiel zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage fließen nicht nur die Charakteristiken der Verkehrsinfrastrukturen ein, sondern auch viele Rahmenbedingungen, die sich mehr oder weniger schnell ändern. So spielen bei den Mobilitätsentscheidungen u. a. Soziodemografie, Zugang zu Verkehrsmitteln, Raumstruktur und Infrastrukturausstattung, Mobilitätspräferenzen und Mobilitätsstile sowie generelle sozialräumliche Handlungsmuster eine Rolle.¹²³ In Abbildung 3.2 sind die Treiber des Nachfrageprozesses vereinfacht zusammengefasst:

¹²⁰ Martin Kagerbauer und Juliane Stark, „Does supervision in multi-day travel surveys lead to higher quality? A comparison of two independent surveys.“ *Transportation Research Procedia* 32 (2018): 229–241.

¹²¹ Martin Kagerbauer und Stacey Bricka, „Panel, Continuous, and Cross-Sectional Travel Surveys – Germany’s Experience.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2015).

¹²² Jimmy Armoogum, Hrsg., *Survey harmonisation with new technologies improvement, SHANTI. Recherches / IFSTTAR R287* (Bruxelles: IFSTTAR; COST, 2014).

¹²³ Mathias Wilde et al., Hrsg., *Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie: Ökologische und soziale Perspektiven*. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung (Wiesbaden: Springer VS, 2017).

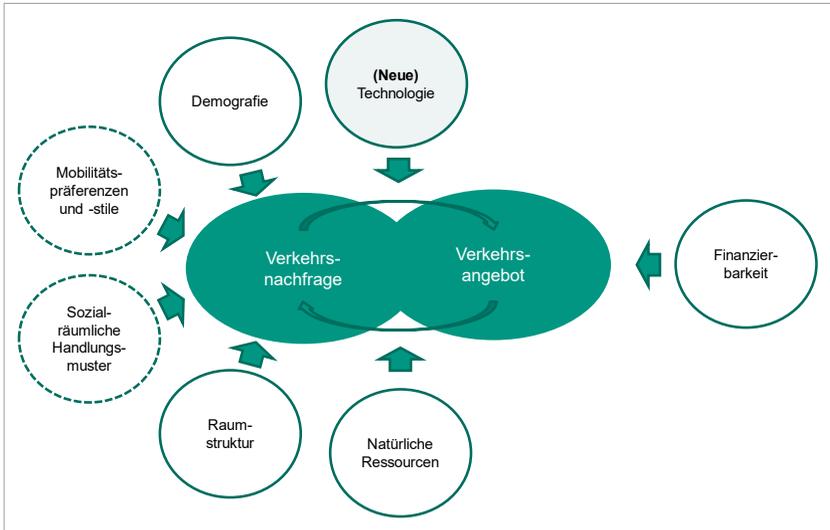


Abbildung 3.2: Treiber Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot¹²⁴

Demografie, Raumstrukturen, natürliche Ressourcen (Verfügbarkeit von Materialien, Umwelt), Finanzierbarkeit der Infrastrukturen und die Technologien (u.a. Verkehrsmittel) sind schon seit Langem Bestandteile in den Planungsprozessen, so auch in den Nachfragemodellen und Erhebungen. Auf Seiten der Verkehrsnachfrage werden als Folge der Verhaltensänderungen (vgl. Kap. 2.3) die Mobilitätspräferenzen und bestimmte Handlungsmuster der Menschen immer wichtiger. Durch die zunehmende Technologisierung, Flexibilisierung und Erweiterung der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel sowie der Volatilität der Mobilitätsangebote, die alle sowohl auf das

¹²⁴ Eigene Darstellung erweitert nach: M. Sieber, T. Stoiber, U. Haefeli, D. Matti und Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten, *Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Initialprojekt*. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, 2015). https://books.google.de/books?id=R7T_jwEACAAJ.

Verkehrsangebot als auch auf die -nachfrage wirken, wird es umso wichtiger, die Werkzeuge in den Planungsprozessen dahingehend anzupassen, dass auch die Wirkungen dieser Veränderungen abgebildet werden können. Da diese neuen Mobilitätsformen meist auch als neue Verkehrsmittel oder Produkte auf den Markt kommen (vgl. Tabelle 2.1), sind die Modelle und deren Datengrundlagen, wie beispielweise die Erhebungen, anzupassen, um die Wirkungen evaluieren zu können bzw. diese in die Planungen zu integrieren. Da es sich i. d. R. bei den neuen Mobilitätsformen oder -dienstleistungen im Vergleich zu den etablierten Modi Fuß, Fahrrad, MIV und ÖV um seltene Ereignisse hinsichtlich des Vorhandenseins und der Nutzung handelt, sind Anpassungen, Erweiterungen oder Neuentwicklungen in den Erhebungs- und Modellierungsprozessen notwendig, um wirtschaftlich Verkehrsplanungsprozesse durchführen zu können.

3.2 Erhebung

Erhebungen dienen der Beschaffung von Datengrundlagen für die Analyse und das Monitoring des Verkehrs. Neben der quantitativen Beschreibung des Verkehrs ist das Ableiten von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen aus den Erhebungsdaten ein zentraler Aspekt. Zudem sind auch qualitative Verkehrserhebungen wichtig, um Entscheidungen zur individuellen Mobilität zu erforschen. Dabei handelt es sich beispielsweise um Fokusgruppeninterviews oder Einzelinterviews, in denen nicht die Menge der Verkehrsbewegungen im Zentrum stehen, sondern die Entscheidungshintergründe und psychologischen Faktoren.¹²⁵ Diese qualitativen Erhebungen bleiben in dieser Arbeit außen vor, da daraus i. d. R. keine Verkehrsentscheidungen und -mengen abgeleitet werden können.

¹²⁵ Sascha von Behren, Richard Schubert und Bastian Chlond, „International comparison of psychological factors and their influence on travel behavior in hybrid cities.“ *Research in Transportation Business & Management* (2020): 100497.

Tabelle 3.1: Kenngrößen aus Haushaltsbefragungen nach EVE¹²⁶

Individuelle Verhaltensmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Wegehäufigkeit: Anzahl der Wege einer Person innerhalb eines bestimmten Zeitraums (i. d. R. für einen 24-Stunden-Tag) - Wegelänge: zurückgelegte Entfernung eines Weges - Wegedauer: zeitliche Dauer eines Weges - Reiseweite (auch tägliche Wegelänge genannt) = Entfernung sämtlicher zurückgelegter Wege einer Person innerhalb eines bestimmten Zeitraums (i. d. R. für 24 h) - Reisezeit: Dauer sämtlicher zurückgelegter Wege einer Person innerhalb eines bestimmten Zeitraums (i. d. R. für 24h) - Aktivität: Anlass für die Durchführung einer Ortsveränderung (entspricht dem Wegezweck) - Aktivitätsmuster: Abfolge aushäusiger Aktivitäten innerhalb eines Tagesablaufes einer Person (z. B. Wohnen – Arbeiten – Wohnen) - Verkehrsmittelwahl: Für eine Etappe bzw. einen Weg einer Person verwendetes Verkehrsmittel
Aggregierte Verkehrskenngrößen	<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsaufkommen: Anzahl der Ortsveränderungen von Personen oder Fahrzeugen je Zeiteinheit in einem bestimmten Untersuchungsraum oder an einem bestimmten Querschnitt. Für das Verkehrsaufkommen im ÖV werden oft die Begriffe Personenfahrten, Fahrgäste oder Beförderungsfälle verwendet. - Verkehrsleistung: Verkehrsarbeit je Zeiteinheit [angegeben in Pkm oder tkm je Zeiteinheit] - Verkehrsarbeit: Produkt aus der Anzahl von Verkehrselementen und der von ihnen zurückgelegten Wegstrecke (bzw. wenn der Begriff auf Personen bezogen wird "spezifische Verkehrsleistung angegeben in [km/P,d]") <p>Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung können u. a. nach dem Verkehrsmittel und dem Wegezweck differenziert werden.</p>

Zusätzlich zu diesen wegebezogenen Kenngrößen (vgl. Tabelle 3.1) werden in Befragungen i. d. R. personenbezogene Angaben zur Soziodemografie und zur sozioökonomischen sowie verkehrssoziologischen¹²⁷ Struktur der Personen bzw. Haushalte, zu verkehrlichen Angeboten oder Ausstattungen des Umfelds oder Mobilitätseinschränkungen erhoben. Für die Abbildung der Wahlentscheidungen und Nutzungshäufigkeiten ist die Erfassung von Wegen mit deren Charakteristika meist Inhalt von Befragungen im Verkehrsbereich. Durch die Wahlentscheidungen der Personen, beispielsweise in Form von gewählten Zielen oder Verkehrsmitteln, und den nach der Befragung recherchierten/berechneten zur Verfügung stehenden Alternativen (andere Ziele oder Verkehrsmittel), ist es möglich, die Entscheidungen der Personen in

¹²⁶ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*, Ausg. 2012. FGSV R2, Regelwerke 125 (Köln: FGSV-Verl., 2012).

¹²⁷ Z. B. Führerschein-, ÖV-Zeitkarten-Besitz, Pkw-Verfügbarkeiten oder Mitgliedschaften bei Verkehrsanbietern wie Carsharing oder Bikesharing. Diese werden oft auch als Mobilitätswerkzeuge bezeichnet.

Modellen abzubilden. Dazu werden signifikante Variablen mit deren Parametern bestimmt, die dann in Verkehrsnachfragemodelle einfließen.

Die Art der Befragung hängt sehr stark vom Untersuchungsgegenstand ab und wird speziell auf diesen zugeschnitten. So ist es für die Abbildung von gängigen Verkehrsmodi (Fuß, Rad, MIV, ÖV) ausreichend, eine „Standard“-Haushaltsbefragung in Form einer Querschnittserhebung durchzuführen. Nach Definition werden hier alle Wege eines Tages mit einer adäquaten Stichprobenziehung (z. B. zufällig aus einem Einwohnermelderegister) erhoben.¹²⁸ Sollen Aussagen zu Multimodalität getroffen werden, sind die Fragen in einer Querschnittserhebung so zu erweitern, dass auch Rückschlüsse auf die Mobilität im Laufe eines Zeitraums (meist einer Woche) möglich sind. Oder es ist eine Längsschnitterhebung durchzuführen, in der die Wege von Personen über mehrere Tage erhoben werden.¹²⁹ Mit Längsschnitterhebungen können typische Verhaltensweisen und Präferenzen/Einstellungen/Haltungen von Personen und Personengruppen abgebildet und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge abgeleitet werden.

Bei Fragen zu seltenen Ereignissen, wie zum Beispiel die Nutzung von E-Scooter oder Car-/Bikesharing muss eine zufällig gezogene Stichprobe sehr groß sein, um für Auswertungen statistisch valide Ergebnisse zu erhalten. In diesem Fall können auch aus erhebungsökonomischen Gründen die Art der Stichprobenziehung oder die Länge des Befragungszeitraums variiert werden. Diese bisher genannten Erhebungen zielen darauf ab, tatsächlich durchgeführte Wege zu erheben und werden als Revealed-Preference-(RP-)Erhebungen bezeichnet. Für Wahlentscheidungen, die (ganz) selten oder eventuell noch nicht vorkommen, weil z. B. der Dienst oder das Angebot noch nicht in

¹²⁸ Dirk Zumkeller und P. Ottmann, „Moving from Cross-sectional to Continuous Surveying - Synthesis of a Workshop.“ In *Transport Survey Methods - Keeping Up With a Changing World*, hrsg. von P. Bonnel et al., 533–540 (2009).

¹²⁹ Uwe Kunert et al., *Hinweise zu Panel- und Mehrtageserhebungen zum Mobilitätsverhalten - Methoden und Anwendungen*, Ausg. 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV 160 (Köln: FGSV-Verlag, 2012).

der Praxis verwendbar ist und so keine ausreichende Menge an realisierten Situationen vorliegt, können hypothetische Situationen oder Entscheidungen abgefragt werden. Bei neuen, noch nicht so verbreiteten Mobilitätsformen ist dies öfter der Fall. Diese werden als Stated-Preference-(SP-)Erhebungen bezeichnet.

Für die Abbildung neuer Mobilitätsformen sind speziell auf das Thema zugeschnittene Erhebungen sinnvoll, um ein wirtschaftliches und zielgerichtetes Ergebnis zu erhalten. Im Folgenden werden die veränderten Anforderungen an Erhebungen durch neue Mobilitätsformen, unterschieden nach RP- und SP-Erhebungen, detailliert beschrieben und Einsatzfelder dargelegt.

3.2.1 Revealed-Preference-Befragungen (RP-Befragung)

Daten zur Struktur und zum Verkehrsverhalten von in einem Planungsraum lebenden Menschen werden mit Haushaltsbefragungen erhoben. Während die Daten zu Charakteristika der Personen und zu deren Umfeld aus personenbezogenen Erhebungen ermittelt werden können, werden Daten zu den Wahlentscheidungen der Mobilität oft wegebezogen erhoben. Die Stichprobe der Befragung aller Bevölkerungsschichten (meist auf Basis soziodemografischer Merkmale) sollte möglichst repräsentativ sein. In Haushaltsbefragungen werden alle Personen, die in den in der Stichprobe enthaltenen Haushalten leben, nach ihren Wegen innerhalb eines bestimmten Zeitraums befragt. Dieser Zeitraum kann einen Tag oder mehrere Tage umfassen (Querschnitt- vs. Längsschnitterhebung).¹³⁰ Längsschnitterhebungen generieren im Vergleich zu Querschnitterhebungen zusätzlich Ergebnisse, die Entwicklungen

¹³⁰ Martin Kagerbauer, Angelika Schulz und Heidrun Reuter, „National Travel Survey and Mobility Panel: Collecting and Updating Passenger Mobility Information in Germany“.

oder Varianz und Stabilität des Verkehrsverhaltens beschreiben. Zudem sind auch Aussagen zu multimodalem Verkehrsverhalten besser möglich.¹³¹

Ganz allgemein werden mit Haushaltsbefragungen, sowohl in Querschnitt- als auch Längsschnittbefragungen, u. a. Daten zu folgenden wegebezogenen Kenngrößen erhoben (vgl. EVE¹³²):

- Anzahl Wege pro Zeiteinheit (z. B. Tag oder Woche) nach Verkehrsmitteln und Wegezweck,
- Weglänge nach Verkehrsmitteln und Wegezweck,
- Wegezeit nach Verkehrsmitteln und Wegezweck,
- Verkehrsmittelausstattung der Haushalte,
- Angaben zur Verkehrsmittelnutzung (z. B. Pkw-Nutzungshäufigkeit oder ÖV-Nutzung).

Grundsätzlich sind alle Angaben für alle Personen eines Haushaltes sowie deren Wege komplett zu erfassen. Daneben sind die strukturellen Merkmale eines Haushaltes und der darin leben Personen zu erheben (z. B. Anzahl der Personen im Haushalt, soziodemografische und sozioökonomische Struktur, verkehrsbezogene Lagegunst (z. B. Erreichbarkeit von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs), Haushaltseinkommen). Das Kernstück einer Haushaltsbefragung ist die Erfassung der Wege mit Dauer, Entfernung, Zweck, allen genutzten Verkehrsmitteln sowie Quellen und Ziele des Weges. Mit diesen Informationen können Auswertungen zu Mobilitätsseckwerten der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen durchgeführt werden.

¹³¹ Martin Kagerbauer, Wilko Manz und Dirk Zumkeller, „Analysis of PAPI, CATI, and CAWI Methods for a Multiday Household Travel Survey.“ In *Transport Survey Methods - Best Practice for Decision Making*, hrsg. von Johanna Zmud et al., 289–304 (Emerald Group Publishing, 2013).

¹³² Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*.

Für eine Erhebung der Wege mit konventionellen Verkehrsmitteln (Fahrrad, Pkw, Bus oder Bahn) oder Fußwegen ist diese Art der Befragung bestens geeignet, da diese Verkehrsmittelnutzungen häufig vorkommen und deshalb sehr zuverlässig mit statistischer Genauigkeit abgebildet werden können. Dies spiegelt sich auch in der Darstellung des Modal Splits für Gebiete wider. Beispielhaft ist der Modal Split für Deutschland bezogen auf die durchgeführten Wege bzw. nach Personenkilometern nach MiD 2017 in Abbildung 3.3 dargestellt.

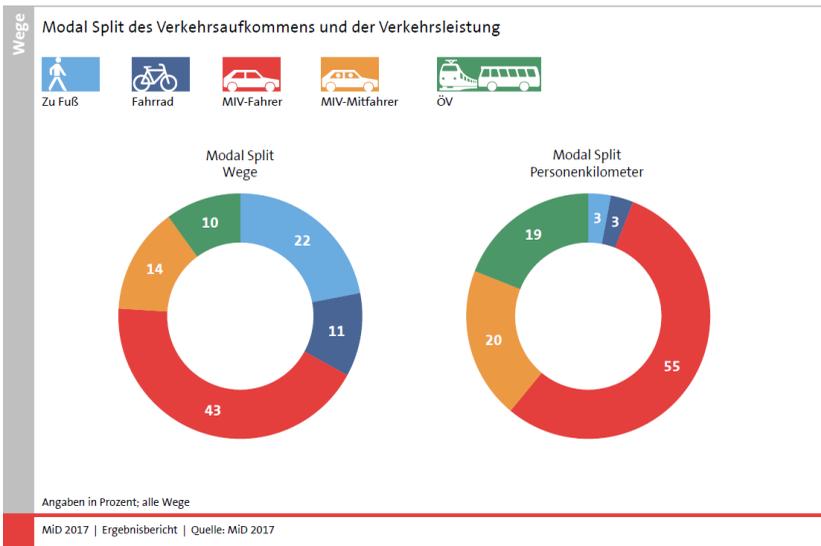


Abbildung 3.3: Modal Split in Deutschland im Jahr 2017¹³³

Je kleiner der Prozentsatz beim Modal Split einer Auswertung ist, desto größer muss die Stichprobe der Erhebung sein, um diese Fälle auch repräsentativ abbilden zu können. Neue Mobilitätsformen sind in den Auswertungen der MiD und auch fast aller anderen Erhebungen i. d. R. nicht aufgeführt, da sie

¹³³ Nobis und Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“.

zum einen wegen der geringen Anzahl in den erhobenen Wegen nicht ins Gewicht fallen und zum anderen durch die geringen Fallzahlen auch statistisch mit vielen Unsicherheiten behaftet sind. Die MiD-Auswertungen der Rohdaten für Deutschland weisen für Carsharing-Wege einen Modal Split von 0,07% und Ridepooling-Wege einen Modal Split von 0,02% auf. Zum Vergleich haben Taxi-Wege in Deutschland einen Modal Split von 0,19%. Bei Carsharing-Auswertungen beispielsweise werden in den Erhebungen meist nur Eigenschaften der Nutzenden dargestellt, aber nicht deren (seltene) Nutzung. Die Stadt Karlsruhe ist seit Jahren mit relativ großem Abstand zu den weiteren Städten die Carsharing-Hauptstadt Deutschlands mit 3,23 Carsharing-Fahrzeugen pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohnern (vgl. Abbildung 3.4).

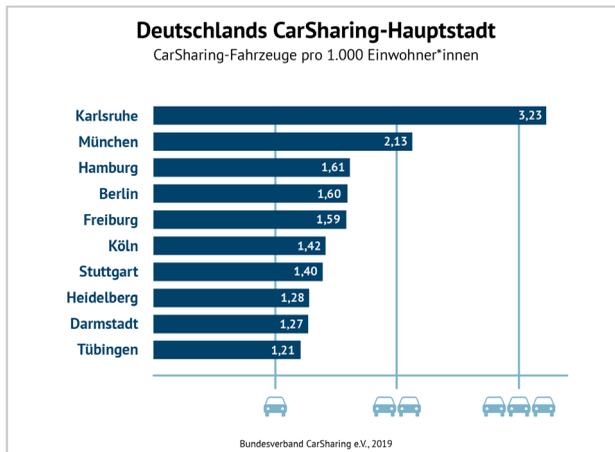


Abbildung 3.4: Städteranking Carsharing in Deutschland 2019¹³⁴

Abbildung 3.5 zeigt eine Auswertung der MiD 2017 für die Stadt Karlsruhe. Der Anteil der Carsharing-Wege liegt immer „nur noch“ bei 0,66% in der Stadt

¹³⁴ Bundesverband CarSharing e.V., „CarSharing-Städteranking 2019.“.
<https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/carsharing-staedteranking-2019>.

Karlsruhe (Region Karlsruhe = Operationsgebiet des Karlsruher Verkehrsverbund (KVV): 0,26%).

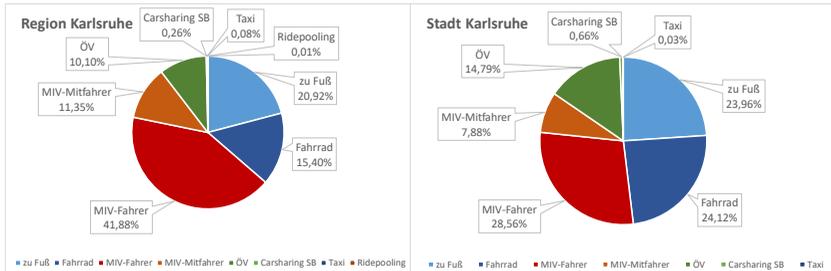


Abbildung 3.5: Modal Split in der Region und Stadt Karlsruhe mit neuen Mobilitätsformen im Jahr 2017¹³⁵

Da Carsharing im Vergleich zu anderen neuen Mobilitätsformen bereits am meisten verbreitet ist, ist die Auftretenswahrscheinlichkeit von anderen neuen Mobilitätsformen in Modal-Split-Auswertungen, wie beispielsweise Wege mit dem E-Scooter, noch geringer.

Generell ist festzustellen, dass der Anteil neuer Mobilitätsformen in den benannten Erhebungen angebots- und nutzungsbedingt vergleichsweise gering ist. Dadurch ist es nicht oder nur in sehr geringem Maße möglich, statistisch repräsentative Ergebnisse abzuleiten. Allgemeine Mobilitäts-erhebungen gewähren zwar eine Gesamtperspektive vor allem auf die Charakteristika der Nutzenden von neuen Mobilitätsformen, sind jedoch für die Ableitung quantitativer Kenngrößen hinsichtlich der durchgeführten Wege wenig geeignet.

Abhilfe könnte einerseits die (massive) Vergrößerung einer, aus dem Einwohnermelderegister gezogenen, Stichprobe der Haushaltsbefragung liefern, um auch seltenen Fälle in der Erhebung gut abbilden zu können. Dies hätte aber extrem hohe Kosten und damit eine unwirtschaftliche Erhebung zur Folge. Andererseits besteht die Möglichkeit, die Stichprobenziehung einer auf neue

¹³⁵ Eigene Auswertungen der MiD 2017 für das Projekt regimove.

Mobilitätsformen spezialisierten Erhebung auf Kosten der Repräsentativität hinsichtlich der Gesamtbevölkerung anzupassen; beispielsweise durch Befragung nur der Nutzenden oder Registrierten der neuen Mobilitätsformen.¹³⁶ Auch der Erstkontakt mit den Probandinnen und Probanden während der Erhebung, der entweder schriftlich (per Post oder E-Mail), telefonisch oder persönlich oder in einer Kombination aus diesen erfolgt, kann neben den Standardkanälen über neuartige Methoden erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Rekrutierung der Stichprobe über Newsletter der Anbieter und/oder Social Media,¹³⁷ wie beispielweise Twitter, Instagram oder Facebook¹³⁸.

Diese Verfahren führen zwar unter Umständen zu einer schiefen Stichprobe in der Erhebung, können aber im weiteren Verlauf der Erhebungsauswertung ausgeglichen werden, sofern die Probandinnen und Probanden in jeder Teilgruppe, nach der gewichtet bzw. hochgerechnet wird, in ausreichender Zahl vertreten sind. Als Faustformel weist die EVE¹³⁹ darauf hin, dass in jeder dieser Gruppen mindestens 50 Erhebungseinheiten (bei Befragungen sind das i. d. R. Personen) vorhanden sein sollten. Abbildung 3.6 zeigt eine Zusammenstellung möglicher Stichprobenziehungen. Das Beispiel einer Stichprobenziehung aus Social-Media-Kanälen ist eine „bewusste Auswahl der Probandinnen und Probanden“ je nach durchgeführtem Verfahren „nach dem Konzentrationsprinzip“. Sofern der Fragebogen in den Social-Media-Kanälen weiter

¹³⁶ Anna Reiffer, Tim Wörle, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Usage Patterns of Free-floating Carsharing Members“.

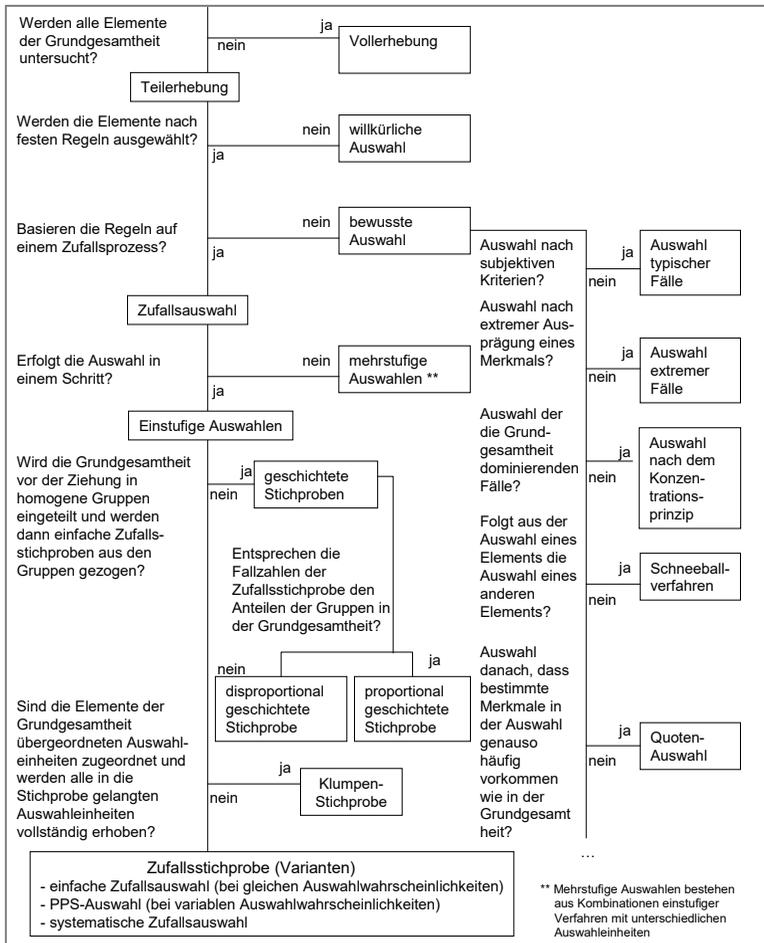
¹³⁷ Nadine Kostorz, Eva Fraedrich und Martin Kagerbauer, „Not Only for Young Urbanites: The Case of MOIA Ridepooling in Hamburg.“ In *TRB 100th Annual Meeting 2021 - eingereicht*; Nadine Kostorz, Eva Fraedrich und Martin Kagerbauer, „Usage and User Characteristics— Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service.“ *Sustainability* 13, Nr. 2 (2021): 958.

¹³⁸ Michael Heilig, Martin Kagerbauer, Charles-Elie Allier und Peter Vortisch, „Recruiting participants for user-behavior surveys of free-floating carsharing using Facebook – a case-study.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2014).

¹³⁹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*.

geteilt wird, könnte auch eine „Auswahl nach dem Schneeballverfahren“ die Methode sein. Die Gewichtung/Hochrechnung der Rohdaten wird jedoch mit dieser Art der Stichprobengewinnung wesentlich komplexer, da die Stichproben i. d. R. Schiefen aufweisen. In Social-Media-Kanälen sind eher jüngere Menschen vertreten und meist wenig Seniorinnen und Senioren. Bei traditionellen Haushaltsbefragungen treten diese Schiefen, je nach Kommunikationsart, aber auch auf. So sind Seniorinnen und Senioren eher telefonisch zu erreichen.¹⁴⁰ Schiefen treten bei allen Erhebungen auf, jedoch sind sie bei der Methode einer bewussten oder willkürlichen Auswahl i. d. R. größer als bei der Zufallsauswahl. Bei allen Methoden müssen diese mit Gewichtungs-/Hochrechnungsverfahren bereinigt werden.

¹⁴⁰ Martin Kagerbauer und Wilko Manz, „Answer Young People Just Like Old People? – Impacts and Consequences of Different Household Travel Survey Methods.“ In *NTTTS 2013*, hrsg. von New Techniques and Technologies for Statistics (2013).

Abbildung 3.6: Übersicht zum methodischen Vorgehen beim Ziehen einer Stichprobe¹⁴¹

¹⁴¹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*; Rainer Schnell, Paul B. Hill und Elke Esser, *Methoden der empirischen Sozialforschung*, 3., überarb. und erw. Aufl. (München: Oldenbourg, 1992).

Neben den bisher beschriebenen wegebezogenen RP-Erhebungen besteht die Möglichkeit, personen- und wegebezogene RP-Befragungen mit Abfragen zu neuen Mobilitätsformen zu ergänzen. Diese Fragen können beispielsweise auch die Nutzungen neuer Mobilitätsformen über einen längeren Zeitraum oder die retrospektive Häufigkeit der Nutzung enthalten. Somit ist es nicht zwingend notwendig, die durchgeführten Wege mit selten genutzten neuen Verkehrsmitteln im Rahmen eines Stichtages oder einer Stichwoche abzudecken.

Die folgenden Erhebungsansätze wurden im FGSV-Arbeitskreis „Multi- und Intermodalität“ erarbeitet. Diese lassen sich sehr gut auf neue Mobilitätsformen übertragen, so dass eine seltene Nutzung neuer Verkehrsmittel somit effizienter und ökonomischer erfasst werden kann. Die Eigenschaften sowie die Vor- und Nachteile der Erhebungsansätze zeigt Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Personenbezogene Erhebungsansätze zu allgemeinem Verhalten, Einstellungen oder Selbsteinschätzungen¹⁴²

Erhebungsansätze	Inhalt	Vorteile	Nachteile
Selbsteinschätzung übliches Verhalten	Befragte berichten, wie häufig sie üblicherweise bestimmte (neue) Verkehrsmittel verwenden.	Geringer Befragungsaufwand.	Selbsteinschätzung ungenau (z. B. Überschätzung umweltfreundlicher Modi aufgrund sozialer Erwünschtheit) ¹⁴³ .
Letzte Nutzung	Befragte berichten, wann sie bestimmte (neue) Verkehrsmittel das letzte Mal genutzt haben. Zudem können weitere Informationen zu diesen Ereignissen erfragt werden (z. B. Zweck).	Erinnerungsvermögen bei konkreten Ereignissen besser als bei Einschätzung des üblichen Verhaltens. Vergleichsweise geringer Befragungsaufwand.	Befragung zu selten genutzten Modi mit Unsicherheit behaftet (Erinnerungsvermögen).
Verkehrsmittelverfügbarkeit und -optionen	Befragte berichten, welche (neuen) Verkehrsmittel und welche Zugänge sie zur Verfügung haben. Durch externe Daten kann zusätzlich eine „objektive“ Verfügbarkeit ergänzt werden.	Vergleichsweise geringer Befragungsaufwand.	Angaben zu Verkehrsmittelverfügbarkeit und Optionen reichen u.U. nicht aus, um die tatsächliche Nutzung von Verkehrsmittel einer Person zu erklären.
Einstellungen, Werte, Entscheidungsmuster	Befragte berichten über ihre Einstellungen, z. B. gegenüber bestimmten (neuen) Verkehrsmitteln und Werte zu verschiedenen Lebensbereichen (z. B. Umweltbewusstsein, Technikaffinität).	Tiefere Einblicke in Motivationsgrößen und Hintergründen zum Mobilitätsverhalten (z. B. Aktivitäten, Ziele, Verkehrsmittel)	Angaben zu Einstellungen und Werten reichen u.U. nicht aus, um Verkehrsmittelnutzung zu erklären. Keine Berücksichtigung externer Faktoren, z. B. Verkehrsmittelzugang

¹⁴² Eigene Darstellung nach: Martin Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr: Teilpapier 2: Erheben, Beschreiben und Erklären.“ (2017).

Die Einordnung der auf neue Mobilitätsformen spezialisierten Erhebungen in den Gesamtkontext der Bevölkerung kann neben einer standardisierten Gewichtung/Hochrechnung auch durch die Kombination dieser Erhebung mit allgemeinen repräsentativen Erhebungen gewährleistet werden. Dies gilt sowohl für wegebezogene als auch personenbezogene Ansätze. Eine mögliche Methode zur Kombination der Daten aus zwei Erhebungen ist beispielsweise das Statistical Matching. Dabei werden die Variablen aus zwei verschiedenen Erhebungen verglichen und statistische Zwillinge identifiziert, deren Variablen dann kombiniert werden können.¹⁴⁴

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei der Erhebung der Wege oder Charakteristika neuer Mobilitätsformen die Erhebungsmethoden von der Stichprobengewinnung bis hin zur Fragestellung (alle Wege vs. nur Wege mit den neuen Mobilitätsformen) im Vergleich zu traditionellen Erhebungen angepasst werden müssen. So kann effizient und somit ökonomisch eine gute Datenbasis für die Auswertung neuer Mobilitätsformen geschaffen werden. Dies erfordert zwar einen größeren Aufwand bei der Einordnung und Aufbereitung der Daten, ist aber notwendig, um valide Aussagen über die Zielgruppen und Nutzungen der neuen Mobilitätsdienste treffen zu können.

Während RP-Erhebungen bereits durchgeführte Wege erheben, können Ereignisse mit neuen Mobilitätsformen auch mit der Methode der SP-Erhebung abgebildet werden. Dabei werden hypothetische Situationen oder Entscheidungen abgefragt, so dass die Probandinnen und Probanden in den

<https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).

¹⁴³ Martin Kagerbauer, Christine Weiss, Tatjana Streit und Peter Vortisch, „Do People Really Act the Way they Think? – Differences between Perceptions and Reality in Mode Choice Behavior.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2014).

¹⁴⁴ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Integrating BEV into daily travel behaviour.“ In *Cross-border Mobility for Electric Vehicles - Selected results from one of the first cross-border field tests in Europe*, hrsg. von Johannes Schäuble, Patrick Jochem und Wolf Fichtner, 195–207 (Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2016).

Befragungen Mobilitätsentscheidungen, beispielsweise mit neuen Mobilitätsformen, treffen müssen und dadurch eine Datenbasis generiert werden kann.

3.2.2 Stated-Preference-Befragungen (SP-Befragung)

Zur Erstellung von Modellen zur Verkehrsnachfrage für die Zielwahl und/oder Verkehrsmittelwahl sind neben den von den Personen gewählten Zielen bzw. Verkehrsmitteln auch deren Alternativen notwendig. Im Rahmen von RP-Befragungen können die Alternativen der gewählten Entscheidungen zugespielt werden. Vrtic und Axhausen¹⁴⁵ haben jedoch herausgefunden, dass die mit RP-Daten erstellten Modelle Unsicherheiten aufweisen können. In der Untersuchung zeigte sich, dass aus SP-Daten geschätzte Modellparameter (hier aus Choice-Experimenten) gegenüber denen aus RP-Daten eine höhere Plausibilität aufweisen. Zudem ist es möglich, kombinierte Schätzungen aus RP- und SP-Daten vorzunehmen. SP-Daten haben eine hohe Aussagekraft, wenn sie auf Situationen aufbauen, die den Probandinnen und Probanden bekannt sind.^{146,147,148} Die Vorgabe von Alternativen bewirkt, Entscheidungssituationen besser, objektiver steuern zu können und das Auswahlpektrum der Entscheidungen besser zu verteilen. Nach EVE¹⁴⁹ kommen SP-Befragungen zum Einsatz, wenn Verhaltensalternativen fehlen, Einflussgrößen zu wenig variieren, zu stark korrelieren oder der Einfluss einer Entscheidungsgröße im

¹⁴⁵ Milenko Vrtic und Kay W. Axhausen, „Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage.“ In *HEUREKA '02. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2002).

¹⁴⁶ Kay W. Axhausen, „Nachfragemodelle für den ÖPNV auf der Grundlage von RP und SP-Daten: Vortrag auf der Heureka '99, Karlsruhe, März 1999.“ (1999).

¹⁴⁷ Kay W. Axhausen und Gerd Sammer, „„Stated responses“: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten.“ (2001).

¹⁴⁸ Kay W. Axhausen, T. Haupt, B. Fell und U. Heid, „How much of a rail bonus is there? The Dresden experience.“ (2001).

¹⁴⁹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*.

beobachtbaren Verhalten zu schwach ist. Dabei unterscheiden wir nach den in Tabelle 3.3 dargestellten Klassifikationen.

Tabelle 3.3: Klassifikation der Befragungen in hypothetischen Situationen¹⁵⁰

		Entscheidungssituation, Ausprägungen, Randbedingungen			
		Vorgegeben		Zu erfassen	
Alternativen	Vorgegeben	„Stated preferences“ Was würden Sie tun, wenn ... ?			„Stated tolerances“ Unter welchen Umständen würden Sie folgendes tun?
		Stated preference (Bewertung einer Alternative auf einer Skala)	Stated choice (Auswahl einer aus mehreren Alternativen)	Stated ranking (Rangreihung mehrerer Alternativen)	
	Zu erfassen	„Stated adaptation“ Was würden Sie anders machen, wenn ... ? Wie würden Sie sich entscheiden, wenn ... ?			„Stated prospect“ Unter welchen Umständen würden Sie etwas anders machen/sich anders entscheiden und wenn ja, wie?

Auf Grund von diskreten Entscheidungen, gut zu kontrollierenden methodischen Versuchsplänen sowie einer guten Kombination mit RP-Erhebungen wird der Stated-Choice-(SC)-Ansatz häufig verwendet.¹⁵¹

Grundsätzlich ist jedoch die Schwierigkeit bei SP-Befragungen, dass sich die Probandinnen und Probanden ggf. nicht gut genug in die beschriebene hypothetische Situation hineinversetzen können, um genügend realitätsnahe

¹⁵⁰ Eigene Darstellung nach Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*.

¹⁵¹ Kenneth Train und Wesley W. Wilson, „Estimation on stated-preference experiments Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices.“ In *Transportation Research Part B: Methodological*, 191–203.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261507000483> (letzter Zugriff: 9. September 2020), 42(3).

Entscheidungen zu treffen. Eine weitere Fehlerquelle sind nicht ernsthafte Antworten, gerade wenn die Situation abwegig erscheint.

Bei neuen Mobilitätsformen kann der Effekt auftreten, dass die Gruppe der Nutzenden i. d. R. relativ klein ist, und somit mit SP-Befragungen mehr hypothetische Wahlsituationen notwendig sind. Wenn die Wahlsituationen nicht im Mindset der Probandinnen und Probanden sind, kann dies die Auswahl verfälschen. Es besteht also die Gefahr, dass sich die Probandinnen und Probanden die Situation mit neuen Mobilitätsformen gar nicht vorstellen können, da sie diese selten oder noch nicht erlebt bzw. „erfahren“ haben.

Damit die Probandinnen und Probanden in SP-Befragungen realitätsnäher antworten, können die neuen ggf. hypothetischen Mobilitätsformen mit bekannten Situationen, z. B. mit dem Routineweg zur Arbeit, kombiniert werden¹⁵², um so eine Realitätsnähe zu schaffen.^{153,154} Somit sind das Umfeld und die Rahmenbedingungen der Wege für die Erhebungsteilnehmenden bekannt. Andererseits gibt es die Argumentation, dass gerade bei (relativ) neuen Mobilitätsformen die Teilnehmenden die Befragung unbelastet durchführen sollen und bekannte Situationen die Wahlfreiheit und Entscheidungssituationen beeinflussen und einschränken könnte.¹⁵⁵

Zur Erhebung von Daten in Zusammenhang mit neuen Mobilitätsformen werden wegen oben genannter Gründe oft hypothetische Situationen oder

¹⁵² Martin Kagerbauer, Ole Schroeder, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Intermodale Mobilität – Elektromobile Fahrzeugkonzepte als Zubringer zum Öffentlichen Verkehr.“ In *Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität*, hrsg. von Heike Proff, 567–583 (Wiesbaden: Springer Gabler, 2015).

¹⁵³ John M. Rose und Stephane Hess, „Dual-Response Choices in Pivoted Stated Choice Experiments.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nr. 2135 (2009): 25–33. <http://dx.doi.org/10.3141/2135-04>.

¹⁵⁴ David A. Hensher und William H. Greene, „The mixed logit model: the state of practice.“ *Transportation* 30, Nr. 2 (2003): 133–176; *Transportation*, 30(2), 133-176.

¹⁵⁵ Anna Reiffer, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Design of a Stated Preference Survey to Analyse Intermodal Choice Behaviour of Carsharing Users“.

Entscheidungen zu Grunde gelegt.¹⁵⁶ Die Auswahl der Erhebung und die Konzeption hängt von der einzelnen Mobilitätsform ab. Erhebungen mit RP-Charakter oder in Kombination mit SP-Erhebungen eignen sich in Planungsräumen, in denen das entsprechende Angebot (weit) verbreitet ist. Sofern die neuen Mobilitätsformen relativ seltene Nutzungen in dem Planungsraum haben oder dort nicht vorkommen, sind reine SP-Befragungen sinnvoll.¹⁵⁷ Diese SP-Erhebungen ermöglichen eine Analyse von Verhaltensweisen, da deren Ausrichtung konkret auf die Nutzung bestimmter Mobilitätsformen abzielt. Die SP-Erhebungen erhalten mehr Wege mit den zu untersuchenden Mobilitätsformen, sie erfassen zusätzlich wichtige Kenngrößen und bilden den Kontext und Hintergrund der Nutzung ab. Die grundsätzlichen, bereits genannten Nachteile einer SP-Befragung sind aber dennoch zu berücksichtigen. Zur Identifikation von unseriösen Antworten können verschiedene Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden. Diese sind die Überprüfung

- der Antwortzeiten für Fragen,
- von Klickmustern,
- von unsinnigen Antworten oder Antwortkombinationen (z. B. in Ausbildung und 75 Jahre alt) und
- durch Kontrollfragen.

Heutzutage werden diese SP-Befragungen i. d. R. online durchgeführt, da die Auswahl der Fragen, die verschiedenen Alternativen und die Ausprägungen oft aufeinander aufbauen und Filterfragen und Abhängigkeiten integriert werden können. Die Auswahl der Fragen und die Kombination der vorgeschlagenen Antwortmöglichkeiten basieren auf statistischen Methoden.

¹⁵⁶ Jordan J. Louviere, David A. Hensher, Joffre Swait und Wiktor L. Adamowicz, *Stated choice methods: Analysis and applications*, 7. printing (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2010).

¹⁵⁷ Melinda Matyas und Maria Kamargianni, „Survey design for exploring demand for Mobility as a Service plans.“ In *Transportation 2019*, 1525–1558. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9938-8>, 46.

Es sollte aber sichergestellt sein, dass die Auswahlmöglichkeiten innerhalb einer Toleranzgrenze hinreichend realistisch sind, um die Ernsthaftigkeit der Befragung zu gewährleisten. Daneben sollte die Anzahl der Auswahlmöglichkeiten nicht zu hoch sein, um die Probandinnen und Probanden nicht zu überfordern.¹⁵⁸ Sollen viele verschiedene Auswahlmöglichkeiten untersucht werden, müssen nicht zwingend alle Auswahlmöglichkeiten allen Befragten zur Auswahl gestellt werden. Es reicht auch eine Auswahl an Choice-Sets, die jedoch in einem Auswahlverfahren ermittelt werden sollte. Die Erhebung sollte zudem leicht verständliche Variablen beinhalten, wie beispielweise Kosten oder Zeit. Weniger geeignet sind Variablen, wie beispielsweise Parkdruck, unter denen sich die Befragten oft nichts Konkretes vorstellen können. Besser wäre in diesem Beispiel eine Aufführung der Parksuchzeit.

Das Vorgehen bei einer Erstellung einer SC-Befragung ist in Abbildung 3.7 visualisiert.

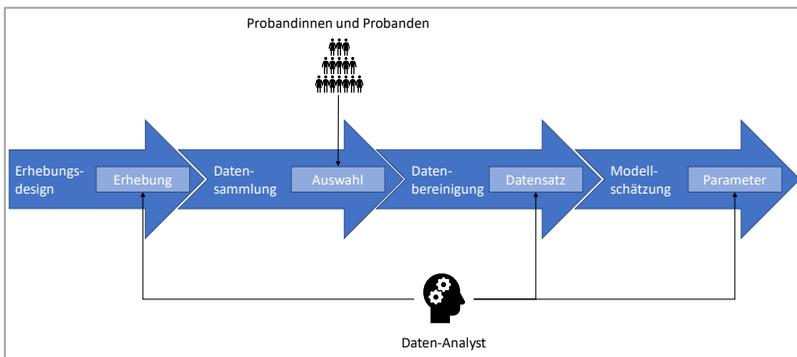


Abbildung 3.7: Ablauf einer Choice-Befragung¹⁵⁹

¹⁵⁸ David A. Hensher, „How do respondents process stated choice experiments? Attribute consideration under varying information load.“ *Journal of Applied Econometrics* 21, Nr. 6 (2006): 861–878.

¹⁵⁹ Eigene Darstellung auf einer nicht veröffentlichten Grundlage eines Choice-Modelling-Kurses der University of Leeds von Stephane Hess.

Ziel einer SC-Erhebung ist es, die Auswahl der Probandinnen und Probanden in ein mathematisches Modell zu überführen. Basis für die Modellschätzung ist die Nutzentheorie bzw. die Theorie der Nutzenmaximierung. Die Alternativen werden durch die Nutzen charakterisiert. Die Nutzenfunktion beschreibt den Entscheidungsprozess der Probanden. Eine beispielhafte Nutzenfunktion könnte wie folgt aussehen:

$$U_A = \beta_{TT} \cdot TT_A + \beta_{TC} \cdot TC_A$$

(wobei U: Nutzen des Verkehrsmittels A, TT: Variable Reisezeit, TC: Variable Reisekosten, β : Parameter je Variable).

Ziel ist es, Parameter für β zu finden, die für die gewählten Alternativen den größten Nutzen haben. Dafür wird meist die Maximum-Likelihood-Methode verwendet. Für die Modellschätzung besteht zudem die Aufgabe geeignete Variablen zu ermitteln. Dabei gibt es verschiedene Modellansätze: Logit-Modelle unterscheidet man nach der Zahl der Alternativen in binomiale und multinomiale Logit-Modelle. Diese sind ganz allgemein Regressionsanalysen zur Modellierung der Verteilung abhängiger diskreter Variablen, die durch die Gumbel-Verteilung spezifiziert sind. Das multinomiale Logit-Modell stellt eine Erweiterung des Verfahrens der binären, logistischen Regression auf eine kategoriale, abhängige Variable mit mehr als zwei Ausprägungen dar. Die Ausprägungen werden nicht als geordnet, sondern als Kategorien einer nominalskalierten Variablen interpretiert.¹⁶⁰ In einem Probit-Modell sind die Zufallsnutzen der Alternativen multivariat gaußverteilt. Ein Nested-Logit-Modell erlaubt Korrelationen bezüglich der Alternativen, diese werden in Nestern gruppiert. Zur Veranschaulichung wird dies meist in Entscheidungsbäumen dargestellt (vgl. Abbildung 3.8).

¹⁶⁰ Wolfgang Ludwig-Mayerhofer, „ILMES: Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung.“. http://wlm.userweb.mwn.de/Ilmes/ilm_m12.htm.

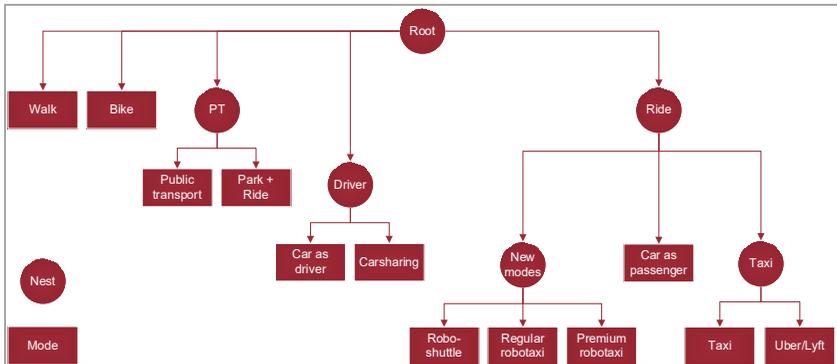


Abbildung 3.8: Beispiel einer Nest-Struktur¹⁶¹

Neben einem Nested-Modell können Cross-Nested-Modelle erstellt werden, bei denen die Alternative zwei oder mehreren Nestern zugeordnet ist. Dies ist notwendig, wenn einige Alternativen korrelieren und einige nicht. Es existieren außerdem Generalized-Extreme-Value-Modelle (GEV). Dabei werden weitere Freiheitsgrade der Korrelationen und verschiedene Stufen der Komplexität bei Modellen behandelt (z. B. verallgemeinerte Extremwertverteilungen oder Multi-Level-Nester oder Zugehörigkeit zu mehreren Nestern). Dies sind die grundlegendsten Modelle mit analytischen Auswahlwahrscheinlichkeiten.¹⁶² Ein weiteres Modell, das Mixed-Multinomiale-Logit-Modell, unterstellt, dass sich die Entscheidenden nutzenmaximierend verhalten, und es werden in der Nutzenfunktion entscheidungsträgerspezifische Parameter unterstellt, die der Heterogenität der Entscheidungen entsprechen sollen.¹⁶³ Ein weiterer Modelltyp ist das Latente Klassenmodell (Latent Class Model (LCM)),

¹⁶¹ Eigene Darstellung aus einem nicht veröffentlichten Projekt mit selbstfahrenden Fahrzeugen.

¹⁶² Martin Treiber, „Verkehrsökonomie: Vorlesungsskript.“ (Technische Universität Dresden, 2019). https://mtreiber.de/vkoek_Ma/ (letzter Zugriff: 2. Juni 2020).

¹⁶³ Sönke Albers et al., Hrsg., *Methodik der empirischen Forschung*, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage (Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag, 2009).

das nicht direkt messbare Typologien (z. B. Milieus oder Lebensstile) über messbare Variablen empirisch abbildet und in homogene Subgruppen einteilt. Es ist ein spezieller Typ des Strukturgleichungsmodells und arbeitet mit diskreten, latenten Variablen.¹⁶⁴ Hybrid-Choice-Modelle¹⁶⁵ sind Erweiterungen von multinomialen Logit-Modellen und beziehen Einstellungsvariablen in der Form mit ein, dass sie zu den diskreten Wahlmodellen hinzugefügt werden. Der Modellaufbau und die Modellschätzungen werden mit Statistik-Software (z. B. SAS oder R durchgeführt).

Der Aufbau einer Erhebung und das Erhebungsdesign ist die wesentliche Grundlage für eine Modellerstellung. Dabei sollten anfangs die zur Auswahl stehenden Alternativen und Attribute geklärt werden, die in der Erhebung berücksichtigt werden sollen. Zudem sollte auch schon eine Vorstellung vorhanden sein, welches Modell nach der Datensammlung und -bereinigung Anwendung findet, da das Erhebungsdesign dadurch beeinflusst wird. Die hypothetischen Entscheidungssituationen im Rahmen der SP-Befragungen sind die Basis für die Analyse des Präferenzverhaltens der Befragten. Aus den gewählten Optionen wird die Modellschätzung erstellt. Damit werden die Variablen und Parameter, die für das Entscheidungsverhalten verantwortlich sind, ermittelt. Ein Beispiel einer SP-Befragung zeigt Abbildung 3.9. Für bestimmte Entscheidungssituationen werden Eigenschaften der Alternativen vorgegeben. Aus diesen Alternativen werden von den Probandinnen und Probanden Wahlentscheidungen getroffen.

¹⁶⁴ Christian Geiser, *Latent-Class-Analyse in: Datenanalyse mit Mplus: Eine anwendungsorientierte Einführung* (Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2010).

¹⁶⁵ Jinhee Kim, Soora Rasouli und Harry Timmermans, „Hybrid Choice Models: Principles and Recent Progress Incorporating Social Influence and Nonlinear Utility Functions.“ *Procedia Environmental Sciences* 22 (2014): 20–34.

Entscheidungssituationen Einkaufen (täglicher Bedarf)

Auf den folgenden Seiten werden wir Ihnen fünf unterschiedliche Entscheidungssituationen für einen Weg zu einer Einkaufsgelegenheit des täglichen Bedarfs (bspw. Supermarkt) präsentieren. Betrachten Sie alle verfügbaren Verkehrsmitteloptionen inkl. Eigenschaften, bevor Sie sich entscheiden. Alle angegebenen Kosten und Zeiten gelten immer nur für einen Weg, also nicht für Hin- und Rückweg.

Folgende Verkehrsmittel können Ihnen zur Verfügung stehen:

Bike-sharing: Verleihsystem für Fahrräder // **Car-sharing:** Verleihsystem für Pkws // **E-Scooter:** Verleihsystem für elektrische Tretroller

Bei diesen Systemen können Nutzer Räder, Fahrzeuge oder Roller in der Nähe über Smartphone-Apps finden und buchen. Preise sind in der Regel abhängig von Fahrweite und Fahrdauer. Nach Abschluss einer Fahrt kann das Rad, Fahrzeug oder der Roller an einem beliebigen Punkt innerhalb des Operationsgebiets zurückgegeben werden.

Die Wahloptionen können wie nachfolgend abgebildet aussehen. Zeiten können aus unterschiedlichen Elementen bestehen, beispielsweise Zeiten, um zum Abholpunkt des Fahrzeugs oder einer Haltestelle zu gelangen sowie Wartezeiten und den tatsächlichen Fahrzeiten.

zu Fuß gehen

20 min 0,00 € 20 min

MOIA

19 min 4,00 € 6 min 2 min 9 min 2 min

Legende: ⌚ Gesamtzeit 💰 Kosten 🚶 Wartezeit 🚶 Zu-/Abgangszeit ⇄ Zeit im Verkehrsmittel

Einkaufen (täglicher Bedarf) 1

Sie möchten einen Weg zu einer Einkaufsgelegenheit des täglichen Bedarfs (bspw. Supermarkt) durchführen. Dafür stehen Ihnen die nachfolgenden Verkehrsmittel zur Verfügung.

Hinweis: Wenn Sie die Befragung auf einem Smartphone durchführen, empfehlen wir Ihnen, den Bildschirm zu drehen, um die Bilder zu vergrößern.

Bitte wählen Sie das Verkehrsmittel aus, das Sie für diesen Weg verwenden würden.

Durch verschiedene Routen, Umstiege oder erhöhtes Verkehrsaufkommen können die Fahrzeiten der verschiedenen Verkehrsmittel voneinander abweichen. Bewerten Sie die Ihnen angezeigten Informationen wie eine Echtzeitauskunft auf bspw. Google Maps.

- MOIA**
- Bike-sharing**
- Pkw als Fahrerin**
- E-Scooter**
- Car-sharing free-floating**
- Pkw als Mitfahrerin**

Abbildung 3.9: Beispiel einer vom KIT-IfV durchgeführten Stated-Choice-Befragung¹⁶⁶

¹⁶⁶ Nadine Kostorz, Eva Fraedrich und Martin Kagerbauer, „Ridepooling als Mobilitätsoption für alle?– Erkenntnisse aus der Moia-Begleitforschung zu Nutzerinnen und Nutzern.“ *Internationales Verkehrswesen* 73, Nr. 1 (2021): 67–71.

Das Design der Erhebung hängt von den zur Verfügung stehenden Auswahlmöglichkeiten (im Beispiel oben: Verkehrsmittel) und der Kombination dieser mit verschiedenen Auswahlkriterien (im Beispiel oben: Zeit und Kosten) ab. Sofern nur wenig Auswahlmöglichkeiten vorhanden sind, bietet es sich an, alle Kombinationen aufzuführen. Meist übersteigt die Anzahl an möglichen Kombinationen jedoch die Menge an Auswahlmöglichkeiten, so dass die Probandinnen und Probanden aus Praktikabilitätsgründen „nur“ über eine Auswahl an Kombinationen entscheiden können. Das bedeutet, dass eine Untergruppe aller möglichen Auswahlmöglichkeiten vorgelegt werden kann. Dabei gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten:

- Zufallsdesign: Zufallsauswahl aus allen Möglichkeiten.
- Orthogonales Design: Auswahl einer Untergruppe mit nicht korrelierenden Auswahlkriterien.¹⁶⁷ Die Auswahlmöglichkeiten treten gleich häufig in jeder Untergruppe auf.
- Effizientes Design: Auswahl einer Untergruppe, bei der mehr Informationen berücksichtigt und diese maximiert werden. Die Folge sind ein kleiner Standardfehler in der Schätzung, so dass die Stichprobe mit gleicher Ergebnisqualität geringer sein kann.^{168,169} Für die Auswahl der Untergruppen sind jedoch Daten notwendig, die bereits vor der Erhebung vorhanden sein müssen. Diese können aus der Literatur, wobei die Frage der Übertragbarkeit zu beachten ist, oder aus

¹⁶⁷ Shanqi Pang, „Construction of a New Class of Orthogonal Arrays.“ *Journal of Systems Science and Complexity* 20, Nr. 3 (2007): 429–436.

¹⁶⁸ Michiel C.J. Bliemer und Andrew T. Collins, „On determining priors for the generation of efficient stated choice experimental designs.“ *Journal of Choice Modelling* 21 (2016): 10–14; *Journal of Choice Modelling*, 21, 10-14.

¹⁶⁹ Michiel C.J. Bliemer und John M. Rose, „Experimental design influences on stated choice outputs: An empirical study in air travel choice.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 45, Nr. 1 (2011): 63–79.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856410001394>.

einem Pretest abgeleitet werden. Je zutreffender diese Daten sind, umso effizienter ist das Design.

Da es sehr schwierig ist, ein orthogonales und vor allem ein effizientes Design manuell aufzubauen, werden diese mit Hilfe von ausgewählten Prozeduren mit verschiedener Software erstellt (z. B. Ngene, SAS, SPSS oder R).

Auf Basis dieser Methoden können die Auswahlmöglichkeiten und -kriterien festgelegt werden. Viele SC-Befragungen nehmen auch den Hauptgegenstand der Untersuchung¹⁷⁰ immer in die Auswahlmöglichkeiten auf, um darüber detaillierte Aussagen treffen zu können. Die Auswahlkriterien hingegen variieren, sollen aber immer in einer sinnvollen, realitätsnahen Größenordnung sein.

Zusammenfassend sind für Erstellung einer SC-Erhebung folgende Schritte sinnvoll:

- Festlegung der Ziele der Untersuchung.
- Festlegung des Untersuchungsgegenstandes (Auswahlmöglichkeiten (Alternativen), Auswahlkriterien (Eigenschaften der Alternativen) mit deren Ausprägungen).
- Erstellung einer Modellschätzung und Nutzenfunktion mit Dummy-Werten.
- Erstellung eines Erhebungsdesigns und Durchführung einer Pilotstudie.
- Erstellen eines finalen Erhebungsdesigns mit Daten aus der Pilotstudie.
- Durchführung der Erhebung.

¹⁷⁰ Z. B.: Bei einer Untersuchung zu Ridepooling steht in jeder Auswahl-situation Ridepooling zur Wahl.

Nach der Durchführung der Erhebung und der Datenbereinigung können dann, wie beschrieben, Nutzenfunktionen erstellt werden, die für die Modellierung neuer Mobilitätsformen, aber auch allgemein des Verkehrsverhaltens, notwendig sind. Für die Modellierung neuer Mobilitätsformen oder die Wirkungen neuartiger Verkehrsangebote kann noch nicht auf genügend Daten aus realisierter Mobilität zurückgegriffen werden. Daher sind meist SP-Befragungen notwendig, da so die Wahlentscheidungen und Alternativen generiert werden können.

3.3 Modellierung

Im Verkehrsbereich existieren Verkehrsmodelle zur Abbildung des Verkehrsflusses und der Verkehrsnachfrage. Während sich mittels Verkehrsflussmodellen Aussagen zu Bewegungen von Fahrzeugen, Fahrzeugfolgen sowie Geschwindigkeiten/Abständen oder aggregiert zur Verkehrsdichte treffen lassen, bilden Verkehrsnachfragemodelle u. a. Quelle-/Ziel-Beziehungen und/oder Belastungen in Verkehrsnetzen ab. Verkehrsnachfragemodelle können den Güter-/Wirtschaftsverkehr, aber auch den Personenverkehr betreffen. Wobei die Abgrenzung zwischen Personenwirtschaftsverkehr und Personenverkehr nicht immer trennscharf ist, da zum Beispiel eine dienstliche Fahrt sowohl Personenverkehr auch als Wirtschaftsverkehr sein kann. Modellierung von Material- oder Warenströmen hingegen ist eindeutig dem Güterverkehr zugeordnet. Diese Güter werden jedoch von Personen als Fahrzeugführende bewegt. Friedrich et al.¹⁷¹ unterscheiden die abzubildenden Verkehre nach Ortsveränderungen von Personen und Ortsveränderungen von Fahrzeugen zum Zwecke des Transports von Gütern bzw. Fahrzeugen, die am Ziel benötigt werden (vgl. Tabelle 3.4).

¹⁷¹ Markus Friedrich, Eric Pestel, Udo Heidl, Juliane Pillat, Christian Schiller und Robert Simon, „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle.“ (2019).

Tabelle 3.4: Terminologie zum Personen- und Wirtschaftsverkehr¹⁷²

	Privater Personenverkehr	Wirtschaftsverkehr
Ortsveränderungen von Personen	Privater Personen- verkehr - zur Arbeit - zur Ausbildung - zum Einkauf - zur Freizeit - zur Wohnung	Personenwirtschafts- verkehr - Dienstweg zu einem dienstlichen Termin
Ortsveränderungen von Fahrzeugen zum Gütertransport	Privater Güterverkehr - privater Umzug - privater Versorgungs- und Entsorgungsverkehr	Güterwirtschaftsverkehr - Versorgungsverkehre - Entsorgungsverkehre

Da die vorliegende Arbeit neue Mobilitätsformen im Personenverkehr zum Thema hat, werden im Folgenden die in Tabelle 3.4 grün hinterlegten Ortsveränderungen von Personen betrachtet. Auf diese Ortsveränderungen beziehen sich im Folgenden die Verkehrsnachfragemodelle.

Grundsätzlich haben Verkehrsnachfragemodelle den Zweck, Verkehrsverhalten verstehen und erklären zu können, und dienen zur Identifizierung relevanter Variablen und Einflussgrößen. Sie unterstützen die Entwicklung von Planungsmaßnahmen und liefern Vorhersagen für deren Bewertung.¹⁷³ Es wird i. d. R. zwischen makroskopischen und mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen unterschieden. „Makroskopische Modelle fassen die Objekte

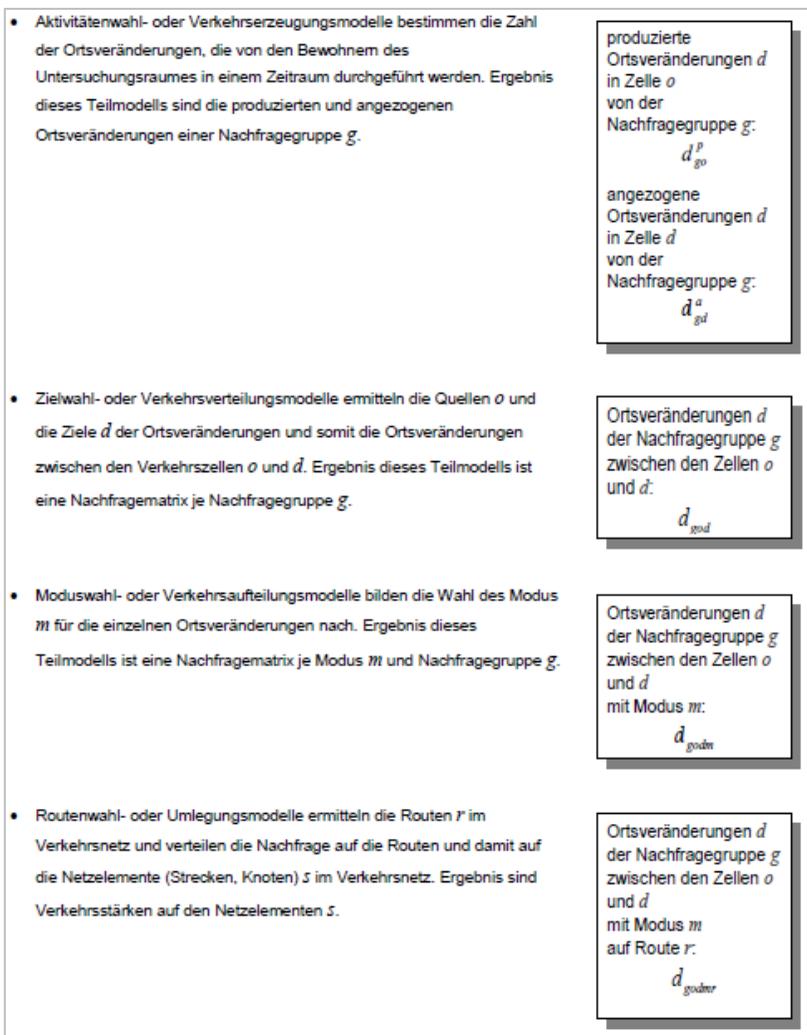
¹⁷² Eigene Darstellung nach: Friedrich et al., „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle“.

¹⁷³ Ian G. Hoggie, „Putting Behaviour into Behavioural Models of Travel Choice.“ *The Journal of the Operational Research Society* 29, Nr. 6 (1978): 541–550.

der realen Welt in aggregierten Größen (z. B. Verkehrsstärke einer Strecke) zusammen. Mikroskopische Modelle bilden die Objekte der realen Welt direkt ab. Die Eigenschaften eines makroskopischen Objekts oder Zustands sollten sich aus den Eigenschaften der mikroskopischen Objekte oder Zustände erklären lassen¹⁷⁴. Während makroskopische Modelle heutzutage Personengruppen modellieren, werden in mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen einzelne Personen als Agenten mit ihren Eigenschaften abgebildet.¹⁷⁵ Mikroskopische Modelle liefern i. d. R. als kleinste Einheit Wege der Agenten. Neben den Wegen stehen auch die Eigenschaften der Agenten und entscheidungsrelevante Attribute zur Verfügung. Makroskopische Modelle arbeiten i. d. R. mit den vier Stufen Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsaufteilung und Verkehrsumlegung. Eine Übersicht über die Stufen und deren Berechnungsschritte zeigt Abbildung 3.10.

¹⁷⁴ Friedrich et al., „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle“.

¹⁷⁵ Martin Kagerbauer, Nicolai Mallig, Peter Vortisch und Manfred Pfeiffer, „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp.“ *Straßenverkehrstechnik* 2015, Nr. 6 (2015): 375–384.

Abbildung 3.10: Die vier Stufen eines makroskopischen Verkehrsnachfragemodells¹⁷⁶¹⁷⁶ Friedrich et al., „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle“.

Für die Modellierung der Verkehrsnachfrage sind, unabhängig vom Modelltyp, Inputdaten zur Raumstruktur notwendig, die sich auf die Verkehrsentstehung und die Verkehrsattraktion beziehen. Inputdaten zur Modellierung der Verkehrsentstehung sind Personen mit deren Attributen, Haushalte mit deren Eigenschaften und Daten zu Verkehrsmittelbesitz, -verfügbarkeit oder Zugang zu Verkehrsmitteln. Inputdaten für die Bestimmung der Verkehrsattraktion sind u. a. Arbeits-, Ausbildungsplätze oder Freizeit- und Einkaufsgelegenheiten.¹⁷⁷ Diese Daten sind räumlich zu differenzieren (z. B. auf Verkehrszellebene oder feiner) und sind zusammen mit den Verhaltensdaten (vgl. Kap. 2.3) und Daten zur Angebotsqualität der Verkehrsnetze (z. B. in Form von Widerständen hinsichtlich Kosten und Zeit) zur Modellerstellung erforderlich.

Da makroskopische Modelle mit aggregierten Einheiten (meist Personengruppen, wie beispielsweise Erwerbstätige mit Pkw oder Studierende) arbeiten und Quelle-Ziel-Relationen bzw. Verkehrsbelastungen berechnen, sind Entscheidungen auf Einzelpersonenebene nur mit mikroskopischen Modellen möglich. Bei makroskopischen Modellen stehen entscheidungsrelevante Attribute der einzelnen Verkehrsteilnehmenden sowie Entscheidungen der Verkehrsteilnehmenden aus vorherigen Modellstufen nicht zur Verfügung.^{178,179}

Viele Jahre wurden Modelle nach dem Prinzip des Vier-Stufen-Modells¹⁸⁰ erstellt. Kritikpunkte an dieser Art der Modellierung waren u. a., dass diese Modelle nicht verhaltensorientiert sind und keine Entscheidungen der Personen abbilden. Es waren auch keine Variablen enthalten, die verkehrliche Maßnahmen und die verschiedenen Tageszeiten berücksichtigen. Mit der Entwicklung

¹⁷⁷ Martin Kagerbauer, Tobias Kuhnimhof und Falco Nordenholz, „Raumstrukturdaten als Input für Verkehrsnachfragemodelle: Grundlage für verlässliche Ergebnisse.“ *Straßenverkehrstechnik*, Nr. 10 (2016): 650–657.

¹⁷⁸ Friedrich et al., „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle“.

¹⁷⁹ Tobias Kuhnimhof und Martin Kagerbauer, „Infrastruktur für weniger Menschen - Verkehrsmodelle zwischen Erwartungen und Ergebnisplausibilität.“ *In Ansprüche einer mobilen Gesellschaft an ein verlässliches Verkehrssystem*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 220–225 (Berlin, 2011).

¹⁸⁰ Michael G. McNally, *The Four-Step Model 1* (Emerald Group Publishing Limited, 2007).

von Logit-Modellen¹⁸¹ kamen disaggregierte Modelle zum Einsatz, die nach und nach von wegebasiert über aktivitätenbasiert zu Ansätzen¹⁸² mit Tagesplänen¹⁸³ übergingen. Nach ersten Anwendungen Ende der 1970er und 1980er Jahren^{184,185} wurden mikroskopische Nachfragemodelle um die Jahrtausendwende immer beliebter.¹⁸⁶ Mit dieser Modellsystematik war es auch möglich, Interaktionen zwischen Haushaltsmitgliedern, z. B. bei der Pkw-Nutzung oder bei der Wahlsituationen einzelner Personen, abzubilden. Ein Überblick über die verschiedenen Modelle und Modelltypen mit deren Eigenschaften beschreibt Mallig¹⁸⁷.

Diese historische Entwicklung der Modelltypen zeigt, dass eine zunehmende Detaillierung in der Modellierung der Verkehrsnachfrage gewünscht wurde und wird. Dies ist vor allem auch für die Modellierung von neuen Mobilitätsformen erforderlich, da es sich bei diesen, wie in Kap.2.3 gezeigt, um seltene Ereignisse handelt, und sie i. d. R. von Menschen genutzt werden, die besondere Eigenschaften, z. B. hinsichtlich Soziodemografie einer Person respektive

¹⁸¹ Daniel McFadden, „Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.“ In *Frontiers in econometrics*, hrsg. von Paul Zarembka, 105–142, Economic theory and mathematical economics (New York: Academic Press, 1974).

¹⁸² Thomas Adler und Moshe Ben-Akiva, „A theoretical and empirical model of trip chaining behavior.“ *Transportation Research Part B: Methodological* 13, Nr. 3 (1979): 243–257.

¹⁸³ John Bowman und Moshe Ben-Akiva, „Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35, Nr. 1 (2000): 1–28.

¹⁸⁴ Udo Sparmann, *ORIENT: Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe 20 (Karlsruhe: Inst. für Verkehrswesen der Univ, 1980).

¹⁸⁵ Dirk Zumkeller, „Ein sozial-ökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Verkehrsnachfragewirkungen.“ (Dissertation, TU Braunschweig, 1989).

¹⁸⁶ Stephan Schnittger und Dirk Zumkeller, „Longitudinal microsimulation as a tool to merge transport planning and traffic engineering models - the mobiTopp model“.

¹⁸⁷ Nicolai Mallig, „Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell.“ (Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2019).

eines Agenten (Alter, Lebenssituation) und/oder Rahmenbedingungen¹⁸⁸ aufweisen. Zur Abbildung der zunehmenden Differenzierung im Verkehrsverhalten^{189,190,191} bedarf es detaillierter Modellstufen und -algorithmen, um die Modelle realitätsnah gestalten zu können.

mobiTopp¹⁹² ist ein mikroskopisches, agentenbasiertes Nachfragemodell, das am IfV, unter der Leitung des Autors, in einer Vielzahl an Projekten, vor allem auch zur Bewertung neuer Mobilitätsformen, entwickelt und optimiert wurde und wird. Neben anderen am Markt und vor allem Forschung etablierten Modellen¹⁹³, eignet sich mobiTopp zur Integration von neuen Mobilitätsformen und zur Abbildung von Wahlentscheidungen auf individueller Basis. Die Philosophie von mobiTopp besteht darin, zum einen Mobilitätsentscheidungen von Personen (Agenten), die mit Erhebungen analysiert werden, in Choice-Modellen zu integrieren, so dass es möglich wird, die realisierte Mobilität wirklichkeitsnah und praxisnah abzubilden. Zum anderen ist es mit der Struktur von mobiTopp möglich, die Wahlentscheidungen individuell für die jeweiligen Agenten auf Basis der vorherrschenden Rahmenbedingungen durchzuführen. So können entscheidungsrelevante Variablen, die sich aus den Erhebungen als signifikant herausgestellt haben, flexibel in die Modellierung

¹⁸⁸ Ein Beispiel ist die Verfügbarkeit oder Nicht-Verfügbarkeit von bestimmten Verkehrsmitteln zum aktuellen Zeitpunkt.

¹⁸⁹ Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mobilität heute und Morgen?“ In *Perspektive Mobilität - Herausforderungen im Gesellschaftlichen Wandel*.

¹⁹⁰ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Thomas Schuster und Christoph Becker, „Optimization of Individual Travel Behavior through Customized Mobility Services and their Effects on Travel Demand and Transportation Systems.“ *Transportation Research Procedia*, Nr. 19 (2016): 58–69.

¹⁹¹ Tim Hilgert, Sascha von Behren, Nadine Kostorz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Does Travel Behavior of People using Mobility-Apps differ? Findings from a Market Analysis in Germany.“ In *11th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2017).

¹⁹² <https://www.mobitopp.de>. mobiTopp ist eine Open Source-Software:
<https://github.com/ifv-mobitopp/mobitopp>

¹⁹³ U.a. MATSim, SimMobility MT, ADAPTS, Tapas

einbezogen werden. Durch den chronologischen Modellierungsansatz in Minutenschritten über eine gesamte Woche ist es möglich, die Entscheidungen situationsabhängig zu modellieren. Somit können auch seltenere Wege, wie zum Beispiel mit neuen Mobilitätsformen, abgebildet werden. Im Folgenden wird die Funktionsweise von mobiTopp beschrieben.

mobiTopp hat zwei grundlegende Module: Im Long-Term-Modul werden Entscheidungen modelliert, die während der Simulation der Wege nicht mehr geändert werden. Im Short-Term-Modul werden die Wege mit ihren Charakteristika (z. B. Ziele und Verkehrsmittel) modelliert. Abbildung 3.11 zeigt das grafisch. Da mobiTopp modular aufgebaut ist, können die jeweiligen Teilmodule ausgetauscht oder variiert werden.¹⁹⁴

¹⁹⁴ Nicolai Mallig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „mobiTopp – A Modular Agent-based Travel Demand Modelling Framework.“ *Procedia Computer Science* 19 (2013): 854–859.

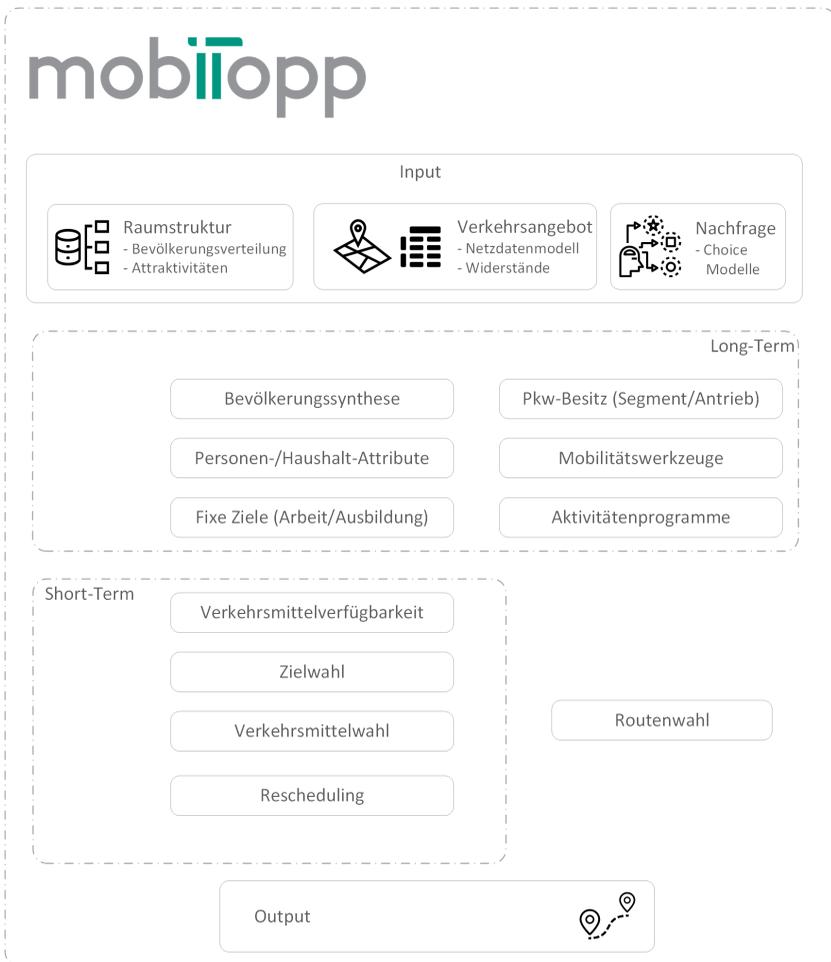


Abbildung 3.11: Ablauf von mobiTopp – Long-Term- und Short-Term-Modell

Die wesentlichen Inputdaten für mobiTopp sind:

- Raumstrukturdaten: Zellen, Soziodemografie von Personen (Anzahl, Alter, Geschlecht, Beruf etc.) und Haushalten (Anzahl, Größe etc.), Attraktivitäten für Zwecke (Einkauf, Freizeit, Dienstleistung etc.) aus

Points of Interest (POI), Verkehrsmittelbesitz oder -verfügbarkeiten, Pendlerverflechtungen, Schul-/Ausbildungs- und Arbeitsplätze.

- Verkehrsangebotsdaten: Netzmodelle für MIV, ÖV, Rad und Fuß und ggf. noch erweiterte Modi (Sharing) oder Haltestellen/Verknüpfungspunkte (Umstiege). Daraus werden Widerstandsmatrizen für die zu betrachtenden Modi/Verkehrsmittel abgeleitet.
- Nachfragedaten: Befragungen zum allgemeinen Verkehrsverhalten, spezielle Befragungen zu einzelnen Verkehrsmitteln oder Situationen (vgl. Kap. 3.2). Aus diesen Befragungsdaten werden Nutzenfunktionen u. a. für Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle entwickelt.

Im Long-Term-Modell werden folgende Schritte durchgeführt: In der Bevölkerungssynthese werden mit einem IPF-Verfahren (Iterative Proportional Fitting) je Zelle alle Personen und Haushalte mit Eigenschaften bestimmt, die in der Zelle leben.¹⁹⁵ In einem iterativen Prozess werden Haushalts- und Personenattribute so lange angepasst, bis sie mit den vorgegebenen Randverteilungen aus den Inputdaten hinreichend genau übereinstimmen. Basis für die Ziehung der Bevölkerung sind Daten aus Befragungen (z. B. MiD oder MOP) oder Zensuserhebungen, in der weitere relevante Eigenschaften und Attribute der Agenten enthalten sind, die ebenfalls berücksichtigt bzw. „mitgezogen“ werden. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Bildungsstatus, Erwerbstätigkeit oder Pendelentfernung und weitere. Theoretisch können auch Mobilitätswerkzeuge (Carsharing-Mitgliedschaft oder ÖV-Zeitkarte) sowie der Pkw-Besitz aus den originären Basisdaten übernommen werden. Das hat aber den Nachteil, dass die Basisdaten einen sehr hohen Stellenwert haben und diese der aktuellen Modellsituation entsprechen müssen. In der Praxis ist das nicht immer möglich. Daher werden weitere Eigenschaften in separaten Teilmodellen zu den Agenten modelliert. Darunter fallen der Pkw-Besitz, die

¹⁹⁵ Kirill Mueller und Kay W. Axhausen, „Hierarchical IPF: Generating a synthetic population for Switzerland.“ In *ERSA Conference Papers*, hrsg. von European Survey Research Association (2011).

Antriebsart und das Pkw-Segment (z. B. in der Abstufung klein, mittel und groß)¹⁹⁶. In der Regel geschieht dies mit Discrete-Choice-Modellen anhand von Nutzenfunktionen. Diese Modelle werden so kalibriert, dass die Ergebnisse mit den Randverteilungen vorhandener Statistiken hinreichend genau übereinstimmen. Analog dazu werden ÖV-Zeitkarten oder der Zugang zu geteilten Verkehrsmitteln modelliert, wie beispielsweise Carsharing-Mitgliedschaften oder Zugang zu Bikesharing-Angeboten. Somit ist sichergestellt, dass die Verfügbarkeit der Mobilitätswerkzeuge auch maßnahmen- bzw. situationssensitiv sein können und Veränderungen abbilden können. Gerade für die Beschreibung von neuen Mobilitätsformen ist dies wichtig, da sich der private Pkw-Besitz bei gleichzeitig steigendem Einfluss von alternativen Zugängen zur geteilten Mobilität verändern kann. Auch der Arbeitsplatz oder der Ausbildungsplatz einer Person ist relativ fest. Da mobiTopp ein längsschnittorientiertes mikroskopisches Nachfragemodell ist und eine ganze Woche simuliert, ist es notwendig, den Ort des Arbeitsplatzes bzw. Ausbildungsplatzes zu Beginn analog zum Wohnort festzulegen und bei der Zielwahl dann (im Short-Term-Modell) zu verwenden. Die Bestimmung des Arbeits-/Ausbildungsplatzes wird für diejenigen Agenten durchgeführt, die arbeiten bzw. sich in Ausbildung befinden. Externe Statistiken zu Schul- bzw. Universitätsstandorten werden so aufbereitet, dass sie zellenfein die Relationen zwischen Wohnort und Ausbildungsort darstellen. Für die Relationen der Arbeitsplätze werden die verfügbaren Statistiken der Pendlerverflechtungen verwendet. Die Pendlerverflechtungen können für Deutschland auf Gemeindeebene von der Bundesagentur für Arbeit bezogen werden. Sind die Verkehrszellen kleiner als das Gebiet einer Gemeinde, werden diese dann anhand der Arbeitsplätze in den Zellen und der Gewerke auf diese Zellenstruktur umgerechnet. Zudem besteht die Möglichkeit, dass aus anderen verfügbaren Daten (z. B. aus einem bestehenden Verkehrsmodell) kleinräumige Relationen erhältlich sind. Auf Basis der extern verfügbaren oder bestimmten zellenfeinen Relationen für

¹⁹⁶ Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Projekt eVerkehrsraum Stuttgart.“ *Internationales Verkehrswesen*, 3/2013 (2013): 68.

Arbeit oder Ausbildung und der Pendelentfernungen¹⁹⁷ werden jedem Agenten, der arbeitet oder in Ausbildung ist, ein Arbeits- bzw. Ausbildungsort nach einer Heuristik zugewiesen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Long-Term-Modells ist die Bestimmung der Aktivitätenprogramme, also die Abfolge der Aktivitäten mit einem zeitlichen Gerüst des Beginns und der Dauern der Aktivitäten. In mobiTopp sind derzeit zwei Arten der Erstellung der Aktivitätenprogramme hinterlegt. Die erste Möglichkeit ist denkbar einfach: Die Aktivitätenprogramme werden aus den berichteten Aktivitäten aus einer Erhebung bei der Bevölkerungssynthese übernommen. Das hat den Vorteil, dass die Abfolgen realitätsnah sind, aber den Nachteil, dass sie nicht sensitiv gegenüber veränderten Rahmenbedingungen sind. Eine zweite Möglichkeit ist die Erstellung der Aktivitätenprogramme mit dem Modul actiTopp¹⁹⁸. actiTopp beinhaltet eine Vielzahl von aufeinander aufbauenden Modellteilen, die Schritt für Schritt hierarchische Entscheidungen von Aktivitäten für eine Woche, einen Tag, und Haupttouren und Touren mit multinomialen Logit-Modellen abbilden. Dabei werden auch die Startzeiten und Dauern bestimmt.¹⁹⁹ Mit actiTopp ist es möglich, veränderte Rahmenbedingungen, wie Ladenöffnungszeiten etc. oder Auswirkungen von Planungen, in die Aktivitätenwahl zu integrieren.

Wie bei der Bestimmung des Aktivitätenprogramms auch, ist bei mobiTopp das Long-Term-Modell so aufgebaut, dass die Teilmodelle modular gestaltbar und austauschbar sind, so dass bei der Modellerstellung, je nach Aufgabenstellung und Situation angepasst, die zielführendste Methode verwendet

¹⁹⁷ Die Pendelentfernung kann entweder im Long-Term-Modell modelliert oder aus Basisdaten der Erhebung übernommen werden.

¹⁹⁸ Tim Hilgert, „Erstellung von Wochenaktivitätenplänen für Verkehrsnachfragemodelle.“ (Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2019).

¹⁹⁹ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Michael Heilig und Peter Vortisch, „Modellierung von Wochenaktivitätenplänen für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ In *HEUREKA '17. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2017).

werden kann. Gerade im Umgang mit neuen Mobilitätsformen ist das wichtig, da hierbei auf spezielle oft seltene Ereignisse zugeschnittene Methoden notwendig sind, um der Realität möglichst nahe zu kommen.

Im Short-Term-Modell werden die einzelnen Wege aller Agenten modelliert. mobiTopp arbeitet sukzessive alle Wege i. d. R. einer Woche ab. Das bedeutet, dass von Montag (erster Simulationstag) 00:00 Uhr an bis Sonntag 24:00 Uhr (letzter Simulationstag) jeweils die Zeit in Minutenschritten abläuft. Sofern ein Agent eine Aktivität aus dem Modul Aktivitätenprogramme beendet, werden die Eigenschaften des nächsten Weges zur nächsten Aktivität modelliert. Die Spezialität von mobiTopp ist die Abbildung einer gesamten Woche, so dass im Modellablauf auch Stabilität und Variabilität in den Ziel- und Verkehrsmittelwahlalgorithmen berücksichtigt werden.²⁰⁰ Das bedeutet, dass neben dem Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz auch alle anderen Ziele, sogenannte flexible Ziele, wie beispielsweise Einkaufen oder Freizeitaktivitäten, wiederholt aufgesucht werden können. Falls innerhalb einer Woche für dieselben Aktivitäten bereits Ziele gewählt wurden, haben diese eine höhere Wahrscheinlichkeit, wieder zur Durchführung dieser Aktivität gewählt zu werden. Ebenso ist es bei der Verkehrsmittelwahl. Hier haben bereits gewählte Verkehrsmittel eine höhere Wahrscheinlichkeit, für die nächsten Wege zu Aktivitäten wieder gewählt zu werden.

Der grundsätzliche Ablauf des Short-Term-Modells ist in Abbildung 3.12 veranschaulicht:

²⁰⁰ Martin Kagerbauer, Nicolai Mallig, Peter Vortisch und Manfred Pfeiffer, „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp.“ In *HEUREKA '14. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2014).

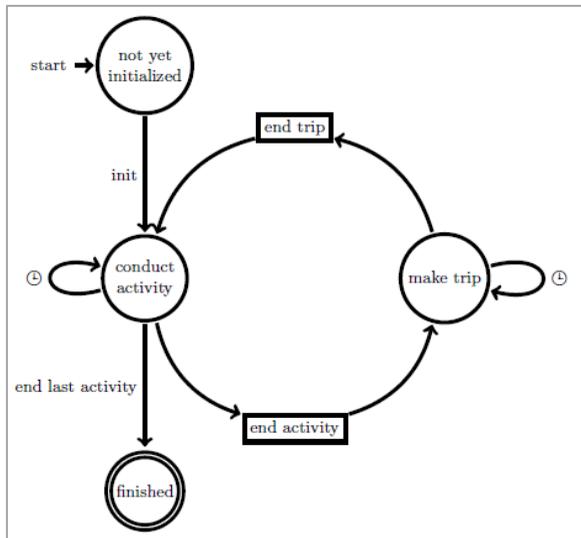


Abbildung 3.12: Ablauf des Short-Term-Modells in mobiTopp²⁰¹

Am Ende einer Aktivität werden das Ziel und die Verkehrsmittel für eine neue Aktivität bestimmt. Dies kann sukzessiv geschehen, also zuerst das Ziel und dann das Verkehrsmittel oder simultan in einem kombinierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell.^{202,203} Bei beiden Methoden spielen die Verkehrsmittelverfügbarkeiten für die Agenten in der speziellen Situation eine Rolle. So können die Agenten nur die Verkehrsmittel nutzen, die ihnen in der Situation

²⁰¹ Mallig, *Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell*.

²⁰² Michael Heilig, Nicolai Mallig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Entwicklung eines kombinierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ In *HEUREKA '17. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2017).

²⁰³ Michael Heilig, Nicolai Mallig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Large-Scale Application of a Combined Destination and Mode Choice Model Estimated with Mixed Stated and Revealed Preference Data.“ *Transportation Research Record*, Nr. 2669 (2017): 31–40.

gerade zur Verfügung stehen. Lebt der Agent z. B. in einem 3-Personen-Haushalt mit einem Pkw, steht dieser Pkw nur zur Verfügung, wenn kein anderer Agent diesen gerade nutzt. Ein Agent kann nur ein Fahrrad nutzen, wenn auch eines verfügbar ist. Während einer Tour bestehen noch weitere Restriktionen. Eine Tour ist eine geschlossene Wegekette. Das bedeutet, dass Ausgangspunkt und Endpunkt der Wegekette derselbe Ort sind. Grundsätzlich können Ausgangspunkte einer Tour die Wohnung oder der Arbeitsplatz sein. In mobiTopp wird eine Tour als Tour bezeichnet, wenn der Ausgangs- und Endpunkt die Wohnung ist. Eine Tour vom Arbeitsplatz zum Arbeitsplatz ist in mobiTopp eine Subtour.²⁰⁴ Die Restriktionen bei der Verkehrsmittelwahl zeigt Tabelle 3.5.

Tabelle 3.5: Für die Verkehrsmittelwahl zur Verfügung stehendes Choice-Set in verschiedenen Situationen²⁰⁵

zu Hause	Auto verfügbar	zuvor genutztes Verkehrsmittel	Choice Set
ja	ja	–	{zu Fuß, Fahrrad, ÖV, Mitfahrer, MIV Fahrer}
ja	nein	–	{zu Fuß, Fahrrad, ÖV, Mitfahrer}
nein	–	MIV	Fahrer {MIV Fahrer}
nein	–	Fahrrad	{Fahrrad}
nein	–	zu	Fuß {zu Fuß, ÖV, Mitfahrer}
nein	–	ÖV	{zu Fuß, ÖV, Mitfahrer}
nein	–	Mitfahrer	{zu Fuß, ÖV, Mitfahrer}

Das bedeutet, dass der Agent je nach Situation verschiedene Verkehrsmittel zur Auswahl hat. Die Voraussetzung hinter dieser Heuristik ist, dass die Fahrzeuge, die einem Haushalt zugeordnet sind, nach der Tour wieder im Haushalt zur Verfügung stehen sollen.

²⁰⁴ Mallig, *Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell.*

²⁰⁵ Ebd.

Die Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle sind in der Regel Discrete-Choice-Modelle²⁰⁶. Meist kommen hier Logit- oder Nested-Logit-Modelle zum Einsatz. Die Nutzenfunktionen beinhalten neben Konstanten haushalts- bzw. personenspezifische, wegespezifische und alternativenspezifische Variablen. Die Parameter für die Variablen werden aus Erhebungen i. d. R. mit dem Maximum-Likelihood-Verfahren geschätzt.

Je nach Art der Generierung der Aktivitätenprogramme bestehen mehr oder weniger große Lücken zwischen den Startzeitpunkten der Aktivitäten und den Endzeitpunkten der vorhergehenden Aktivitäten. Diese werden im Aktivitätenprogramm entweder aus Erhebungen übernommen oder nur grob bestimmt. Nach der Ziel- und Verkehrsmittelwahl stehen die Dauern der Wege, also die Zeiten zwischen den Aktivitäten, exakt fest und werden durch den chronologischen Ablauf in mobiTopp auch exakt eingehalten. Die Aktivitätenbeginne verschieben sich so nach vorne oder nach hinten im Vergleich zu den im Aktivitätenprogramm angegebenen Zeiten. Im Laufe einer Simulation kann es zu größeren zeitlichen Verschiebungen kommen, die im Verfahrensschritt Rescheduling berücksichtigt und wie folgt angepasst werden. Es kann vorkommen, dass alle Aktivitäten eines Agenten an einem Tag nicht mehr durchgeführt werden können oder mehr Zeit für längere Aktivitäten verbraucht werden kann. In mobiTopp sind mehrere Ansätze implementiert, die alle Vor- und Nachteile haben:

- Alle Aktivitäten werden mit der geplanten Dauer durchgeführt und die Aktivitäten verschieben sich auf Grund langer oder kurzer Wegedauern, u.U. in den nächsten Tag, oder werden vorgezogen.
- Die Dauern der Aktivität zu Hause werden so angepasst, dass am Folgetag die nächste Aktivität wie geplant beginnen kann.

²⁰⁶ Moshe E. Ben-Akiva und Steven R. Lerman, *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. MIT Press series in transportation studies 9 (Cambridge: MIT Press, 1985).

- Aktivitäten werden solange durchgeführt, bis der Tag endet. Die restlichen Aktivitäten werden ignoriert. Der nächste Tag beginnt mit der geplanten Aktivität. Da es nicht gewährleistet ist, dass es eine Nach-Hause-Aktivität als letzte Aktivität gibt, können auch die Aktivitäten vor der letzten Aktivität eines Tages ignoriert werden.
- Alternativ können auch bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl die Dauern aus den Aktivitätenprogrammen als fest angesehen werden, und die Wahlentscheidungen der Ziele/Verkehrsmittel werden solange verändert bis die Wegedauern passen. Dieser Ansatz scheint aber sehr konstruiert zu sein.

mobiTopp hat derzeit kein eigenes Umlegungsmodell bzw. Routenwahlmodell. Um aggregierte Verkehrsbelastungen im Netz zu erhalten, besteht die Möglichkeit der Addition der Wege auf Zellenebene zu einer Quelle-Ziel-Matrix und der Umlegung dieser im Netzmodell z. B. mit der Software Visum der PTV²⁰⁷. Oft werden die Netzmodelle zur Erstellung der Reisezeitmatrizen auch in Visum vorgehalten, so dass hier Synergien entstehen. In einem iterativen Verfahren können somit auch Rückkopplungen zwischen den gewählten Wegen und Verkehrsmitteln und den Reisezeiten resultieren, die dann wieder in Form von Widerstandsmatrizen als Input in mobiTopp einfließen. Nachteil dieser Art der Umlegung ist, dass der agentenbasierte Ansatz bei der Umlegung verloren geht. Die Visum-Software ist in dem Release im Jahr 2020 mit einer Datenbank erweitert worden, in die auch Ergebnisse von agentenbasierten Nachfragemodellen integriert werden können. Hiermit ist es dann auch möglich, die Umlegungsergebnisse detaillierter als auf einer Quelle-Ziel-Relation darzustellen.

Die Nachfrageerstellung mit mobiTopp kann auch mit dem Routenwahlmodul in MATSim²⁰⁸, einem ebenfalls agentenbasierten Modell, durchgeführt

²⁰⁷ Vgl. <https://www.ptvgroup.com/de/loesungenprodukte/ptv-visum/>

²⁰⁸ Vgl. www.matsim.org

werden. Dazu ist der mobiTopp-Output so zu verfeinern, so dass er mit der Systematik in der Software MATSim kompatibel ist, die auf Straßenzügen basiert.

Grundsätzlich kann der Output aus mobiTopp so aufbereitet und verarbeitet werden, dass er für jedes andere Umlegungstool angewendet werden kann. Dies ist ein weiterer Vorteil einer Modellierung der Nachfrage auf Einzelpersonen/Agenten-Ebene.

Die Entwicklung von mobiTopp begann Anfang der 2000er Jahre als integriertes Verkehrsnachfrage- und Verkehrsflusssimulationstool, um Verkehrsinformationen in die Verkehrsnachfragewahlentscheidungen zu integrieren. Anschließend wurde das Konzept dahingehend geändert, dass der Haushalt im Zentrum der Bevölkerungssynthese stand und nicht nur die Person.²⁰⁹ Im Projekt „OVID - Stärkung der Selbstorganisationsfähigkeit im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste. Teilprojekt A1: Konzepte für PTA-Dienst“²¹⁰ wurde mobiTopp zur Modellierung einer Verkehrsnachfrage eingesetzt.²¹¹ Nach einigen Praxisanwendungen von mobiTopp, z. B. bei der Erstellung des VEP Erlangen oder für Planungen der Stadt Ulm ohne tiefergehende Weiterentwicklung der Software, begann im Jahr 2010 die Fokussierung auf die Nachfragemodellierung mit einem Modul zur Abbildung des Außenraums am Beispiel der Metropolregion Rhein-Neckar.²¹²

Unter der Projektleitung des Autors wurde in den folgenden Projekten die Software mobiTopp weiterentwickelt:

²⁰⁹ Stephan Schnittger und Dirk Wittowsky, „mobiTopp - ein verhaltensorientiertes Verkehrsplanungsinstrumentarium.“ In *HEUREKA '02. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2002).

²¹⁰ Stefan Geweke und Claudia Schultz, „How Far Individual Travel Behavior will be Influenced by Transport Information“.

²¹¹ Schnittger und Zumkeller, „Longitudinal microsimulation as a tool to merge transport planning and traffic engineering models - the mobiTopp model“.

²¹² Martin Kagerbauer, *Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen 70 (Karlsruhe: KIT Scientific Publ., 2010).

- Integrierte Verkehrsnachfrageanalyse und Prognose der Verkehrsentwicklung in der Metropolregion Rhein-Neckar: Modellierung von 2,3 Mio. Einwohnern im Planungsraum und Abbildung des Außenraums mikroskopisch über einen Tag als Grundlage für regionale Planungsentscheidungen für die Verkehrsinfrastrukturen im MIV und ÖV.²¹³
- Mikroskopische Modellierung der Verkehrsnachfrage in der Region Stuttgart: Grundlegender Umbau von mobiTopp und Ausrichtung auf die Verkehrsnachfragemodellierung. Modellierung von 2,7 Mio. Einwohnern in der Region Stuttgart über eine ganze Woche unter Berücksichtigung von Variabilität und Stabilität des Mobilitätsverhaltens.^{214,215,216}
- Intermodales eMobilitätsmanagement (leMM): Integration von intermodalen Wegen als Zubringer zum ÖV mit elektrischen Carsharing-Angeboten in Mannheim auf Basis des Modells der Region Rhein-Neckar.^{217,218}

²¹³ Kagerbauer, *Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums*.

²¹⁴ Kagerbauer et al., „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp“.

²¹⁵ Martin Kagerbauer, Nicolai Mallig, Peter Vortisch und Manfred Pfeiffer, „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp.“ In *HEUREKA '14. Optimierung in Verkehr und Transport*.

²¹⁶ Martin Kagerbauer, Nicolai Mallig, Peter Vortisch und Manfred Pfeiffer, „Modeling Variability and Stability of Travel Behavior in a Longitudinal View Using the Agent Based Model mobiTopp.“ In *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2016).

²¹⁷ Martin Kagerbauer, Tim Hilgert, Ole Schroeder und Peter Vortisch, „Household Travel Survey of Intermodal Trips – Approach, Challenges and Comparison.“ *Transportation Research Procedia* 11 (2015): 330–339.

²¹⁸ Ole Schroeder, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modellierung intermodaler Wege in einem mikroskopischen Verkehrsmodell: HEUREKA '14 - Optimierung in Verkehr und Transport.“ In *HEUREKA '14. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von

- LivingLab BW emobil - eVerkehrsraum Stuttgart: Integration von Elektromobilität sowie Car- und Bikesharing-Angeboten (free-floating und stationsbasiert) in das Modell der Region Stuttgart. Einführung von Fahrzeug-Agenten und Ladeinfrastruktur.²¹⁹
Anwendungen des Modells mit verschiedenen Szenarienrechnungen im Rahmen der Projekte.
 - Masterplan Schnellladeinfrastruktur Region Stuttgart²²⁰
 - eUrban^{221,222}
- Bewertung integrierter Elektromobilität (BiE): Erweiterung des eVerkehrsraum-Stuttgart-Modells hinsichtlich der Aktivitätendurchführung der Agenten zur flexiblen Modellierung individueller

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Köln: FGSV, 2014); Poster-Session.

²¹⁹ Martin Kagerbauer, Michael Heilig, Nicolai Mallig und Peter Vortisch, „Wirkungen zukünftiger Mobilität: mobiTopp - Simulationswerkzeug zur Integration von Carsharing und Elektromobilität in die Mobilitätslandschaft.“ In *Urbane Mobilität der Zukunft*, hrsg. von Fraunhofer Institute for Systems and Innovation (2015).

²²⁰ Michael Heilig, Patrick Plötz, Tamer Soylu, Lars Briem, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Assessment of fast charging station locations - an integrated model based approach.“ In *15th International Conference on Travel Behavior Research*, hrsg. von International Association for Travel Behaviour Research (IATBR) (2018).

²²¹ Ralf Wörner, Inna Morozova, Daniela Schneider, Mario Oncken, Patrick Bauer, Markus Blesl, Michael Wiesmeth, Lukasz Brodecki, Patrick Jochem, Alexandra März, Martin Kagerbauer und Nadine Kostorz, „Prognosen einer elektromobilen Offensive im urbanen Raum am Beispiel des Großraums Stuttgart - Konsequenzen und Handlungsoptionen.“ In *11. Internationale Energiewirtschaftstagung* (2019).

²²² Inna Morozova, Christian Körner, Martin Kagerbauer, Markus Blesl et al., „Analysis and prediction of electromobility and energy supply by the example of Stuttgart“.

Tagesabläufe. Diese Flexibilität ist notwendig, um Mobilitätsassistenzsysteme bewerten und evaluieren zu können.^{223,224,225}

- ENavi - Energiewende-Navigationssystem: Integration von On-Demand-Verkehren als Ridepooling-Services in das Modell der Region Stuttgart.²²⁶
- regiomove: Erstellung eines mikroskopischen, agentenbasierten Verkehrsnachfragemodells und Integration von intermodalen Wegen. Dieses Modell ist die Grundlage für die Konzeption eines Mobilitätsverbundes in der Region Karlsruhe (Verbundgebiet des KVV – 1 Million Einwohner), um ein innovatives verkehrsmittelintegrierendes und -übergreifendes Verkehrsangebot schaffen zu können. Fokus

²²³ Tim Hilgert, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modeling Week Activity Schedules for Travel Demand Models.“ *Transportation Research Record*, Nr. 2666 (2017): 69–77.

²²⁴ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Michael Heilig und Peter Vortisch, „Modellierung von Wochenaktivitätenplänen für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ *Straßenverkehrstechnik*, Nr. 6 (2017): 371–380.

²²⁵ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Considering joint trips and activities in week activity schedules.“ In *TRB 97th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2018).

²²⁶ Gabriel Wilkes, Lars Briem, Michael Heilig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying service provider and transport system related effects of different ridesourcing service schemes through simulation within the travel demand model mobiTopp.“ In *ICoMaas – 2nd International Conference on Mobility as a Service* (2019).

sind intermodale Wege in Kombination mit ÖV und Car- und Bikesha-
ring.^{227,228, 229}

- bwirkt – Begleit- und Wirkungsforschung zum automatisierten und vernetzten Fahren auf dem Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW). Erweiterung des regiomove-Modells mit hoch-/vollautomatisierten Fahrzeugen und Modellierung der Auswirkung dieser neuen Technik auf die Verkehrsnachfrage (Verkehrsentstehung und Verkehrsmittelwahl).²³⁰
- MOIA Begleitforschung: Erstellung eines inter- und multimodalen mobiTopp-Modells für die Stadt Hamburg mit Umland mit 4,0 Einwohnern unter Berücksichtigung aller Verkehrsmittel mit Fokus auf neue Mobilitätsformen (Car-, Bike-, E-Scootersharing und Ridepooling) zur Evaluation des derzeit weltweit größten Ridepooling-

²²⁷ Anna Reiffer, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*.

²²⁸ Anna Reiffer, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mode Choice Behavior on Access Trips to Carsharing Vehicles.“ In *2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*.

²²⁹ Tim Wörle, Lars Briem, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modeling intermodal travel behavior in an agent-based travel demand model.“ *Procedia Computer Science* 184 (2021): 202–209.

²³⁰ Martin Kagerbauer, Gabriel Wilkes, Sascha von Behren und Juliane Stark, „Time Use during Activities and Trips – Potentials for Analyzing Future Travel and Activity Behavior.“ In *12th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC) (2021).

Angebots. Basis dafür ist eine SC-Befragung unter 12.000 Personen, die mit MiD-Daten kombiniert wird.^{231,232,233}

- Profilregion Wirtschaftsverkehrsmodell: Das mobiTopp der Region Karlsruhe wird um Wirtschafts- und Lieferverkehre ergänzt. Auf Basis der Soziodemografie und Aktivitäten der Agenten wird ein Modellteil (logiTopp) entwickelt, das alle Warenlieferungen im Untersuchungsraum abbildet. Diese Warenströme werden den verschiedenen Transportdienstleistern der Region zugewiesen und in Touren umgewandelt. Diese Touren werden dann gemeinsam mit dem restlichen Verkehr simuliert.²³⁴

(Neue) Mobilitätsformen, Mobilitätsdienste und Lebens- und Arbeitsformen sind ständigem Wandel unterlegen. Die Planungswerkzeuge sind deshalb so auszulegen, dass sie diese Wirkungen beschreiben und evaluieren können. Das bedeutet auch eine stetige Weiterentwicklung und Anpassung der Modellierungstools. Oft werden neue Verkehrsangebote, wenn überhaupt, nur in kleiner Skalierung am Markt getestet. Mit Modellen besteht die Möglichkeit, großflächige Wirkungen dieser (neuen) Mobilitätsformen, Mobilitätsdienste und Lebensformen wissenschaftlich zu erforschen und Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit zu bewerten.

²³¹ Kostorz, Fraedrich und Kagerbauer, „Usage and User Characteristics—Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service“.

²³² Nadine Kostorz, Eva Fraedrich und Martin Kagerbauer, „Ridepooling als Mobilitätsoption für alle?— Erkenntnisse aus der Moia-Begleitforschung zu Nutzerinnen und Nutzern.“ *Internationales Verkehrswesen* 73, Nr. 1 (2021): 67–71.

²³³ Gabriel Wilkes, Roman Engelhardt, Lars Briem, Florian Dandl, Peter Vortisch, Klaus Bogenberger und Martin Kagerbauer, „Self-Regulating Demand and Supply Equilibrium in Joint Simulation of Travel Demand and a Ride-Pooling Service.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2021).

²³⁴ Anna Reiffer, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Microscopic Demand Modeling of Urban and Regional Commercial Transport.“ *Procedia Computer Science* 130 (2018): 667–674.

Vor einigen Dekaden wurden Modelle vornehmlich für die Bewertung von Infrastrukturaus- oder -neubaumaßnahmen verwendet. Die Einsatzfelder haben sich heute hin zur Erforschung von Wirkungen neuer Angebote gewandelt. Um diesen Ansprüchen auch gerecht zu werden, sind die Methoden der Bewertung anzupassen und zu optimieren. Mit makroskopischen Modellen ist es schwieriger, wenig verbreitete und auf einzelne Personen mit speziellen Eigenschaften wirkende Verkehrsangebote zu modellieren. Besser abbildbar sind diese mit mikroskopischen Modellen, die das Verkehrsverhalten vom Individuum ausgehend von dessen Eigenschaften modellieren. So wird im Forschungsumfeld heute häufig mit mikroskopischen Modellen gearbeitet, da diese die zunehmende Individualisierung der Menschen, aber auch die Differenzierung der Verkehrsangebote besser abbilden können. Mit mobiTopp steht hierfür ein modular aufgebautes Tool zur Verfügung, das den wechselnden Anforderungen angepasst werden kann. Im folgenden Kapitel 4 „Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung“ wird beschrieben, wie diese Planungswerkzeuge am KIT-IfV in den letzten Dekaden zu diesem Zweck angepasst wurden.

4 Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung

Aufgrund der geringen Quantität der neuen Mobilitätsformen und der Dynamik in deren Entwicklung sind die Werkzeuge der Verkehrsnachfragemodellierung gegenüber den konventionellen Modi anzupassen. Mit den neuen Mobilitätsformen verschwimmt auch die eindeutige Zuordnung zu Modus und Verkehrsmittel. So ist ein Carsharing-Fahrzeug zum Beispiel ein Angebot neuer Mobilitätsformen, ist aber bisher dem Modus motorisierter Individualverkehr zugeordnet. Bei der Erhebung von Verkehrsnachfrage und der darauf aufbauenden Modellierung ist der Erhebungs- bzw. Modellierungsgegenstand zu unterscheiden und exakt zu definieren. Je spezieller die Verkehrsangebote sind, desto kleinteiliger ist die Methode der Erhebung/Modellierung. Bei den konventionellen Modi wurden im Wesentlichen, neben dem zu Fuß gehen (Fußverkehr), die Verkehrsmittel privates Fahrrad (Radverkehr), privater Pkw und Motorrad (MIV) und Bus und Bahnen (ÖV) verstanden (vgl. Tabelle 2.1). Werden neue Mobilitätsformen untersucht, wie zum Beispiel Bike-sharing, Carsharing oder Ridehailing und Ridepooling, muss die Auflösung des Modellierungsgegenstandes feiner werden. Eine aggregierte Betrachtung beispielsweise aller Pkw erlaubt es nicht, Unterschiede in den Nutzungen oder die Anzahl Personen in einem Fahrzeug beim Pooling zu identifizieren. Gleichzeitig sollten die konventionellen Modi differenzierter betrachtet werden, um eine einheitliche Planungsebene zu haben. Beispielsweise wäre eine Aufteilung des MIV in private Pkw, Ridehailing- oder Ridepooling-Fahrzeuge sowie Carsharing-Fahrzeuge vorstellbar. Das führt dazu, dass die kleinste der Planung zu Grunde liegende Einheit zum einen auf Personenebene und zum anderen auf Fahrzeugebene liegt.

4.1 Integration neuer Mobilitätsformen

Um Verkehrsverhalten in die Nachfragemodellierung integrieren zu können, wird eine Datenbasis benötigt, aus der die (potenzielle) Nutzung und Informationen zu den Nutzenden hervorgehen. Die Daten können aus gesammelten Daten, z. B. der Anbieter von Mobilitätsdiensten, stammen oder werden in Erhebungen generiert.

Je nach Mobilitätsform stehen den Anbietern von neuen Mobilitätsformen Informationen über deren Nutzenden aus einem Registrierungs- oder Abrechnungsprozess zur Verfügung. Meist sind dort, nicht zuletzt aus Datenschutzgründen (Datenvermeidung und Datensparsamkeit)²³⁵, nur die notwendigen Daten der Nutzenden vorhanden, wie zum Beispiel E-Mail-Adresse und Daten zur Abbuchung von Nutzungsentgelten. Diese Daten reichen bei weitem nicht aus, um Nutzende-Modelle zu erstellen. Bei Nutzungsdaten hingegen stehen je nach Anbietern häufig Daten über Nutzungsdauer und weitere Nutzungscharakteristika in ausreichender Form zur Verfügung, da diese die Nutzungen zum einen für Abrechnungszwecke benötigen und zum anderen zur Optimierung der Dienste verwenden. Diese Nutzungsdaten eignen sich sehr gut zum Schätzen der Modelle. Schwierigkeit hier ist, dass den Nutzungen oft keine Soziodemografie der Nutzenden zugewiesen werden kann und die Daten ggf. aus Gründen des Geschäftsgeheimnisses und Wettbewerbsvorteils nicht zur Verfügung gestellt werden (können).

Eine weitere Möglichkeit ist die Sammlung der benötigten Daten für Nutzende und Nutzung in Form von Erhebungen. Die Erhebung kann zum einen mit der Methode der Revealed-Preference-Erhebung (RP-Erhebung) (siehe

²³⁵ BDSG §3a: Die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten und die Auswahl und Gestaltung von Datenverarbeitungssystemen sind an dem Ziel auszurichten, so wenig personenbezogene Daten wie möglich zu erheben, zu verarbeiten oder zu nutzen. Insbesondere sind personenbezogene Daten zu anonymisieren oder zu pseudonymisieren, soweit dies nach dem Verwendungszweck möglich ist und keinen im Verhältnis zu dem angestrebten Schutzzweck unverhältnismäßigen Aufwand erfordert.

Kap. 3.2.1) und zum anderen mit Stated-Preference-Erhebungen (SP-Erhebung) (siehe Kap.3.2.2) durchgeführt werden. Auf Grund des (noch) seltenen Auftretens der Ereignisse/Wege mit neuen Mobilitätsformen ist eine SP-Erhebung oder eine gezielte Auswahl der Stichprobe wirtschaftlicher. Diese Daten vereinen dann sowohl Daten über die Soziodemografie und Struktur der Nutzenden als auch Daten der Nutzung und sind für Modellschätzungen sehr gut geeignet.

Mit diesen Daten ist es möglich, die Ist-Situation der Nutzungsmöglichkeiten, die Nutzenden-Charakteristika und die Nutzung in Modellen abzubilden. Hierzu sind Modelle, die auf Individuums- und Einzelwegeebene arbeiten, gegenüber auf Personengruppen und Modi aggregierten Modellen im Vorteil. Deren weit verbreitete und relativ einfach zu bedienende Software eignet sich eher für die Abbildung der konventionelle Modi. Die Methodik und Funktionsweise dieser mikroskopischen, auf Agentenbasis arbeitenden Modelle sind in Kap. 3.3 näher beschrieben. In dieser Arbeit wird auf die Integration neuer Mobilitätsformen in die am KIT-IfV entwickelte Open-Source-Software mobiTopp fokussiert.

Unabhängig von der Art der Modelle und des zu untersuchenden Gegenstandes (konventionelle Modi versus neue Mobilitätsformen), können verschiedene Szenarien gerechnet werden, die basierend auf der heutigen Nutzung künftige Situationen abbilden. Im Falle der neuen Mobilitätsformen mit vorerst geringer Quantität ist es zudem möglich, Akzeptanz und Nutzung bei einer Hochskalierung oder Variation des Angebots zu prognostizieren. Grundsätzlich sind die Prognosen bei Verkehrsangeboten, die in einer geringen Quantität auftreten, tendenziell schnelllebig und oft auf eine besondere Zielgruppe zugeschnitten sind, schwieriger. Die Angebote könnten schnell wieder vom Markt genommen werden, wenn sie sich für die Anbieter nicht (sofort) wirtschaftlich lohnen. Die Nutzungen der Angebote könnten sich sehr schnell in negativer, wenn zum Beispiel der erste Hype vorbei ist, oder in positiver Richtung, wenn sich das Angebot besonders gut am Markt behauptet und die Nutzungen stark steigen, verändern. Doch trotz erschwerter Prognose, helfen die Berechnungen verschiedener Szenarien, neue Mobilitätsformen sinnvoll

und nachhaltig gestalten und planen zu können. Die neuen Mobilitätsformen sind nicht nur separat zu sehen, sondern sollten ein Bestandteil einer Kombination mit konventionellen Verkehrsangeboten sein, um ein sinnvolles Gesamtverkehrsangebot bereitstellen zu können.

4.2 Neue Mobilitätsformen

Der übliche Planungsablauf ändert sich mit den neuen Mobilitätsformen nicht, sondern nur der Detaillierungsgrad. Zudem ist die Integration der Charakteristika neuer Mobilitätsformen erforderlich, die i. d. R. nicht sehr verbreitet sind und zu denen nur bestimmte Gruppen Zugang haben. Neue Mobilitätsformen zeichnen sich durch hohe Flexibilität und Variabilität aus und sind sehr volatil, so dass sich im Laufe der Zeit Verbreitung und Nutzung ändern können. Auch dies sollte im Planungsablauf berücksichtigt werden.

In dieser Arbeit werden Elektromobilität, Car- und Bikesharing, E-Scootersharing und andere subsummiert als Fahrzeugsharing, Ridesharing, -hailing und -pooling und Automatisierung mit deren Auswirkungen auf den Verkehrsplanungsprozess als neue Mobilitätsformen näher betrachtet.

4.2.1 Elektromobilität²³⁶

Elektromobilität im Personenverkehr löst grundsätzlich nicht die Verkehrsprobleme in unseren Städten. Selbst wenn Elektrofahrzeuge kleiner wären als konventionelle Fahrzeuge, wie beispielsweise der Elektro-Smart, oder sich das Fahrverhalten mit Elektro-Pkw hinsichtlich Beschleunigung und Bremsvorgängen verändert, handelt es sich immer noch um einen Pkw, der Platz benötigt und ähnlich wie ein konventioneller Privat-Pkw genutzt wird. Durch

²³⁶ Dieses Kapitel ist zeitgleich mit folgendem Buchbeitrag entstanden. Die Inhalte sind deshalb identisch bzw. ähnlich: Martin Kagerbauer, „Elektromobilität: Integration von Elektromobilität in die Verkehrsplanung – Welche Anpassungen unserer Werkzeuge brauchen wir?“ (2021).

den Elektroantrieb werden jedoch die Emissionen durch das Fahrzeug reduziert, beispielsweise hinsichtlich CO₂, NO_x, und, im niedrigen Geschwindigkeitsbereich, auch Lärm. Elektro-Pkw sind somit lokal emissionsfrei. Die grundsätzliche Umweltfreundlichkeit der Elektromobilität hängt jedoch maßgeblich vom Strommix ab. Im 1. Quartal des Jahres 2020 kamen 54,8% des Stroms in Deutschland aus erneuerbaren Energien (vgl. Abbildung 4.1).

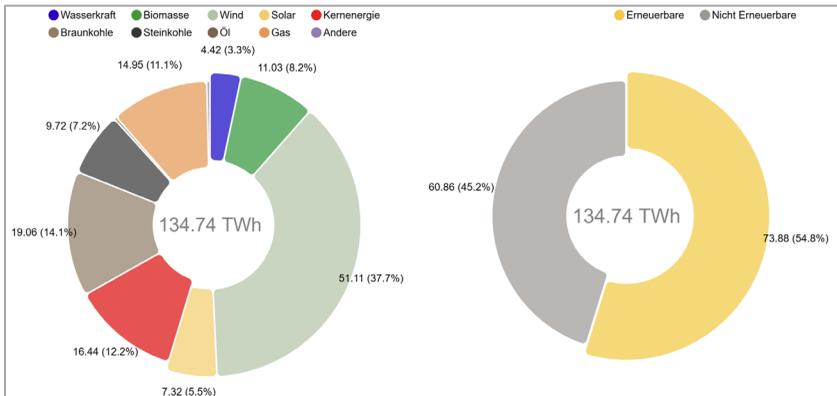


Abbildung 4.1: Nettostromerzeugung zur öffentlichen Stromversorgung in Deutschland im ersten Quartal 2020^{237,238}

Über die letzten Jahre ist in Deutschland der Anteil an regenerativem Strom, wie Abbildung 4.2 zeigt, massiv gestiegen, so dass Elektromobilität zunehmend umweltfreundlicher wird.

²³⁷ Die Grafik zeigt die Nettostromerzeugung aus Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung. Das ist der Strommix, der tatsächlich aus der Steckdose kommt. Die Erzeugung aus Kraftwerken von „Betrieben im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden“, d.h. die industrielle Erzeugung für den Eigenverbrauch, ist bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

²³⁸ Bruno Burger, „Stromerzeugung in Deutschland im ersten Quartal 2020.“. https://www.energy-charts.de/energy_pie_de.htm?year=2019 (letzter Zugriff: 16. Juni 2020).

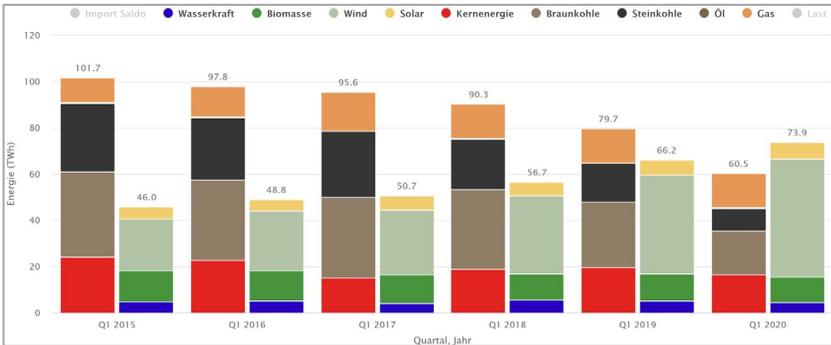


Abbildung 4.2: Entwicklung der Nettostromerzeugung zur öffentlichen Stromversorgung in Deutschland im ersten Quartal von 2015 bis 2020²³⁹

Grundsätzlich ist Elektromobilität also eine umweltfreundlichere Art der Mobilität im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen, vor allem mit Blick auf den Betrieb der Fahrzeuge. Wegen steigender Zulassungszahlen der Elektrofahrzeuge ist es sinnvoll, diese neben den konventionellen Fahrzeugen in künftigen Planungsprozessen gesondert zu berücksichtigen, da deren Restriktionen hinsichtlich Reichweiten und Ladevorgängen, die Verkehrsnachfrage aber auch das Verkehrsangebot (Verfügbarkeit und (Lade-)Infrastruktur) beeinflussen.

4.2.1.1 Definition

Eine Million Elektrofahrzeuge, gemeint waren Pkw, sollten bis zum Jahr 2020 in Deutschland zugelassen sein. Dieses Ziel wurde im Jahr 2009 von der Bundesregierung im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität²⁴⁰ festgelegt. Das Ziel wurde nicht erreicht. Im Jahr 2020 waren zum Stand 01.01.2020 136.617 Elektro-Pkw, 102.175 Plug-In-Hybrid-Pkw und 437.208 weitere

²³⁹ Bruno Burger, „Stromerzeugung in Deutschland im ersten Quartal 2020“.

²⁴⁰ Die Bundesregierung, „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung.“. <https://www.bmu.de/download/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

Hybrid-Pkw zugelassen.²⁴¹ Laut Definition in Deutschland umfasst Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung nicht nur reine Elektro-Pkw, sondern „all jene Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind. Mit umfasst sind damit auch solche Fahrzeuge, die zum Zwecke einer größeren Reichweite neben einem Elektro- auch über einen Verbrennungsmotor verfügen, etwa Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV) und Elektrofahrzeuge mit sogenannten Range Extendern (REEV). Wichtig ist vor allem, dass diese Fahrzeuge extern über das Stromnetz aufgeladen werden können“²⁴². Nach dieser Zählart sind zum 01.01.2020 238.792 Elektro-Pkw in Deutschland von insgesamt 47,7 Mio. Pkw zugelassen, also rund 0,5%.

Reine Elektroautos, also Elektro-Pkw, (Battery Electric Vehicles = BEV) sind nur mit einem Elektromotor ausgestattet und beziehen ihre Energie ausschließlich mit Strom aus Energienetzen. Zusätzlich kann die Energie, die durch Bremsvorgänge zurückgewonnen wird (Rekuperation) ebenfalls in den Batterien gespeichert werden.

Elektro-Pkw mit einem Range Extender (REEV = Range Extended Electric Vehicles) haben zusätzlich zum Elektromotor noch einen kleinen Verbrennungsmotor mit Generator. Dieser wird angeschaltet sofern die Energie der Batterie nicht mehr ausreicht, um den Pkw anzutreiben und verlängert dadurch die Reichweite des Pkw.

Plug-In-Hybridfahrzeug (PHEV = Plug-in Hybrid Electric Vehicle) sind Hybridfahrzeuge, die über eine relativ große Batterie verfügen. Diese Fahrzeuge haben generell sowohl ein elektrisches als auch ein konventionelles, mit

²⁴¹ Kraftfahrt-Bundesamt, „Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2020 gegenüber dem 1. Januar 2019.“.

https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/b_jahresbilanz_inhalt.html?nn=2601598 (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

²⁴² BMU, „Fahrzeugkonzepte für Elektroautos.“. <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/allgemeine-informationen/fahrzeugkonzepte-fuer-elektroautos/> (letzter Zugriff: 16. Juni 2020).

Kraftstoff angetriebenes System. Bei Hybrid-Fahrzeugen (HEV = Hybrid Electric Vehicle), ohne Plug-in, ist der Elektromotor eine Ergänzung zum Verbrennungsmotor und ermöglicht kurzfristige Leistungsspitzen. Die HEV zählen nicht zu den Elektrofahrzeugen.

Neben gasbetriebenen Fahrzeugen (Liquefied Petroleum (LPG) Gas Vehicles, Natural Gas (NG) Vehicle bzw. Compressed Natural Gas (CNG) Vehicle) gibt es wasserstoffbetriebene Fahrzeuge (FCEV = Fuel Cell Electric Vehicles). Beide werden nicht zu den elektrischen Fahrzeugen gezählt, da sie mit Gas bzw. Wasserstoff und nicht mit Strom aus Energienetzen angetrieben werden. In Deutschland waren zum 01.01.2020 371.472 flüssiggas- und 82.198 erdgasbetriebene Pkw sowie 507 wasserstoffbetriebene Pkw zugelassen.²⁴³

Die Steigerungstendenzen an elektromobilen Pkw sind in den meisten Ländern der Welt festzustellen. Wie Abbildung 4.3 zeigt, steigen die Bestandsentwicklungen der Elektroautos weltweit. Vor allem in China sind die Zuwächse an Elektro-Pkw sehr hoch.

²⁴³ Kraftfahrt-Bundesamt, „Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2020 gegenüber dem 1. Januar 2019“.

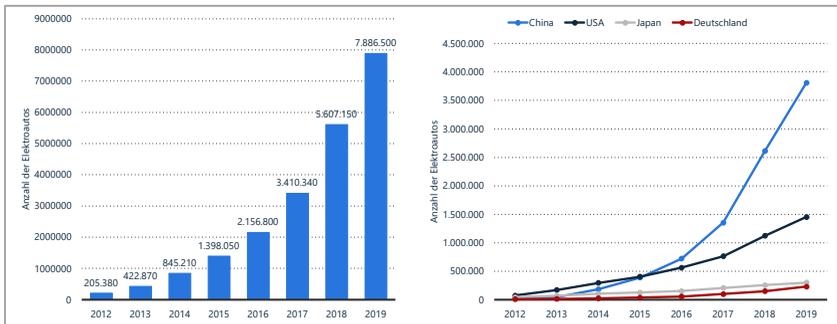


Abbildung 4.3: Bestandentwicklung von Elektro-Pkw (weltweit und in ausgewählten Ländern) in den Jahren 2012 bis 2019²⁴⁴

Obwohl die Reichweite der Elektro-Fahrzeuge mit fortschreitender technischer Entwicklung zunimmt, ist sie immer noch eine wichtige Charakteristik für die Akzeptanz und die Nutzung der Elektromobilität. Im Jahr 2020 reicht die Spanne der Reichweite bei Elektrofahrzeugen (BEV) von ca. 450 km/Batterieladung bei einem Tesla (Model X 100D) bis zu ca. 110 km/Batterieladung bei einem Smart (Modell fortwo coupé EQ prime).²⁴⁵ Maßgeblich hängt die Reichweite von der Größe der Batterie in den Fahrzeugen ab.

Neben der hohen Anschaffungskosten sind die Restriktionen in der Reichweite und der Mangel an Ladeinfrastruktur (LIS) die Hauptthemnisse der Elektromobilität.^{246,247} So gilt es für Verkehrsplanungszwecke in der Erhebung

²⁴⁴ Statista, „Weltweite Bestandentwicklung von Elektroautos in den Jahren 2012 bis 2019.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168350/umfrage/bestandentwicklung-von-elektrofahrzeugen/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

²⁴⁵ ADAC, „Aktuelle Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch.“. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

²⁴⁶ Kagerbauer und Heilig, „Projekt eVerkehrsraum Stuttgart“.

²⁴⁷ Ebd; Till Gnann, Patrick Plötz, Joachim Globisch, Uta Schneider, Elisabeth Dütschke, Simon Funke, Martin Wietschel, Patrick Jochem, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Melanie Reuter-Oppermann, „Öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: Ergebnisse der

und Prognose des Verkehrs in Verbindung mit Elektromobilität zum einen die technischen Leistungsfähigkeiten der Fahrzeuge und zum anderen die Entscheidungen hinsichtlich der Ziel- und Verkehrsmittelwahl unter diesen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.²⁴⁸ Somit kann das Verkehrsverhalten der Menschen allumfassend abgebildet und modelliert werden. Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur mitzubetrachten. Eine Integration der Elektromobilität in die Mobilität der Menschen ist heute und vor allem künftig notwendig, um bedarfsgerechte Infrastruktur planen zu können und Finanzmittel beim Aufbau der Ladeinfrastrukturnetze sinnvoll einzusetzen.

Neben den Elektro-Pkw sind E-Bikes und vor allem Pedelecs eine Erfolgsgeschichte. Die Unterscheidung ist eigentlich trennscharf. In der Praxis werden e-Bikes und Pedelecs oft vermischt: E-Bikes haben keine Pedale und gelten laut StVO²⁴⁹ als einsitziges, zweirädriges Kleinkraftfahrzeug mit elektrischem Antrieb, das zugelassen sein muss und der Führerschein²⁵⁰ und Helmpflicht unterliegt. Sie dürfen bis zu 25 km/h fahren. Pedelecs (Pedal Electric Cycle) gelten als Fahrrad mit Motorunterstützung, der beim Treten einsetzt. Sie unterliegen den gleichen Bedingungen wie Fahrräder beispielsweise hinsichtlich der Radwegebenutzung. Das S-Pedelec ist eine Sonderform, die ähnlich gestaltet ist wie das Pedelec allerdings bis zu 45 km/h schnell fahren kann. S-Pedelecs gelten rechtlich als Kleinkraftfahrzeuge, müssen angemeldet sein und es

Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe.“ (2017).

<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-474648.html>.

²⁴⁸ FGSV, „Elektromobilität - Systembedingungen, Einsatzbedingungen und Systemintegration.“ (2018).

²⁴⁹ § 39 Absatz 7 StVO.

²⁵⁰ Für Mofa Klasse M.

besteht Führerschein²⁵¹ und Helmpflicht. In Deutschland gab es im Jahr 2019 rund 1,4 Mio. Pedelecs/E-Bikes²⁵².

Mit einer Reichweite von 40 bis über 100 Kilometer werden die Pedelecs/E-Bikes oft für Freizeit- und Tourismuswege eingesetzt. Die Motorunterstützung macht aber auch ein Pendeln mit dem „Fahrrad“ in einer Entfernungsklasse zwischen 5 bis 15 Kilometer interessant, so dass hier Substitutionen vom Pkw oder ÖV möglich sind.

4.2.1.2 Anforderungen der Elektromobilität an die Planungswerkzeuge

Der Besitz von Elektrofahrzeugen im Privatgebrauch unterscheidet sich im Vergleich zum Besitz von konventionellen Fahrzeugen, vor allem in industrialisierten Ländern: Die konventionellen Fahrzeuge stehen nahezu allen Bevölkerungsschichten gleichermaßen zur Verfügung. Elektrofahrzeuge im Pkw-Segment werden bzw. wurden in einem frühen Stadium des Markthochlaufs von einer speziellen Gruppe von Personen besessen. Die sogenannten Innovators und Early Adopters, also Personen, die nach der Diffusionsforschung sehr früh neue Technologien annehmen, sind Gruppen, die sich von der Allgemeinheit unterscheiden, vor allem hinsichtlich der Soziodemografie, eines höheren ökonomischen Status und deswegen auch hinsichtlich des Verkehrsverhaltens, da mit zunehmendem zur Verfügung stehenden Einkommen das Verkehrsaufkommen steigt.²⁵³ Abbildung 4.4 zeigt systematisch die Verteilung der Personengruppen.

²⁵¹ Klasse AM oder der Pkw-Klasse B.

²⁵² Statista, „Absatz von E-Bikes in Deutschland von 2009 bis 2019.“.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152721/umfrage/absatz-von-e-bikes-in-deutschland/>.

²⁵³ Richard Ochmann, Uwe Kunert, Manfred Horn, Dominika Kalinowska, Jutta Kloas und Erika Schulz, „Mobilität 2025: Der Einfluss von Einkommen, Mobilitätskosten und Demographie.“ (Institut für Mobilitätsforschung (ifmo), 2008).

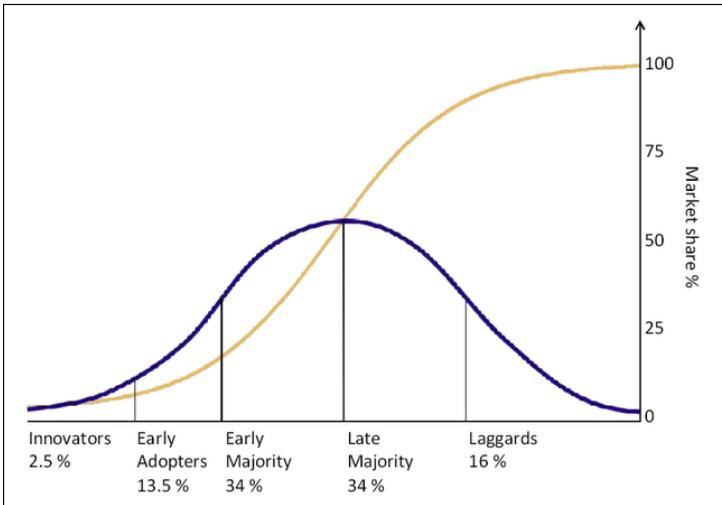


Abbildung 4.4: Verbrauchergruppen bei der Einführung von neuen Technologien (blau) und Marktanteil (gelb)²⁵⁴

Wie bei vielen neuen Technologien hat sich ebenfalls beim Besitz der Elektro-Pkw herausgestellt, dass eher junge Männer mit gutem ökonomischen Status Erstanwendende der Elektromobilität waren.^{255,256} Da die Elektromobilität bisher noch einen geringen Anteil an den Gesamt-Pkw hat (vgl. Kap. 4.2.1.1), sind die Charakteristika und das Mobilitätsverhalten dieser Besitzenden der Elektro-Fahrzeuge auch ein wesentlicher Aspekt, der in der Verkehrsplanung berücksichtigt werden sollte. In den Hochlaufszenerarien für Elektromobilität

²⁵⁴ Everett M. Rogers, *Diffusion of innovations* (Simon and Schuster, 2010).

²⁵⁵ Patrick Plötz, Till Gnann, Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Can Models Predict Electric Vehicle Users?“ In *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, hrsg. von EVS30 (2017).

²⁵⁶ Patrick Plötz, Till Gnann, André Kühn und Wietschel. Martin, „Markthochlaufszenerarien für Elektrofahrzeuge - Langfassung.“ (Fraunhofer Institute for Systems and Innovation, 2013); Studie im Auftrag der acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE).

wurden die Entwicklung, z. B. in Form von Anzahl an Elektro-Fahrzeugen, und die Charakteristika der Besitzenden abgeschätzt und berücksichtigt. Im Laufe der nächsten Jahrzehnte, sofern sich die Elektromobilität zu einem Massenmarkt entwickelt, werden Besitzende über alle Bevölkerungsschichten hinweg verteilt sein, so dass diese Unterschiede in Soziodemografie und Struktur nicht mehr so ausgeprägt sein werden. Allerdings kann das je nach gesetzlichen Rahmenbedingungen (Förderung), Verfügbarkeit von verschiedenen (kostengünstigeren) Modellen und Sensibilisierung der Bevölkerung für umweltfreundliche Pkw-Mobilität noch dauern. Da wir für die nächsten Jahre planen, übliche Planungshorizonte sind bis in zehn bis 15 Jahren, ist es sinnvoll, diese Rahmenbedingungen in den Planungen zu berücksichtigen. Ein weiterer Grund, die Elektromobilität gesondert zu betrachten, sind die wegen der Strompreise günstigeren Betriebskosten für Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Dadurch werden E-Fahrzeuge u.U. auch häufiger genutzt und deren Fahrleistungen können somit tendenziell höher sein. Dies ist aber in Relation zu den Reichweiten zu betrachten.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration von Elektro-Pkw-Besitz und Charakteristika der Nutzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status).

An den aktuellen Zulassungszahlen der Elektro-Pkw in Deutschland erkennt man auch, dass ca. 60% in das Fahrzeugsegment „Klein“ (Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse) und 25% in das Fahrzeugsegment „Groß“ (Oberklasse, SUV Sport, Geländewagen) fallen.²⁵⁷ Diese unterschiedlichen Fahrzeugsegmente haben unterschiedliche Charakteristika. Kleinfahrzeuge werden eher als Zweit- oder Drittwagen genutzt mit kleiner Reichweite und häufiger Nutzung für kurze Strecken. Die Großfahrzeuge haben eine große Reichweite (z. B. Tesla- oder Porsche-Fahrzeuge mit ca. 400 km) und werden eher für alle, auch

²⁵⁷ Statista, „Bestand an Elektro-Pkw in Deutschland nach Segmenten in den Jahren 2015 bis 2019.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1097903/umfrage/bestand-an-elektro-pkw-in-deutschland-nach-segmenten/>.

weite, Fahrten genutzt. Diese unterschiedlichen Nutzungen und Charakteristika spielen für die Verkehrsnachfrage eine wesentliche Rolle, da je nach verfügbarem Fahrzeug unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten vorhanden sind. Eine Diversifizierung der Fahrzeugkategorien in Bezug auf Elektromobilität ist daher sinnvoll. Zudem gibt es mit neuen Fahrzeugsansätzen, wie Pedelecs/E-Bikes, neue Möglichkeiten, Wege zurückzulegen, die in verschiedenen Modi wirken. Auch hier spielt die Elektromobilität eine Rolle, die in den Planungen zu berücksichtigen ist.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration von Eigenschaften der Elektro-Fahrzeuge (Fahrzeugart, Größe des Akkus, Reichweite).

Grundsätzlich unterscheiden sich die Elektrofahrzeuge von konventionellen Fahrzeugen hinsichtlich der Reichweite und der Dauer der Lade- respektive Tankvorgänge. Während außer bei speziellen Erhebungen zu Verbrauch und Fahrleistung²⁵⁸ die Tankvorgänge in der Verkehrsplanung keine große Rolle spielen, haben diese bei der Elektromobilität ein höheres Gewicht, da das Laden eine größere Zeitdauer einnimmt und besser geplant werden muss, als das Tanken, das innerhalb weniger Minuten durchgeführt wird. Grundsätzlich gibt es zwei Ladearten:

- Normalladen (AC-Laden): Ausschließlich über Wechselstrom (AC = Alternating current) in Ladeleistungsbereichen zwischen 3,7 KW (einphasige) über 11 bzw. 22 KW bis zu max. 43 KW (dreiphasig).
- Schnellladen (DC-Laden): Ausschließlich über Gleichstrom (DC = Direct current) mit einer Ladeleistung von bis zu 170 KW.

Abhängig von dem Ladestand (SOC = State of charge) sowie von der Spezifikation des Akkus, dauert eine Ladung eines 30 KW-Akkus mit 3,7 KW ca. 8 Stunden (h), mit 11 KW ca. 1,5 h und mit 170 KW ca. 15 bis 30 Minuten. Je

²⁵⁸ Bastian Chlond, Martin Kagerbauer, P. Ottmann und Dirk Zumkeller, „Mobilitätspanel: Pkw-Fahrleistungen und Treibstoffverbrauch im Vergleich.“ *Internationales Verkehrswesen* 61, Nr. 3 (2009): 71–75.

nach Umfeldsituation (Temperatur, Streckenprofil etc.) kann damit eine Strecke von ca. 150 Kilometern zurückgelegt werden. Diese unterschiedlichen Ladeeigenschaften haben auch Auswirkungen auf den Einsatz der Ladungen. Während Normalladen geeignet ist für Situationen, in denen das Fahrzeug so wieso längere Zeit steht, z. B. zu Hause nachts oder während der Arbeit, ist das Schnellladen für kurze Zwischenstopps, z. B. bei einer Fernreise an Autobahnen, geeignet. Dazwischen sind alle Variationen denkbar. Im Vergleich zum Tanken dauert das Laden länger, und das Angebot an LIS ist zumindest im Jahr 2020 noch nicht so dicht, so dass die Information über die Existenz und Verfügbarkeit von LIS eine große Rolle spielt. Mit Hilfe von IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) stehen die Charakteristiken und Verfügbarkeiten von LIS beispielsweise durch Apps und andere digitale Plattformen zur Verfügung. Beispiele hierfür sind [e-stations.de](https://www.e-stations.de), [chargemap.com](https://www.chargemap.com), [goingelectric.de](https://www.goingelectric.de), [lemnet.org](https://www.lemnet.org) u.v.a.m.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration von Ladeinfrastruktur mit deren Eigenschaften (Kenngrößen, Ladedauer, Verortung).

Wegen der Reichweiterestriktionen der E-Fahrzeuge kann auch verändertes Verkehrsverhalten der Nutzenden eine Folge sein. Falls beispielsweise aufgrund eines aktuell niedrigen SOC eines E-Pkw einige Ziele nicht mehr erreicht werden können, stehen den Nutzenden verschiedene alternative Handlungsweisen zur Verfügung. Erstens kann der Weg auf einen anderen Zeitpunkt oder Tag verschoben werden, wenn der Akku wieder geladen ist und die Reichweite ausreicht. Zweitens kann ein anderes Ziel zur Durchführung der Aktivität gewählt werden, bei dem die Reichweite noch ausreicht oder drittens kann ein anderes Verkehrsmittel für den Weg gewählt werden. Die beiden letztgenannten Fälle können auch eintreten, sofern die Reichweite auch bei voller Ladung nicht ausreicht. Im Verkehrsnachfragemodellierungsprozess bedeutet dies einen Eingriff in die Module Verkehrsentstehung/Aktivitätenwahl, Zielwahl und/oder Verkehrsmittelwahl. Die Restriktionen der Elektromobilität und das veränderte Verhalten können somit Auswirkungen auf die Wahlentscheidungen haben.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Aktivitäten-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle sind hinsichtlich des Verkehrsverhaltens mit Elektromobilität anzupassen.

Im Alltagsverkehr treten Ereignisse von weiten Fahrten nur selten auf. Pkw werden gewöhnlich in Deutschland im Mittel an wenigen Tagen über 100 Kilometer benutzt, im Jahr 2012 waren es 13 Tage²⁵⁹. Sofern nur ein zufälliger Tag im Jahr berücksichtigt wird, fahren rund 90% der Fahrzeuge in Deutschland unter 100 km. Sofern das ganze Jahr betrachtet wird, fahren nur rund 10% der Fahrzeuge in Deutschland immer unter 100 km. Bei der Betrachtung einer Woche sind es 75%, bei 8 Wochen 30%. Das hat zur Folge, dass bei Fernfahrten i. d. R. ein längerer Betrachtungszeitraum für Aussagen zu Reich- bzw. Fahrtweiten notwendig ist (vgl. Abbildung 4.5).

²⁵⁹ Streit et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2012/13: Alltagsmobilität und Fahrleistungen“.

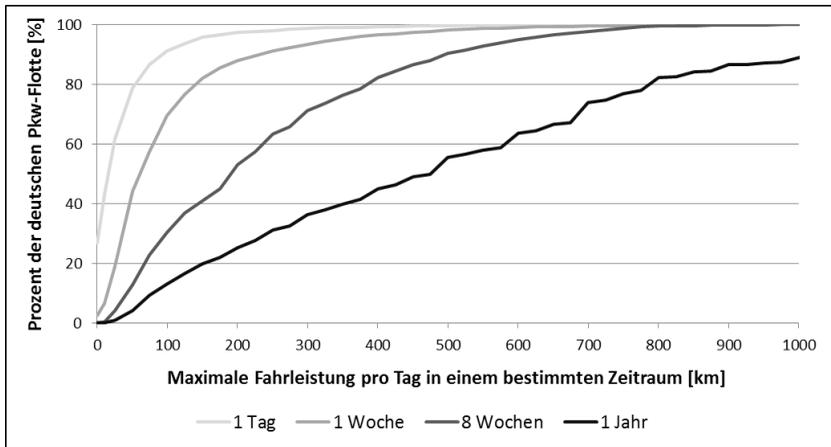


Abbildung 4.5: Verteilung der maximalen Fahrleistung pro Pkw und Tag für verschiedene Betrachtungszeiträume²⁶⁰

Diese Aussage gilt aber nicht nur für Fernfahrten, sondern auch für Fahrten im Alltagsverkehr, da die E-Pkw in der Regel nicht jeden Tag geladen werden und deshalb die Fahrtweiten über mehrere Tage addiert werden müssen, um die Ladevorgänge, Lademengen und Restreichweiten realistisch abzubilden.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Für die Elektromobilität sind längere Untersuchungszeiträume notwendig.

4.2.1.3 Anpassung der Planungswerkzeuge in Folge der Elektromobilität

Die in Kap. 4.2.1.2 dargestellten und nun zusammengestellten Folgen für die Verkehrsplanungswerkzeuge durch die Integration von Elektromobilität sind:

- Integration von Elektro-Pkw-Besitz und Charakteristika der Nutzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status).

²⁶⁰ Streit et al., „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2012/13: Alltagsmobilität und Fahrleistungen“.

- Integration von Eigenschaften der Elektro-Fahrzeuge (Fahrzeugart, Größe des Akkus, Reichweite).
- Integration von Ladeinfrastruktur mit ihren Eigenschaften (Kenngrößen, Ladedauer, Verortung).
- Anpassung der Aktivitäten-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle hinsichtlich des Verkehrsverhaltens mit Elektromobilität.
- Notwendigkeit längerer Untersuchungszeiträume für die Elektromobilität.

Eine Umsetzung dieser Folgen der Elektromobilität für die Verkehrsnachfrageplanung erfordert die Anpassungen von Erhebungen und Modellen.

4.2.1.3.1 Erhebung

Um geeignete Daten als Grundlage für die Modellierung zu erhalten, sind die Erhebungen dahingehend anzupassen, dass zurückgelegte Entfernungen mit elektrisch betriebenen Fahrzeugen über einen längeren Zeitraum erhoben werden können. Längere Zeiträume bedeutet hier mindestens eine Woche, wegen der Laderhythmen besser vier bis acht Wochen²⁶¹. Optimal ist, viele Wege mit elektrisch betriebenen Pkw zu erheben, um so die Ladevorgänge zu ermitteln. Wegen der noch geringen Menge an Elektrofahrzeugen kann die Stichprobengewinnung schwierig sein. Hier können auch Analogieschlüsse mit konventionellen Fahrzeugen helfen, indem Fahrtweiten mit den Reichweiten in Beziehung gesetzt werden, um Ladevorgänge zu berechnen. Voraussetzung dafür ist, dass die Fahrtweiten mit konventionellen Fahrzeugen analog den elektrischen Fahrzeugen angenommen werden.²⁶² Das

²⁶¹ Das MOP führt z. B. die Erhebung zu Fahrleistungen und Tankvorgängen über acht Wochen durch.

²⁶² Bastian Chlond, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Welche Anforderungen sollen Elektrofahrzeuge erfüllen? – Hinweise aus der Perspektive der Mobilitätsforschung.“ In *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*, hrsg. von Heike Proff und Schönharting, Jörg et al. (Hg.), 445–454 (Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012).

Verkehrsaufkommen als Anzahl der durchgeführten Fahrten zu bestimmten Zwecken wird in diesem Fall mit und ohne Elektromobilität als gleich vorausgesetzt. Hilfreich für die Modellierung ist zudem, wenn zu der Aufzeichnung der Fahrtweiten mit den Fahrzeugen auch Informationen zu den Fahrenden (z. B. welche Person eines Haushalts fährt) bekannt sind, da eine agentenbasierte Modellierung von den Einzelpersonen (Agenten) ausgeht. Die Aufzeichnungen der gefahrenen Wegestrecken mit den Fahrzeugen können über Fragebogen oder Listen geschehen oder technisch über ein Tracking der Fahrzeuge beispielsweise über GPS/Apps etc. Oft sind hier zusätzliche Angaben, z. B. über Wegezwecke, Besetzungsgrad, sinnvoll.

Vor allem am Anfang stehende Neuerungen, auch bei neuen Mobilitätsformen, haben die Eigenschaft, dass diese von Menschen mit spezifischen Charakteristika genutzt werden. Dabei ist es für die Modellierung des Besitzes von Elektrofahrzeugen wichtig, diese Charakteristika der Nutzenden zu kennen, um den Zusammenhang zwischen Mobilitätsverhalten und Nutzung von neuen Mobilitätsformen gut abbilden zu können.²⁶³ Beispiele für die Charakteristika sind soziodemografische Eigenschaften (Alter, Erwerbsstatus, Einkommen) oder auch räumliche (Wohnen im Ballungsraum oder im ländlichen Bereich) oder mobilitätsbezogene Verhaltensweisen (regelmäßiges Pendeln). Diese Charakteristika der Elektromobilitätsnutzenden können über Befragungen der Fahrzeugnutzenden erhalten werden. Dies hängt jedoch davon ab, wie weit verbreitet die Technik ist, und ob ein guter Zugang zu den Elektromobilitätsnutzenden möglich ist. Bei der Elektromobilität befindet man sich derzeit an einer Grenze hinsichtlich der Besitzquoten (vgl. Abbildung 4.3), um Menschen mittels RP-Befragungen nach dem realisierten Verkehrsverhalten zu befragen. Zu Beginn der technischen Entwicklung oder auch noch im Markthochlauf können derartige Daten auch über Befragungen der beabsichtigten Nutzung oder des Kaufs von Elektromobilität gesammelt werden. Dies

²⁶³ Bastian Chlond, Martin Kagerbauer, Peter Vortisch und Johannes Wirges, „Market Potential for Electric Vehicles from a Travel Behavior Perspective.“ In *TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2012).

ist vor allem auch dann sinnvoll, wenn Informationen zum künftigen Besitz von Elektromobilität für Prognosen notwendig sind.²⁶⁴ Bei konventionellen Fahrzeugen sind diese Informationen meist über Statistiken oder bereits bestehende Erhebungen verfügbar. Bei der Elektromobilität sind diese Daten nur sehr spärlich vorhanden.

Im Vergleich zur bisherigem Fahrzeugnutzung mit konventionellen Pkw sind bei der Elektromobilität die Ladevorgänge und die Rahmenbedingungen des Ladens ein neuer Aspekt. Hier handelt es sich um den Zeitpunkt der Ladung (z. B. wenn der Akku leer ist, wenn sich eine Lademöglichkeit bietet, während der Durchführung einer bestimmten Aktivität oder nur nachts). Die Erhebung dieser Situationen oder der Präferenzen zur Ladung der Fahrzeuge, kann zum einen durch die Erhebung der Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen selbst erfolgen. Dies erfordert aber das Vorhandensein von genügend Fallbeispielen in der Praxis, analog zum E-Fahrzeug-Besitz. Zum anderen können diese Informationen mit SP-Befragungen erhoben werden. In diesen Befragungen werden potenzielle Situationen durchgespielt, in welchen die Testpersonen entscheiden, wann und wie lange sie laden. Fragestellungen wären, ab welchem SOC Fahrzeuge geladen werden oder bei welchen Situationen (zu Hause, am Arbeitsplatz oder beim Einkaufen). Diese Daten ermöglichen es in Verbindung mit Eigenschaften der Elektrofahrzeuge und der Nutzenden, Ladestrategien abzuleiten und in Modelle zu integrieren.²⁶⁵

Elektromobilität hat, durch Reichweitenrestriktion und Verfügbarkeit der Fahrzeuge für bestimmte Wege, Auswirkungen auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Grundsätzlich können die Wahlmodelle so aufgebaut sein, dass sie Ziel und Verkehrsmittel unabhängig voneinander oder sukzessiv modellieren. Die notwendige Datengrundlage dazu stammt meist aus RP-Befragungen, wie

²⁶⁴ Patrick Plötz, Till Gnann, Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Can Models Predict Electric Vehicle Users?“ In *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*.

²⁶⁵ Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Integrating BEV into daily travel behaviour.“ In *Cross-border Mobility for Electric Vehicles - Selected results from one of the first cross-border field tests in Europe*.

beispielsweise Reisezeiten und die zugespielten Reisezeiten der nicht gewählten Alternativen. Die Alternativen können auch aus SP-Befragungen stammen (vgl. 3.2.2). Bei der Elektromobilität hängt die Wahl der Ziele und Verkehrsmittel jedoch enger zusammen, als bei konventionellen Verkehrsmitteln, da die Reichweiten und SOC der Fahrzeuge sowohl die möglichen Weglängen als auch das Infragekommen des Verkehrsmittels E-Fahrzeug beeinflussen. Zum Beispiel könnte eine Person einen Weg zum Einkaufen in einem 40 Kilometer entfernten Möbelhaus mit einer Restreichweite eines E-Fahrzeuges von 30 Kilometern nicht mehr mit diesem Fahrzeug zurücklegen. Alternativ könnte die Person ein anderes Verkehrsmittel wählen oder zu einem näher gelegenen Möbelhaus fahren. Um diese Zusammenhänge zwischen Reichweite, Ladezustand sowie Ziel- und Verkehrsmittelwahl zu erheben, bietet sich ein Choice-Experiment in einer SP-Befragung an. Dabei werden den Testpersonen verschiedene Auswahlmöglichkeiten vorgeschlagen, aus denen sie sich für eine Alternative entscheiden. Durch die vorgeschlagenen Alternativen stehen auch die nicht gewählten Alternativen zur Verfügung. Diese Daten können dann zu einer Modellschätzung für die kombinierte Ziel- und Verkehrsmittelwahl verwendet werden.^{266,267}

4.2.1.3.2 Modellierung

Die beschriebenen Datengrundlagen aus den an Elektromobilitätsanforderungen angepassten Erhebungen erlauben es, statistische Modelle zu schätzen, die in die Verkehrsnachfragemodellierung integriert werden können. Die Abbildung von Ladevorgängen und dem Ladezustand der E-Fahrzeuge setzt voraus, dass die Fahrzeuge einzeln betrachtet und deren Eigenschaften individuell verändert werden können. Hier bietet sich die Umsetzung der Nachfragemodellierung in einer agentenbasierten Simulation an (vgl. Kap. 3.3), die

²⁶⁶ Kagerbauer und Heilig, „Projekt eVerkehrsraum Stuttgart“.

²⁶⁷ Heilig et al., „Large-Scale Application of a Combined Destination and Mode Choice Model Estimated with Mixed Stated and Revealed Preference Data“.

in diesen Ausführungen am Beispiel der am KIT-IfV entwickelten Software mobiTopp dargestellt wird.

In agentenbasierten Modellen werden Personen als Agenten, die diese repräsentieren, abgebildet. Die Agenten haben Eigenschaften (z. B. Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus) und weitere Charakteristika (z. B. Zeitkarte für ÖV oder Pkw-Besitz). Zur Abbildung der Elektromobilität und der Integration von Reichweiten und Fahrzeugeigenschaften werden die Fahrzeuge ebenfalls als Agenten (Fahrzeug-Agenten) modelliert. Die Fahrzeug-Agenten sind Personen bzw. Haushalten zugeordnet und haben ebenfalls Eigenschaften (Antriebsart oder Reichweite). Diese Eigenschaften werden in der Simulation der Wege hinsichtlich der Verfügbarkeit für bestimmte Einsatzbereiche berücksichtigt und fortgeschrieben. Das bedeutet, wenn mit einem Elektro-Fahrzeug eine bestimmte Strecke zurückgelegt wird, reduziert sich dementsprechend die Reichweite. Das Verkehrsnachfrageverhalten der Personen-Agenten liegt den Bewegungen der Fahrzeug-Agenten zu Grunde. Die Zuordnung der E-Fahrzeuge zu Haushalten erfolgt in mobiTopp mit Hilfe eines Logit-Modells, basierend auf Erhebungs- bzw. Statistikdaten zum Besitz oder künftigen Besitzquoten der Fahrzeuge bzw. E-Fahrzeuge. Somit können auch in Prognosen Wirkungen künftiger Durchdringungsquoten mit Elektromobilität berechnet werden. Abbildung 4.6 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Modellierung des E-Fahrzeugbesitzes in der Region Stuttgart für das Prognosejahr 2030. Zudem unterscheidet mobiTopp verschiedene Fahrzeugtypen; derzeit werden meist drei Klassen (klein, mittel und groß) verwendet, die in den Fahrzeugeigenschaften, z. B. hinsichtlich Batteriekapazität und Reichweite, variieren können.

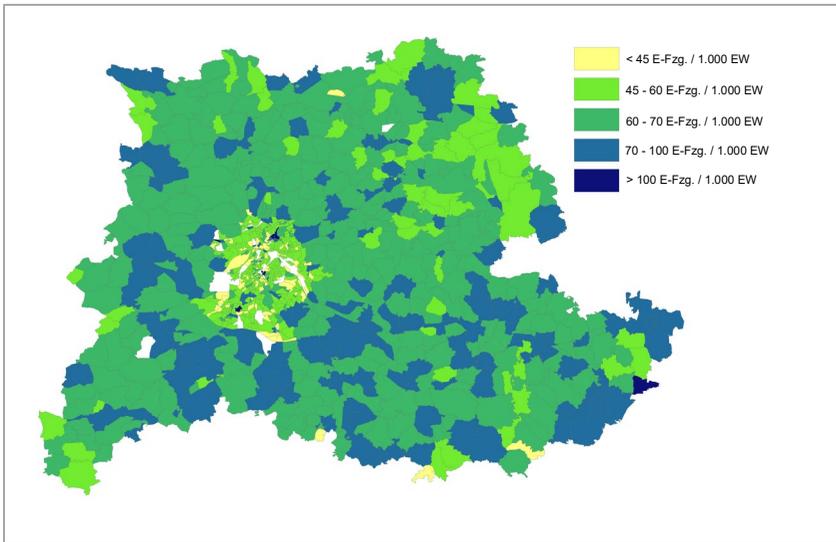


Abbildung 4.6: Verteilung der E-Fahrzeuge in der Region Stuttgart 2030²⁶⁸

Um bei den Fahrzeug-Agenten mit Elektroantrieb die gesamten Ladevorgänge zu modellieren, werden neben der Entladung durch Fahrleistung auch die Ladevorgänge der Fahrzeuge integriert. Zu diesem Zweck wird die Ladeinfrastruktur (LIS) in Form von Ladeorten mit Ladepunkten abgebildet.²⁶⁹ Die Ladepunkte sind die eigentlichen Lademöglichkeiten. Es können mehrere Ladepunkte an einem Ladeort sein. Die Ladepunkte haben ebenfalls Eigenschaften, wie beispielsweise die Ladeleistung. Somit ist es möglich, sowohl Normal- als auch Schnellladeinfrastrukturen (vgl. Kap. 4.2.1.1) zu berücksichtigen.²⁷⁰ Die Ladepunkte werden entweder nach aktuellen Gegebenheiten

²⁶⁸ Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Abschlussbericht „eVerkehrsraum Stuttgart“.“ (KIT - Institut für Verkehrswesen, 2016).

²⁶⁹ Gnann et al., „Öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge“.

²⁷⁰ Tamer Soylu, Michael Heilig, Lars Briem, Patrick Plötz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „GIS-based modelling of fast-charging infrastructure at the city-regional level.“ In

oder künftigen Ausbauszenarien im Raum angeordnet und in das Modell integriert. Sofern sich ein E-Fahrzeug-Agent in der Simulation in der Nähe eines Ladeortes befindet, dieser nicht durch andere E-Fahrzeug-Agenten belegt ist und die Ladestrategie des E-Fahrzeugs einen Ladevorgang ermöglicht/benötigt, kann das E-Fahrzeug geladen werden. Dabei wird die Ladeleistung der LIS, der aktuelle SOC des Fahrzeugs und die Akkukapazität sowie die Standzeit der E-Fahrzeuge berücksichtigt. Durch die minutenfeinen Simulationsschritte in mobiTopp können alle Ladevorgänge und Ladestände der Fahrzeuge, aber auch der Energiebedarf der LIS ermittelt werden.

Da die meisten täglichen Fahrtweiten mit konventionellen Fahrzeugen und auch mit E-Fahrzeugen unter der Reichweite der E-Fahrzeuge liegen (vgl. Abbildung 4.5), ist es analog zur Erhebung sinnvoll bzw. notwendig, in der Modellierung einen längeren Zeitraum zu betrachten, um Ladevorgänge und Ladebedarf auf mikroskopischer Basis abzubilden. Nur so ist es möglich, reale Fahrtweiten und Fahrleistungen mit der LIS in Bezug zu setzen, da oft, wegen geringer Fahrleistung, über mehrere Tage nicht geladen werden muss und Ladestrategien erst über einen längeren Zeitraum abgebildet werden können. Da mit zunehmendem Simulationszeitraum auch die Anforderungen an Hardware, Speicherplatz und Berechnungsdauer steigen, ist hier ein sinnvoller Zeitraum zu wählen, der lang genug ist, um Ladevorgänge zu erfassen, und kurz genug ist, um nicht zu hohe Anforderungen an die Simulationsrahmenbedingungen zu erzeugen. Es hat sich gezeigt, dass der Simulationszeitraum von einer Woche ausreicht, um beiden Forderungen gerecht zu werden. Fast alle E-Fahrzeuge in einer Simulation innerhalb einer Woche laden mindestens einmal und die Simulationsrechenzeiten und Speicherbedarfe sind akzeptabel. Abbildung 4.7 zeigt als Beispiel den aktuellen Ladebedarf auf Grund von Ladevorgängen der E-Fahrzeuge zu einem bestimmten Zeitpunkt (Montag um

8:28h) in der Region Stuttgart auf Verkehrszellenbasis. Je größer die blauen Kreise, desto höher ist der Energiebedarf in der Zelle.

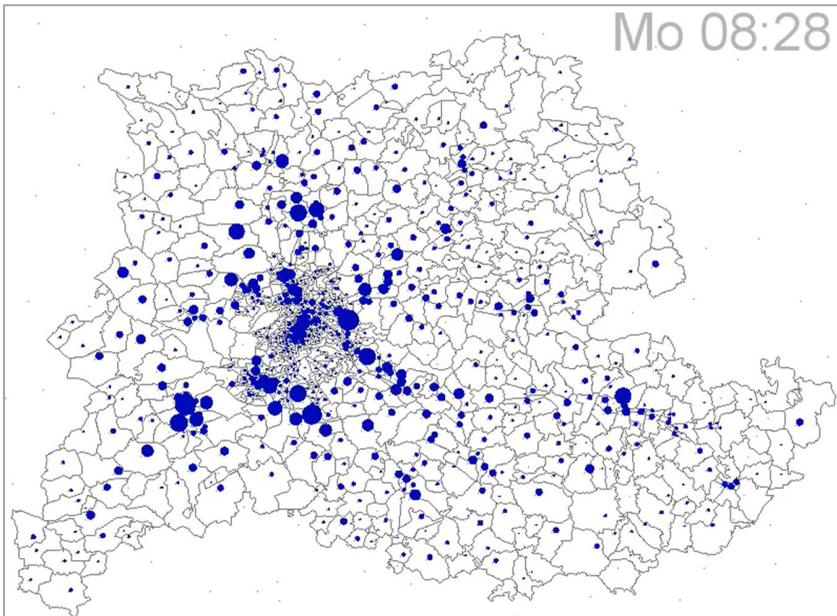


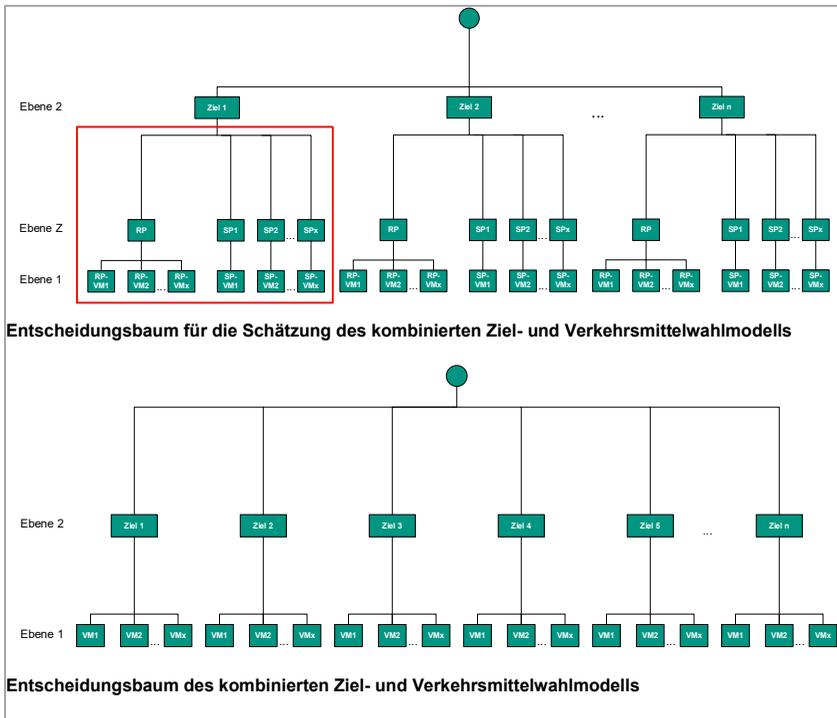
Abbildung 4.7: Lademenge je Ladeort in der Region Stuttgart²⁷¹

Grundlage zur Abbildung der Ladevorgänge sind die modellierten Wege der Personen-Agenten. E-Fahrzeuge dienen wie andere Verkehrsmittel dazu, Personen-Agenten von einer Quelle zu einem Zielort für eine Aktivität fortzubewegen (Wegezzweck). Auf Basis von Aktivitätsbedürfnissen der Personen-Agenten und der Attraktivität zur Befriedigung dieser Bedürfnisse am Zielort werden die Relation des Weges (von x nach y) und die verwendeten Verkehrsmittel bestimmt. Insbesondere wenn die Reichweitenrestriktionen am Beginn der technischen Entwicklung noch groß sind, ist in der Elektromobilität die

²⁷¹ Kagerbauer und Heilig, „Abschlussbericht „eVerkehrsraum Stuttgart““.

Berücksichtigung der Reichweiten von E-Fahrzeugen notwendig. Daher ist es sinnvoll, eine Ziel- und Verkehrsmittelwahl kombiniert durchzuführen, da Reichweitenrestriktionen bei einem Verkehrsmittel die Ziele beeinflussen können oder Ziele die Wahl von Verkehrsmitteln. Beispielsweise wird im Choice-Set der Verkehrsmittel kein E-Fahrzeug mehr ausgewählt, wenn mit der aktuellen Restreichweite das Ziel nicht mehr erreicht werden kann. Abbildung 4.8 zeigt den Ablauf einer Schätzung eines kombinierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells auf Basis einer SP- und RP-Befragung,²⁷² die im Projekt eVerkehrsraum Stuttgart durchgeführt wurde. Mit einem Nested-Logit-Modell wird eine kombinierte Ziel- und Verkehrsmittelwahl je Zielzelle und Verkehrsmittel erstellt. Zuerst werden in Ebene 1 die Parameter der Nutzenfunktion der Verkehrsmittel geschätzt. Zur kombinierten Schätzung dient ein Nested-Logit-Modell in der Ebene 2. Dabei sind die Verkehrsmittel mit RP- und SP-Daten jeweils ein eigenes Nest. Danach werden die Parameter für die Zielwahl geschätzt, indem im Nested-Logit-Modell die Log-Summe der Nutzen aus Ebene 1 bei der Schätzung der Parameter der Ebene 2 berücksichtigt wird. In der Nutzenfunktion der Zielwahl sind die Anzahl der Gelegenheiten, die Anzahl der Ladestationen, die Zeit und die Entfernung der jeweiligen Zielzelle enthalten, um diese in die Modelle integrieren und abbilden zu können. Im Modell (unterer Teil der Grafik) wird dann die so ermittelte Nutzenfunktion mit den geschätzten Parametern angewendet. Somit können bei nicht ausreichenden Restreichweiten nur relevante Entscheidungsmöglichkeiten berücksichtigt werden, so dass nur erreichbare Ziele und nutzbare Verkehrsmittel in den Wahlentscheidungen enthalten sind. Es ist möglich, bei Restreichweitenrestriktionen die Wahl von näheren Zielen oder anderen Verkehrsmitteln in einem Modellschritt zu berücksichtigen.

²⁷² Juan de Dios Ortúzar und Luis G. Willumsen, *Modelling Transport*, 4th ed. (Hoboken: John Wiley & Sons, 2011). <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10510502>.

Abbildung 4.8: Beispiel für ein kombiniertes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell²⁷³

Mit diesem Vorgehen können mögliche Veränderungen durch Elektromobilität im Verkehrsverhalten abgebildet²⁷⁴ und die vorhandene oder benötigte Ladeinfrastruktur bewertet werden.²⁷⁵

²⁷³ Kagerbauer und Heilig, „Abschlussbericht „eVerkehrsraum Stuttgart““.

²⁷⁴ Michael Heilig, Till Gnann, Patrick Plötz, Nicolai Mallig, Lars Briem, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Do plug-in electric vehicles cause a change in travel behavior?“ In *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, hrsg. von EVS30 (2017).

²⁷⁵ Michael Heilig, Patrick Plötz, Tamer Soylu, Lars Briem, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Assessment of fast charging station locations - an integrated model based approach.“ In *15th International Conference on Travel Behavior Research*.

4.2.1.4 Schlussfolgerung

Die Integration von Elektromobilität in die Verkehrsplanung und im Speziellen in Verkehrserhebungen und Verkehrsnachfragemodellierung, kann mit einigen Anpassungen und der Verwendung von Modellen, die auf Agentenebene für Personen und Fahrzeuge arbeiten, gut durchgeführt werden. Besonderes Augenmerk ist auf die Abbildung der Charakteristika der Nutzenden/Besitzenden von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, die Eigenschaften der Elektrofahrzeuge vor allem hinsichtlich Reichweite und die zusätzliche Berücksichtigung der Ladevorgänge bzw. Ladeinfrastruktur zu legen. Die Wechselwirkungen zwischen Ziel- und Verkehrsmittelwahl sowie Reichweiten der Fahrzeuge können in der Verkehrsnachfragemodellierung mit kombinierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodellen abgebildet werden. Zur sinnvollen Abbildung der Ladevorgänge sollten längere Erhebungs- und Modellierungszeiträume angesetzt werden, um Variationen im Verkehrsverhalten und Ladestrategien erfassen zu können. Diese sollten mindestens eine Woche betragen – besser noch länger.

Im Vergleich zu Tankvorgängen mit konventionellen Fahrzeugen, die aufgrund der kurzen Dauer oft nicht oder nur mit einer kurzen Einkaufsaktivität zum Zwecke des Tankens abgebildet werden, setzt das Laden voraus, dass die Ladevorgänge während einer Aktivität der Personen durchgeführt werden und sonst keinen weiteren Einschränkungen unterliegt, so dass diese Ladevorgänge nicht explizit in den Aktivitätenplänen der Agenten hinterlegt werden müssen. Allerdings ist es notwendig, die Verfügbarkeiten der LIS mitzubetrachten. Zu überlegen wäre, ob bei Schnellladevorgängen, die je nach Ladebedarf in der Größenordnung von fünf bis ca. 20 Minuten liegen, eine zusätzliche Aktivität „Laden“ in die Aktivitätenpläne der Personen-Agenten zu integrieren ist. Theoretisch ist das möglich, allerdings ist dies vor dem Hintergrund des Aufwands der Integration und des Nutzens zu entscheiden. Da diese Schnellladevorgänge meist für Langstreckenfahrten nötig wären, kann angenommen werden, dass der Ladeprozess einer kurzen Pause innerhalb einer Langstrecke entspricht und die Wirkungen auf das Verkehrsverhalten vernachlässigbar sind.

Für eine detaillierte und (minuten-)genaue Abbildung des Energiebedarfs aufgrund von Elektromobilität ist es i. d. R. notwendig, genaue Modelle zu haben, um Prognosen erstellen zu können. Zur Bewertung und Abschätzung der LIS auf einer abstrakteren Ebene ist es auch möglich, nicht detailliert die Verkehrsnachfrage zu modellieren, sondern Abschätzungen anhand von Mittelwerten und Verteilung der Fahrzeugnutzung und Quelle-Ziel-Relationen sowie der Struktur des Planungsraums durchzuführen. Mögliche Ansätze sind der Literatur zu entnehmen.^{276,277,278}

4.2.2 Fahrzeugsharing (Carsharing, Bikeshaing, ...)

„Sharing is caring“- dieser Slogan bedeutet frei übersetzt, „etwas zu teilen bedeutet sich zu kümmern“ oder „wer sich um andere kümmert, teilt“. Der Ursprung des Teilens wurde geprägt vom Harvard-Ökonomen Martin Weitzman²⁷⁹. Die Kernthese seiner Share Economy war: Wohlstand erhöht sich für alle, je mehr unter allen Marktteilnehmenden geteilt wird (auch Kokonsum = Kollaborativer Konsum)²⁸⁰. Daraus entstand die sogenannte „Sharing Economy“. Darunter versteht man „das systematische Ausleihen von Gegenständen und gegenseitige Bereitstellen von Gegenständen, Räumen und Flächen, anfangs insbesondere durch Privatpersonen und Interessengruppen [später

²⁷⁶ Tamer Soylu, Michael Heilig, Lars Briem, Patrick Plötz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „GIS-based modelling of fast-charging infrastructure at the city-regional level.“ In *International Scientific Conference on Mobility and Transport: Urban Mobility - Shaping the Future Together*.

²⁷⁷ Patrick Plötz, Martin Kagerbauer und Tamer Soylu, „Öffentliche Ladeinfrastruktur in Baden-Württemberg.“ (Fraunhofer Institute for Systems and Innovation; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2016); Gutachten im Auftrag der e-mobil BW GmbH.

²⁷⁸ Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs in den Gemeinden der Metropolregion Rhein-Neckar.“ (08.2018); Gutachten im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar GmbH.

²⁷⁹ Martin L. Weitzman, „The share economy symposium: A reply.“ *Journal of Comparative Economics* 10, Nr. 4 (1986): 469–473.

²⁸⁰ Ebd.

auch durch Unternehmen]. Im Mittelpunkt steht der Gemeinschaftskonsum“. ²⁸¹ Die Idee dahinter ist nicht das Besitzen, im Sinne des Eigentums, sondern das Nutzen von Gegenständen. Der zu teilende Gegenstand wechselt die Besitzenden solange der Gegenstand benötigt wird und verfügbar ist. Als Voraussetzung dafür müssen Eigentümer bzw. Anbieter bereit sein, zu teilen. Sie sind i. d. R. auch für den Betrieb und die Instandsetzung zuständig. Der Teilvorgang wird üblicherweise über digitale Plattformen abgewickelt. Es stehen häufig Unternehmen hinter diesen Plattformen und/oder sind Anbieter der Sharing-Dienstleistungen.

Die Gegenstände des Teilens sind vielfältig und reichen von Wohnen über Garten- und Handwerkergeräte bis hin zu Verkehrsmitteln. Bei den Mobilitätsdienstleistungen im Bereich Fahrzeugsharing sind Carsharing, Bikesharing und ggf. noch E-Scootersharing die wichtigsten Vertreter. Es existieren auch noch weitere, wie beispielsweise Rollersharing, Lastenfahrradsharing u.ä. Alle Mobilitätsdienstleistungen haben gemeinsam das Ziel, Alternativen zu privat besessenen Fahrzeugen zu bieten, so dass die Mobilität der Menschen mit allen Verkehrsmitteln auch ohne Fahrzeugeigentum gewährleistet werden kann.

Gerade im Bereich des Carsharings zeigen Studien, dass Menschen, die keinen Pkw besitzen, umweltfreundlicher unterwegs sind. ²⁸² Carsharing-Fahrzeuge sind im Durchschnitt moderner, kleiner und energieeffizienter als der übrige Pkw-Bestand. Carsharing-Angebote haben den Vorteil für die Personen, die nur in seltenen Situationen ein Fahrzeug benötigen, diese über Sharingangebote zur Verfügung zu haben. Diese Personen haben nicht die Notwendigkeit,

²⁸¹ Oliver Bendel, „Definition: Sharing Economy.“ *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*, 7. Januar 2019. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/sharing-economy-53876/version-368822> (letzter Zugriff: 4. September 2020).

²⁸² „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage.“ (Umweltbundesamt, 2015). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umweltbewusstsein_in_deutschland.pdf (letzter Zugriff: 24. Januar 2015).

einen Pkw zu besitzen. Der Pkw-Besitz in der Bevölkerung ist/wird somit geringer und die alltägliche Mobilität wird umweltfreundlicher zurückgelegt. Verschiedene Studien zeigen, dass Carsharing den privaten Fahrzeugbesitz reduziert. Je nach Studie werden einige wenige bis zu 20 private Fahrzeuge durch ein Carsharing-Fahrzeug ersetzt. Das hängt von der Art des Carsharings (free-floating oder stationsbasiert) und den räumlichen Gegebenheiten ab. Stationsbasierte Systeme haben höhere Effekte private Pkw zu ersetzen,²⁸³ während Free-Floating-Angebote eine geringe oder manchmal auch negative Wirkung²⁸⁴ auf Verkehrsaufkommen und Verkehrsmenge im Pkw-Verkehr haben.²⁸⁵ Wenn der private Pkw-Besitz durch Carsharing reduziert wird, reduziert sich auch die Nutzung des Pkw. Durch eine geringe, aber vorhandene Hürde im Zugang zum Carsharing-Angebot wird nicht per se immer das Auto für jeden Weg verwendet. Bikesharing und andere Fahrzeugsharing-Angebote wirken tendenziell weniger direkt auf den Pkw-Besitz, sie bieten aber eine weitere Option, in bestimmten Situationen auch ohne (privates) Fahrzeug oft in Kombination mit dem ÖV nachhaltiger unterwegs zu sein.²⁸⁶ Durch vor allem One-Way-Angebote im Fahrzeugsharing besteht die Gefahr einer Substitution von Wegen mit dem ÖV. Verschiedenen Studien zeigen aber,

²⁸³ Andrea Chicco, Marco Diana, Johannes Rodenbach, Jeffrey Matthijs, Gunnar Nehrke, Michael Ziesak und Marko Horvat, „Mobility scenarios of car sharing: gap analysis and impacts in the cities of tomorrow.“. STARS - Shared mobility opporTunities And challenges foR European citieS Deliverable D5.1 (POLITO Research Group, 2017).

²⁸⁴ Cecilia Jakobsson, Erika Ramos, Andrea Chicco, Marco Diana, Stefano Beccaria, Massimiliano Melis, Johannes Rondenbach, Jeffrey Matthis, Gunnar Nehrke und Willi Loose, „The influence of socioeconomic factors in the diffusion of car sharing.“ (2017).

²⁸⁵ Friederike Hülsmann, Julia Wiepking und Wibke Zimmer, „share – Wissenschaftliche Begleitforschung zu car2go mit batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen: Forschung zum free-floating Carsharing.“ (2018).

²⁸⁶ Klaus Bogenberger und Stefan Schmöller, „Sharing-Systeme als Teil einer nachhaltigen Mobilität.“ *Politische Studien* 2018, Nr. 478 (2018): 28–39.

dass im Allgemeinen die positiven Effekte des Fahrzeugsharings überwiegen und zu einer Stärkung des Umweltverbundes beitragen.^{287,288}

In dieser Arbeit wird Fahrzeugsharing als Sammelbegriff für das Teilen verschiedener Fahrzeuge, wie beispielweise Autos, Fahrräder, (Tret-)Roller etc. verwendet.

4.2.2.1 Definition

4.2.2.1.1 Carsharing

Laut FGSV ist „Carsharing [...] die organisierte, gemeinschaftliche Nutzung von Kraftfahrzeugen, die vom Anbieter gehalten werden. Die Fahrzeuge stehen einer unbestimmten Anzahl von Fahrerinnen und Fahrern nacheinander zur Nutzung zur Verfügung. Die Nutzenden schließen zu Beginn einen Rahmenvertrag mit dem Anbieter ab und weisen ihre Fahrerlaubnis nach. Danach können sie die Fahrzeuge rund um die Uhr buchen und selbständig nutzen. Die unterschiedlichen Nutzungskosten schließen die Energie- und Kraftstoffkosten ein und sind in Zeit- und/oder Kilometerkosten aufgeteilt“²⁸⁹.

Es wird unterschieden zwischen

- stationsbasiertem Carsharing und
- free-floating Carsharing.

²⁸⁷ Johanna Kopp, Regine Gerike und Kay W. Axhausen, „Do sharing people behave differently? An empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing members.“ *Transportation* 42, Nr. 3 (2015): 449–469.

²⁸⁸ Lisa Ruhrort, *Transformation im Verkehr: Erfolgsbedingungen für verkehrspolitische Schlüsselmaßnahmen*. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung Band 44 (Wiesbaden: Springer VS, 2019).

²⁸⁹ Martin Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3: Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte.“ (2020). <https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).

Im Gegensatz dazu steht die Autovermietung, bei der Leihwagen eines Unternehmens kostenpflichtig vermietet werden. Autovermietungen arbeiten mit Einzelverträgen und das Angebot ist nicht kleinräumig flächendeckend und wohnungsnah, sondern an zentralen Punkten, und sie sind deshalb nicht klassische Carsharing-Anbieter. Bei einer weiteren Form, dem Peer-to-Peer-Carsharing (privates Autoteilen), werden Privatfahrzeuge Autosuchenden meist über eine Internetplattform vermittelt. Die Fahrzeugübernahme erfolgt von privat zu privat und wird in der Regel nicht flächendeckend angeboten.

„Beim stationsbasierten Carsharing stehen die Fahrzeuge auf reservierten Stellplätzen, die vom Anbieter auf Privatflächen angemietet werden, oder auf unternehmensspezifisch zugeordneten, reservierten Stellplätzen im öffentlichen Straßenraum, die von der Kommune per Sondernutzung genehmigt werden. Dort wird das Fahrzeug abgeholt und nach der Nutzung wieder auf denselben Stellplatz zurückgebracht. In Einzelfällen wird anstelle eines bestimmten Stellplatzes ein eng umgrenztes Gebiet im Straßenraum als „Station“ oder „Homezone“ beschrieben. Idealerweise erfolgt die Bereitstellung der Fahrzeuge möglichst wohnortnah, denn dann ist die Konkurrenzfähigkeit mit dem privaten Pkw am höchsten. Stationsbasierte Carsharing-Fahrzeuge können weit im Voraus reserviert werden und stehen dann zuverlässig am gebuchten Ort zur Verfügung. Dieser Angebotszuschnitt ermöglicht es, sowohl spontane, als auch lange im Voraus geplante Fahrten durchzuführen.

Beim free-floating Carsharing sind die Fahrzeuge beliebig in einem definierten Geschäftsgebiet verteilt. Dieses umfasst in der Regel den inneren Stadtbereich einer Großstadt. Der Vornutzende stellt das Fahrzeug am Ende seiner Mietdauer auf einem freien Parkplatz am Straßenrand oder auf angeordneten allgemeinen Carsharing-Stellplätzen nach Carsharinggesetz (CsgG) innerhalb des Geschäftsgebietes ab. Dadurch werden Einwegfahrten innerhalb des Geschäftsgebietes ermöglicht. Die Nachnutzenden finden freie Fahrzeuge per App auf einem mobilen Endgerät. Die Fahrzeuge können nicht vorab reserviert werden. Per App identifizierte freie Fahrzeuge können jedoch für einen Zeitraum bei den derzeitigen Angeboten von höchstens 30 Minuten kostenfrei festgehalten werden, bis Nutzende das Fahrzeug erreicht haben. Dieser

Angebotszuschnitt und die gegenüber dem stationsbasierten Carsharing höheren Preise sorgen dafür, dass free-floating Carsharing vor allem für spontane, innerstädtische Kurzfahrten genutzt wird.“²⁹⁰

Teilweise existieren auch Systeme, die stationsbasierte und free-floating Angebote kombinieren. Während beim stationsbasierten Carsharing meist verschiedene Fahrzeugtypen vom Kleinwagen bis Transporter angeboten werden, sind free-floating Fahrzeuge oft aus ähnlichen Fahrzeugsegmenten, die tendenziell in Großstädten über 500.000 Einwohnern zur Verfügung stehen, da sie auf Grund von Angebot und Nachfrage nur dort sinnvoll benutzt werden können. Stationsbasierte Carsharing-Systeme existieren in allen Siedlungsstrukturen.

Die Steigerungsraten im Carsharing-Bereich sind sowohl bei den Fahrzeugen als auch bei der Kundschaft in den letzten Jahren groß (vgl. Abbildung 4.10), jedoch bezogen auf die Gesamtanzahl der Fahrzeuge von 47,7 Mio. Pkw zum 01.01.2020 in Deutschland sehr gering. Die höhere Kundenanzahl im free-floating Carsharing im Vergleich zum stationsbasierten liegt daran, dass bei den meisten Systemen im free-floating Bereich viele Kunden angemeldet sind, die die Dienstleistung nicht oder nur selten in Anspruch nehmen, da kein monatlicher Beitrag zu entrichten ist. Bei den meisten stationsbasierten Dienstleistungen sind monatliche Teilnahmebeiträge zu zahlen. Die Nutzungen der Fahrzeuge sind beim stationsbasierten Carsharing i. d. R. zeit- und kilometerabhängig, beim free-floating Carsharing meist nur zeitabhängig und in der Regel pro Nutzung teurer. Die wichtigsten Anbieter in Deutschland zeigt Abbildung 4.9.

²⁹⁰ Kagerbauer und et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

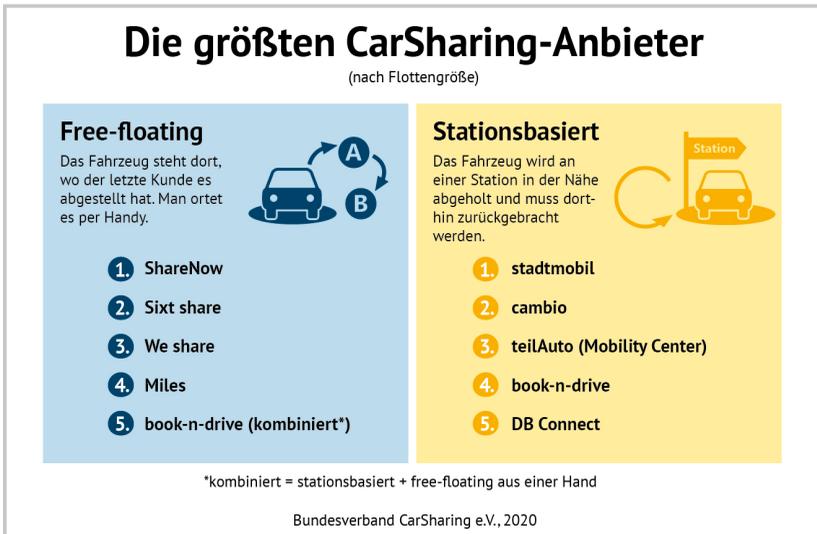


Abbildung 4.9: Anzahl Carsharing-Fahrzeuge und Carsharing-Kunden (Stand 2020)²⁹¹

Carsharing ist im Jahr 2020 in über 850 Orten in Deutschland verfügbar. Durch den Zusammenschluss von DriveNow (BMW) und Car2Go (Daimler) im Jahr 2020 zu ShareNow hat sich der Markt etwas konsolidiert.

²⁹¹ Bundesverband CarSharing e.V., „CarSharing in Deutschland.“.
<https://www.carsharing.de/presse/fotos/zahlen-daten/anzahl-carsharing-fahrzeuge-carsharing-kunden> (letzter Zugriff: 3. Juli 2020).

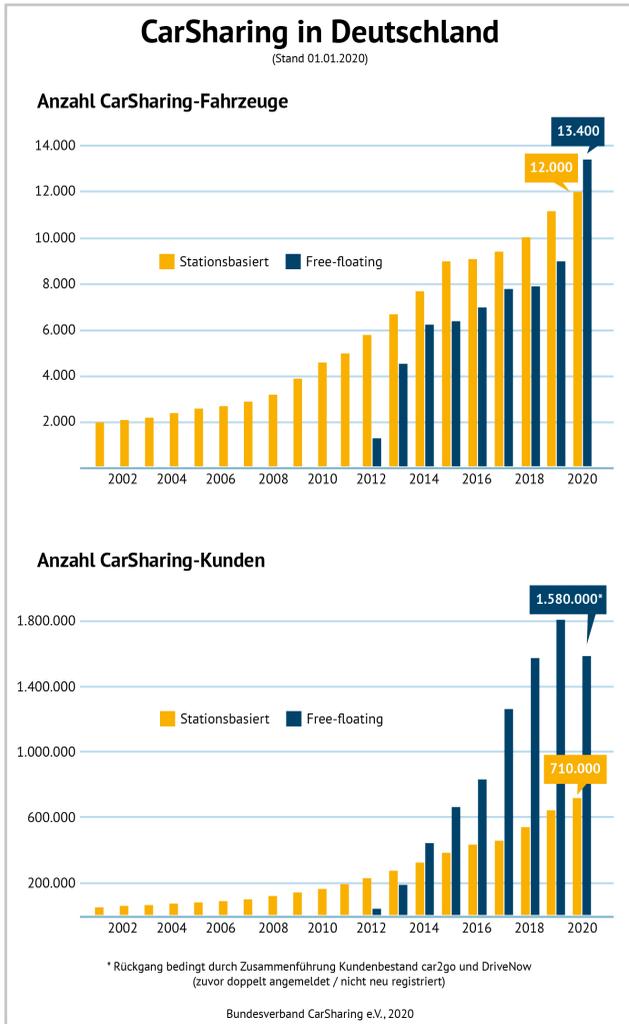


Abbildung 4.10: Anzahl Carsharing-Fahrzeuge und Carsharing-Kunden bis zum Jahr 2020²⁹²

²⁹² Bundesverband CarSharing e.V., „CarSharing in Deutschland“.

Das Städteranking mit der größten Carsharing-Flotte in Deutschland führt Karlsruhe mit 3,23 Fahrzeugen je 1.000 Einwohner (Stand 2020) an. Den geringen Anteil der Carsharing-Fahrzeuge im Vergleich zu privat besessenen Fahrzeugen zeigt die Anzahl der in Karlsruhe insgesamt zugelassenen Pkw. Zum Stand 01.01.2020 waren in Karlsruhe 370 privat zugelassene Pkw pro 1.000 Einwohner angemeldet.²⁹³ Die weiteren Carsharing-Flottengrößen in anderen Städten sind in Abbildung 4.11 zusammengefasst.

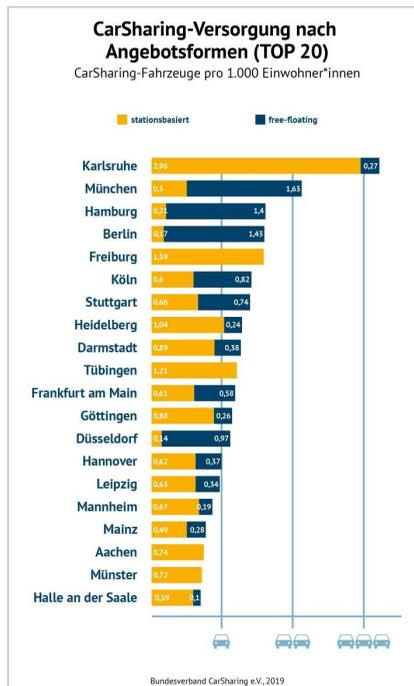


Abbildung 4.11: Carsharing Städteranking²⁹⁴

²⁹³ Agora Verkehrswende, „Städte in Bewegung: Zahlen, Daten, Fakten zur Mobilität in 35 deutschen Städten.“ (2020).

²⁹⁴ Bundesverband CarSharing e.V., „CarSharing in Deutschland“.

Bei stationsbasierten Carsharing-Dienstleistungen kann der Service auch mit einer geringen Anzahl von Fahrzeugen aufrechterhalten werden, da die Fahrzeuge einen festen Parkplatz haben, an dem sie, sofern sie nicht entliehen sind, immer verfügbar sind und dort auch wieder zurückgebracht werden müssen. Beim free-floating System hingegen ist es zwingend notwendig, relativ viele Fahrzeuge im Operationsgebiet verteilt zu haben, um eine ausreichende Bedienqualität und Fahrzeugverfügbarkeit zu garantieren. Stationsbasierte One-Way-Carsharing-Angebote existieren i. d. R. nicht, da zu viele Parkplätze vorgehalten werden müssten und dies daher nicht ökonomisch ist.

4.2.2.1.2 Bikesharing

Laut FGSV ist „Bikesharing [] eine Form der Fahrradvermietung, bei der die Mieträder als kommerzielles Angebot zuvor registrierten Kunden zur Verfügung stehen. Es sind in der Regel einwegfähige, im öffentlichen Raum zugängliche Selbstbedienungssysteme in einem größeren Netz, die für unterschiedliche Zielgruppen wie Pendler, Bewohner oder Touristen Fahrräder für die Kurzzeitmiete anbieten.“²⁹⁵

Die Bikesharing-Systeme werden meist von Verkehrsverbänden, Unternehmen, Kommunen und Kommunalverbänden initiiert und von anderen Unternehmen (z. B. nextbike oder Call-a-Bike) betrieben. Oft werden sie auch von den Initiatoren, vornehmlich Verkehrsverbände, für Werbezwecke gebrandet. Nutzende stehen in einem Vertragsverhältnis mit dem Anbieter durch Anmeldung und können die Räder jederzeit und selbständig ausleihen. Die Kosten dafür sind unterschiedlich und variieren von Freifahrten für bis zu 30 Minuten bis zu zeitabhängiger Bepreisung. Es wird zwischen drei grundsätzlich verschiedenen Systemen unterschieden:

Die stationsbasierten Leihräder stehen an öffentlichen Stationen den Nutzenden zur Verfügung und können an allen Stationen im Operationsgebiet wieder

²⁹⁵ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

zurückgegeben werden. Im Gegensatz zum stationsbasierten Carsharing sind One-Way-Fahrten möglich. Die Bikesharing-Fahrzeuge werden auch hauptsächlich so genutzt. Somit ist es sinnvoll, viele Stationen in dem Operationsgebiet bereitzustellen, um den Nutzenden ein praktikables System ohne lange Fußwege verfügbar zu machen. Empfohlene Abstände zwischen den Stationen sind 300 bis 500 Meter²⁹⁶. An den Stationen befinden sich i. d. R. Terminals, an denen die Räder entliehen werden können. Zusätzlich bieten Anbieter oft Apps an, mit denen die Registrierung der Teilnehmenden und die Suche, Entleihe, Rückgabe und Abrechnung der Räder organisiert wird.

Bei free-floating Leihrad-Systemen können die Räder an beliebigen Stellen innerhalb eines Bediengebiets entliehen und zurückgegeben werden. Die Organisation der Leihvorgänge und aller weiteren zur Buchung notwendigen Informationen und Schritte wird ausschließlich über eine App abgewickelt. Ähnlich wie beim free-floating Carsharing sind auch eine gewisse Anzahl an Rädern zur Verfügung zu stellen, um ein nutzerfreundliches System anbieten zu können. Empfohlen werden hier 3 bis 8 Fahrräder je 1.000 Einwohner.

Das dritte System ist ein Hybridsystem aus beiden und kombiniert die Eigenschaften von stationsbasierten und free-floating Bikesharing-Angeboten.

Die Anzahl der Leihräder erhöht sich deutschland- und weltweit kontinuierlich, ist aber schwer zu fassen, da diese sich sehr schnell verändert. Eine Schätzung von 2018 auf Basis von verschiedenen Quellen ist in Abbildung 4.12 zusammengefasst.

²⁹⁶ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin und Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumforschung - BBSR-, Bonn, Hrsg., *Innovative öffentliche Fahrradverleihsysteme. Modellprojekte am Start*. Sonderveröffentlichung (Deutschland, Berlin, 2012). <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/124912>.

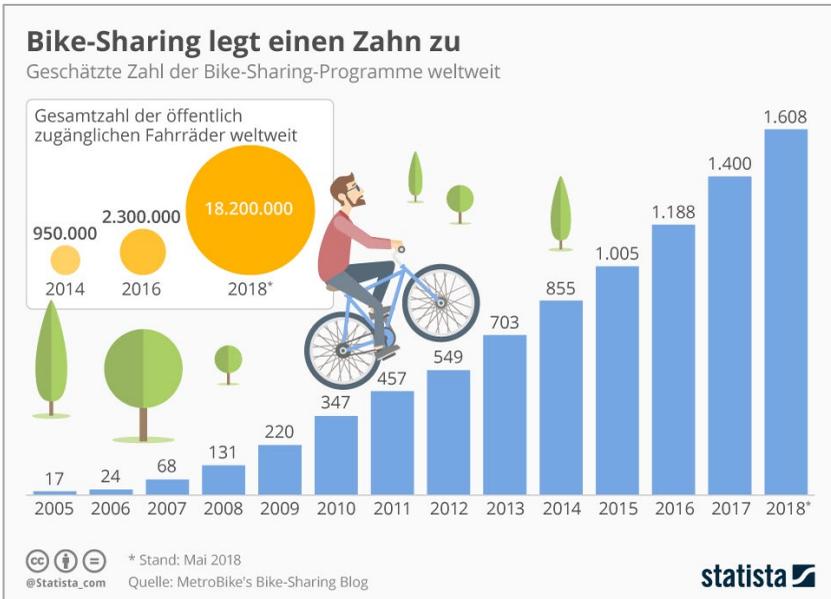


Abbildung 4.12: Daten zu den Bikesharing-Programmen in Deutschland²⁹⁷

4.2.2.1.3 Weitere Fahrzeugsharing-Angebote

Weitere Systeme sind Sharing-Dienstleistungen u. a. mit elektrischen Kleinstfahrzeugen, wie E-Tretroller (auch E-Scooter genannt), oder E-Roller (EG-Fahrzeugklasse L1e und L3e). Diese Systeme werden hauptsächlich für One-Way-Fahrten genutzt und funktionieren analog zu free-floating Bikesharing-Systemen. Zielgruppen sind Pendelnde, Ortsansässige und Touristen, und die Abrechnung erfolgt i. d. R. zeitbasiert.

Am meisten verbreitet unter diesen weiteren Systemen sind die E-Tretroller. Auch hier ist eine große Dynamik festzustellen und viele Anbieter befinden

²⁹⁷ Patrick Wagner, „Bike-Sharing legt einen Zahn zu.“
<https://de.statista.com/infografik/14552/anzahl-der-bike-sharer/> (letzter Zugriff: 5. Juli 2020).

sich derzeit am Markt. Im September 2019 gab es in Deutschland über 125.000 E-Tretroller in Verleihsystemen.²⁹⁸ Abbildung 4.13 zeigt eine Aufstellung nach Städten mit den meisten E-Tretrollern (E-Scooter) in Deutschland. Zudem ist die Anzahl von E-Rollern, von denen auch viele im Sharing-Bereich eingesetzt werden, im Jahr 2019 auf 95.000 Fahrzeuge gestiegen, was einer Steigerung von 44% gegenüber dem Jahr 2018 entspricht.

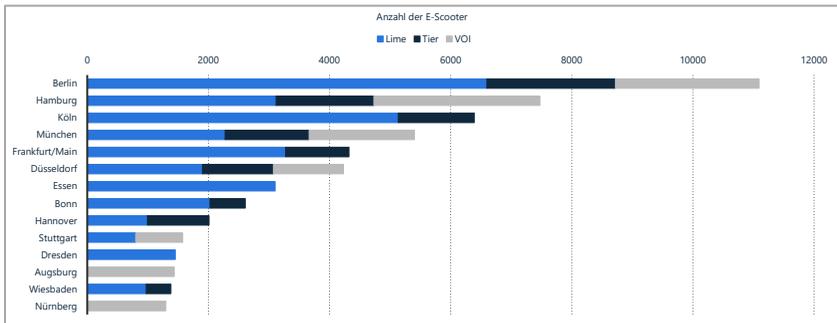


Abbildung 4.13: Anzahl der E-Scooter in ausgewählten deutschen Städten 2019 nach Anbietern²⁹⁹

All die genannten Sharing-Systeme haben gemeinsam, dass die Fahrzeuge nicht privat besessen werden und somit der Zugang zu den Fahrzeugen eingeschränkt und nur nach Verfügbarkeit der Fahrzeuge möglich ist. Bei der Integration dieser Sharing-Dienstleistungen in die Verkehrsplanung sind folgende Spezifika zu berücksichtigen.

4.2.2.2 Anforderungen von Fahrzeugsharing an die Planungswerkzeuge

Die Nutzung von Sharing-Fahrzeugen setzt voraus, dass sich die Nutzenden dieser Mobilitätsdienstleistung vorab beim Anbieter anmelden, um zum

²⁹⁸ Andreas Ahlswede, „Anzahl der E-Scooter in Deutschland nach ausgewählten Städten im Jahr 2019.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1031136/umfrage/anzahl-der-e-scooter-in-deutschland-nach-ausgewaehlten-staedten/> (letzter Zugriff: 5. Juli 2020).

²⁹⁹ Ebd.

einen die Buchungs- und Abrechnungsmodalität zu organisieren, und zum anderen die Fahrerlaubnis und -tauglichkeit sicherzustellen. Daraus folgt, dass nicht automatisch jede Person Zugang zu diesen Sharing-Systemen hat. Die Nutzenden dieser Systeme sind in ihrer Soziodemografie und Verteilung unterschiedlich zur Grundgesamtheit der Bevölkerung. Dies gilt zwar grundsätzlich für alle Sharing-Systeme, aber auch innerhalb der Sharing-Systeme gibt es Unterschiede. Auch innerhalb von Carsharing zeigen Studien, dass sich die Struktur der Menschen mit Zugang zu den Systemen und die Nutzungen unterscheiden. Ein Beispiel für die Region Stuttgart aus dem Jahr 2016 zeigt dies in Abbildung 4.14. Stadtmobil und Flinkster sind in Stuttgart stationsbasierte Carsharing-Anbieter und Car2Go free-floating Carsharing-Anbieter. Zum einen sind Menschen mit Zugang zu Carsharing oft bei mehreren Systemen angemeldet, vor allem um größtmögliche Flexibilität zu haben. Zum anderen sind Nutzende von free-floating Carsharing tendenziell etwas jünger als die von stationsbasiertem Carsharing. Die Struktur der Kundschaft von zwei unterschiedlichen stationsbasierten Carsharing-Anbietern (hier im Beispiel der Region Stuttgart mit Stadtmobil und Flinkster) ist hinsichtlich Alter und auch weiterer Strukturgrößen ähnlich. Zudem sind Carsharing-Nutzende eher gebildeter als die Grundgesamtheit.³⁰⁰

³⁰⁰ Konstantin Krauß, Aline Scherrer, Uta Schneider, Johannes Schuler und Claus Doll, *Sharing Economy in der Mobilität - Potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland: Working paper* (2020).

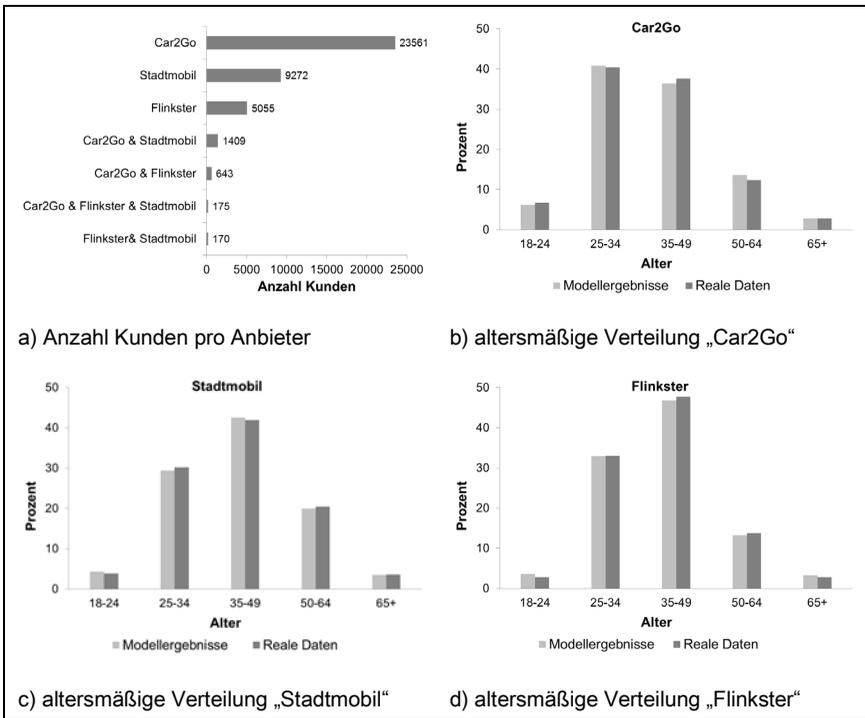


Abbildung 4.14: Struktur der Carsharing-Kundschaft von stationsbasierten und free-floating Carsharing-Systemen³⁰¹

Darüber hinaus zeigt Abbildung 4.15, dass auch die Nutzung der Carsharing-Systeme unterschiedlich ist. Während die Buchungen von stationsbasierten Carsharing-Fahrzeugen für wesentlich längere Zeiträume erfolgen und innerhalb der Buchungsdauer weitere Strecken zurückgelegt werden, werden free-floating Systeme für kürzere Wege benutzt.

³⁰¹ Martin Kagerbauer, Michael Heilig, Nicolai Mallig und Peter Vortisch, „Carsharing - ein neues Verkehrssystem!“ In *Nationale und internationale Trends in der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, hrsg. von Heike Proff und Thomas Martin Fojcik, 385–402 (Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016).

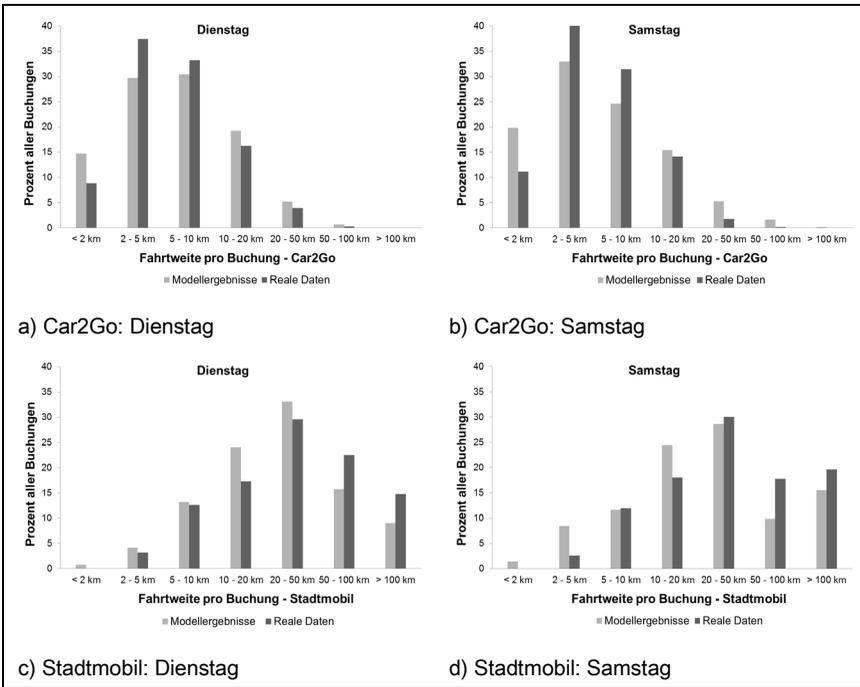


Abbildung 4.15: Weglängenverteilung pro Buchung von stationsbasierten und free-floating Carsharing-Systemen³⁰²

Auswertungen der Bikesharing-Anbieter nextbike und Call a Bike für verschiedene Städte zeigen, dass deren Kundschaft eher männlich (bis zu 75%) und meistens zwischen 16 und 34 Jahren (zwischen 60% und, in Einzelfällen, 90%) sind und vielfach studieren.³⁰³ Bei den E-Tretrollern zeigt sich ein ähnliches Bild. Die meisten Nutzenden sind tendenziell jünger und nutzen die Sharing-

³⁰² Martin Kagerbauer, Michael Heilig, Nicolai Mallig und Peter Vortisch, „Carsharing - ein neues Verkehrssystem!“ In *Nationale und internationale Trends in der Mobilität*.

³⁰³ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

Fahrzeuge meist für Freizeitfahrten.³⁰⁴ Zusammengefasst haben Sharing-Nutzende, unterschieden nach verschiedenen Sharing-Angeboten, spezielle Eigenschaften und Charakteristika, die für eine realistische Verkehrsplanung von Bedeutung sind.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Berücksichtigung der Eigenschaften der Nutzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status) und deren Kenntnis sowohl des Angebots von Sharing-Verkehrsmitteln, als auch des Zugangs zu den individuell verfügbaren Angeboten (z. B. Standort Carsharing-Station, App für die Anmeldung).

In Kapitel 4.2.2.1 wurden die Charakteristika je nach Sharing-System beschrieben. Die Eigenschaften des Systems (stationsbasiert, on-way oder free-floating) sind bei den Planungen zu berücksichtigen, sofern die Sharing-Verkehrsmittel dort integriert sind.³⁰⁵ Bei den Eigenschaften der Fahrzeuge ist zum einen angebotsseitig zu berücksichtigen, welchen Standort die Fahrzeuge zu den jeweiligen Zeitpunkten haben, welche Gebiete sie erreichen können oder ob sie wieder an denselben Standort zurückzubringen sind. Auch die Art der Fahrzeuge (klein, mittel, groß) und die Anzahl der Fahrzeuge an einer Station oder in einem Gebiet sind einzubeziehen. Für die Nutzenden ist beispielweise nicht die Station selbst entscheidend für eine Nutzung, sondern die Verfügbarkeit der Fahrzeuge (vgl. Abbildung 4.16).

³⁰⁴ Konstantin Krauß et al., *Sharing Economy in der Mobilität - Potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland*.

³⁰⁵ Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Carsharing - ein neues Verkehrssystem.“ *Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft*, 04/2015 (2015): 20–26.

4 Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung

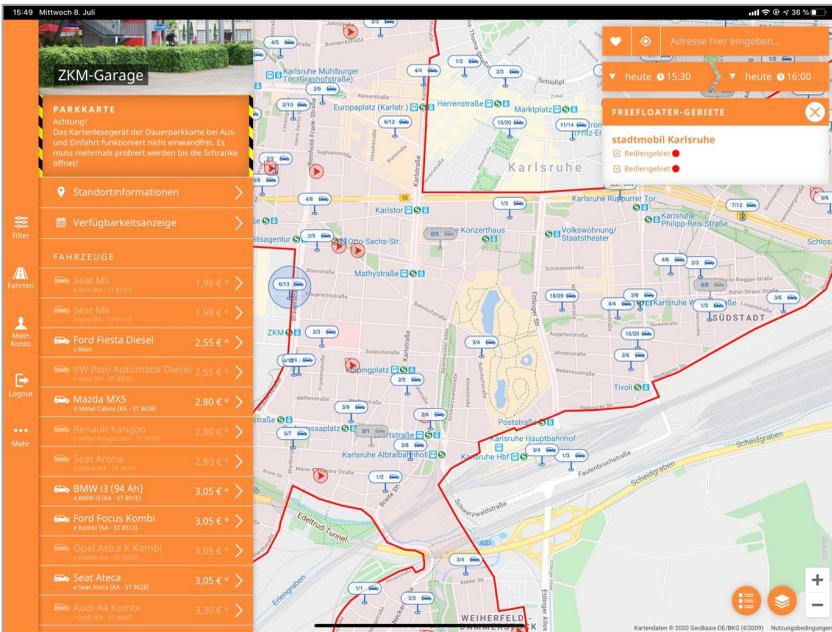


Abbildung 4.16: Screenshot der Buchungsplattform (App) von Stadtmobil in Karlsruhe³⁰⁶

Dieses zur Verfügung stehende Verkehrsangebot durch Sharing-Fahrzeuge mit den systemischen Eigenschaften bedingt die Nachfrage, da mit bestimmten Sharing-Fahrzeugen bestimmte Ziele, zum Beispiel außerhalb eines Operationsgebiets des Dienstes, nicht erreicht werden können oder die Fahrzeuge wieder zurückgebracht werden müssen. Letzteres bedeutet auch, dass die Aktivitätenfolge einer Person dazu passen muss.

³⁰⁶ Die Abbildung zeigt: Verfügbare Fahrzeuge an der Station ZKM (links), Lage und Anzahl der stationsbasierten Carsharing-Fahrzeuge (blau), Ort der free-floating Fahrzeuge (rote Kreise) und Operationsgebiet der free-floating Fahrzeuge (rotes Polygon)

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration von Eigenschaften der Sharing-Fahrzeuge (z. B. Standorte) und des Sharing-Systems (stationsbasiert, free-floating, hybride Systeme).

Sharing-Fahrzeuge werden i. d. R. nicht täglich oder mehrmals wöchentlich genutzt. Ihre Nutzung ist eher ein selteneres Ereignis. Grundsätzlich hängt das jedoch vom Sharing-Fahrzeug an sich ab. E-Scooter oder Leihräder, die eher für kürzere Fahrten genutzt werden und deshalb günstiger sind, werden von einzelnen Personen öfter geliehen als free-floating oder stationsbasierte Carsharing-Fahrzeuge. In Karlsruhe leiht ein Carsharing-Mitglied im Durchschnitt 17,5 Carsharing-Fahrzeuge pro Jahr aus.³⁰⁷ Das bedeutet, dass im Durchschnitt ca. alle drei Wochen ein stationsbasiertes Carsharing-Fahrzeug von einem Mitglied gefahren wird. Berücksichtigt man die Streuung, so gibt es neben den Mehrnutzenden auch Nutzende, die sie weitaus weniger oft ausleihen. Zudem zeigen Auswertungen der MiD (vgl. Abbildung 4.17), dass die Nutzergruppen über ganz Deutschland gesehen, einen sehr geringen Anteil haben.

³⁰⁷ Anna Reiffer, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*.

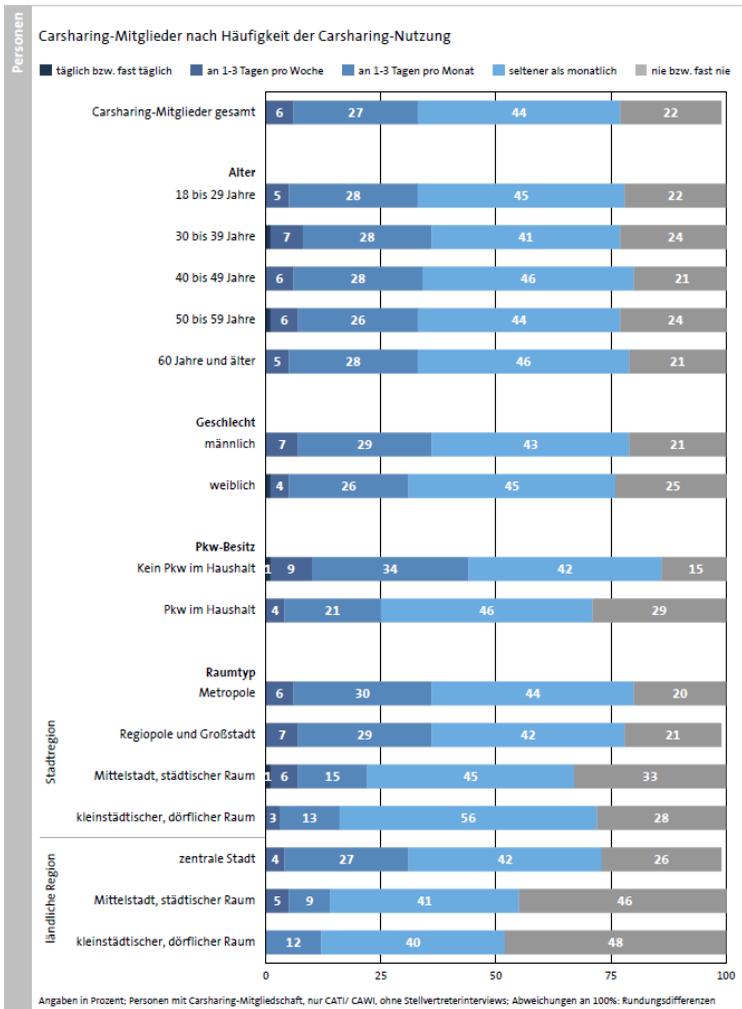


Abbildung 4.17: Nutzungshäufigkeiten von Carsharing-Fahrzeugen durch Carsharing-Nutzer³⁰⁸

³⁰⁸ Nobis und Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“

Abbildung 4.18 zeigt zudem, dass Carsharing-Fahrzeuge in Deutschland ein selten genutztes Verkehrsmittel sind.

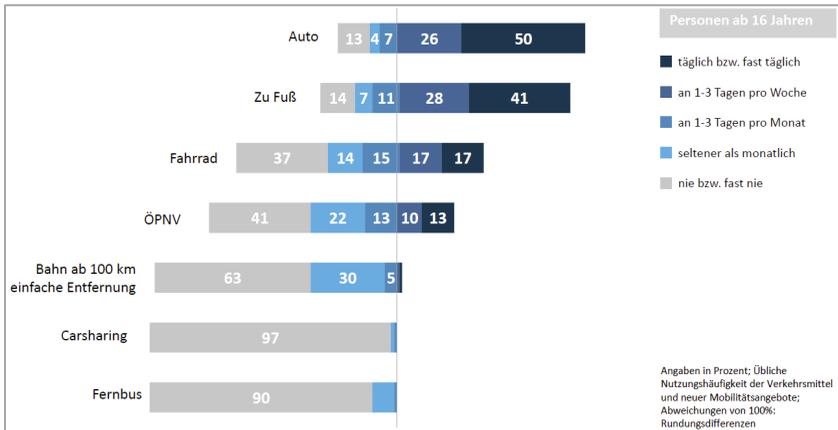


Abbildung 4.18: Nutzungshäufigkeiten von Carsharing-Fahrzeugen in Deutschland³⁰⁹

Grundsätzlich gilt aber, dass Sharing-Fahrzeuge selten benutzt werden, so dass auch bei deren Berücksichtigung in der Verkehrsplanung längere Zeiträume betrachtet werden müssen, um die gesamte Breite der Nutzenden und der Nutzung analysieren und abbilden zu können.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Für die Berücksichtigung von Fahrzeugsharing sind längere Untersuchungszeiträume notwendig.

Durch Fahrzeugsharing wird multi- und intermodales Verkehrsverhalten begünstigt. Zum einen steigt durch die vielfältige Nutzung von unterschiedlichen Verkehrsmitteln multimodales Verkehrsverhalten, zum anderen steigt aber auch intermodales Verhalten, da Sharing-Verkehrsmittel Zugang zu anderen Verkehrsmitteln ermöglichen, wie z. B. mit dem E-Scooter zum ÖV, aber auch

³⁰⁹ infas und DLR, „Mobilität in Deutschland: Multimodalität und Carsharing der Verkehrsmittelmix ist entscheidend.“ (INFRAS; DLR, 2019).

der Zugang zu den Sharing-Fahrzeugen notwendig ist, wie z. B. mit dem privaten Fahrrad zur Carsharing-Station. Diese Folgen von Fahrzeugsharing-Systemen auf die Verkehrsplanungswerkzeuge werden in Kap. 4.3 beschrieben.

4.2.2.3 Anpassung der Planungswerkzeuge in Folge von Fahrzeugsharing

Die in Kap. 4.2.2.2 dargestellten und im Folgenden zusammengestellten Auswirkungen auf die Verkehrsplanungswerkzeuge durch die Integration von Fahrzeugsharing sind:

- Berücksichtigung der Eigenschaften der Nutzenden und deren Kenntnis sowohl des Angebots von Sharing-Verkehrsmitteln als auch des Zugangs zu den individuell verfügbaren Angeboten.
- Integration von Eigenschaften der Sharing-Fahrzeuge (z. B. Standorte) und des Sharing-Systems (stationsbasiert, free-floating, hybride Systeme).
- Notwendigkeit längere Untersuchungszeiträume für die Berücksichtigung von Fahrzeugsharing.

Die Integration von Fahrzeugsharing in die Verkehrsnachfrageplanung erfordert Anpassungen von Erhebungen und Modellen.

4.2.2.3.1 Erhebung

Es ist notwendig, Informationen über die Nutzenden zu bekommen, um eine Datengrundlage zur Modellierung der Nutzenden und der Nutzung der Sharing-Fahrzeuge zu schaffen. Mit wenig Aufwand gelingt dies durch Nutzung vorhandener Daten der Anbieter der Sharing-Dienstleistung. Je nach Anbieter und Dienst liegen jedoch unterschiedlich detaillierte Daten hinsichtlich Soziodemografie etc. und Nutzung vor. Im Idealfall können von den Anbietern anonymisierte, zu Datenschutzbestimmungen konforme Daten zur Verfügung gestellt werden. Somit können detailliert Auswertungen zur Struktur der Nutzenden und der Nutzung durchgeführt werden, die auch für deren

Modellierung verwendet werden können.^{310,311,312} Die Daten der Anbieter können je nach Sharing-System in Umfang und Qualität verschieden sein. Bei Carsharing-Anbietern liegen i. d. R. wegen der Prüfung der Fahrerlaubnis und der Erhebung einer Grundgebühr mehr Daten vor, als z. B. bei E-Scooter- oder Leihrad-Anbietern, die oft nur eine Mail-Adresse und Daten für die Abrechnung haben. Im Falle nicht und nur unzureichend vorliegender Daten der Anbieter besteht dann nur die Möglichkeit einer Erhebung dieser Daten. Es handelt sich bei den Nutzenden von neuen Mobilitätsformen in der Regel um eine geringe Anzahl an Menschen, so dass bei einer „Standard“-Haushaltsbefragung mit einer Stichprobenziehung über das Einwohnermelderegister die Stichprobe sehr groß sein müsste, um genügend Nutzende zu erhalten. Dies würde zu einem sehr großen finanziellen Aufwand führen. Um Befragungen im Bereich neuer Mobilitätsformen ökonomisch und effektiv durchzuführen, wird die Stichprobe über Nutzenden-Datenbanken der Anbieter gezogen oder über Social-Media-Kanäle, wie beispielsweise Facebook etc.³¹³ generiert. Für die Einordnung dieser Daten auf die Grundgesamtheit sind anschließend Hochrechnungen oder Gewichtungen durchzuführen. Mit Hilfe dieser Erhebungen können Daten zur Struktur (Soziodemografie, Raumstruktur, Verkehrsmittelverfügbarkeiten etc.) der Nutzenden ermittelt werden.

Neben den Strukturdaten der Nutzenden sind auch Daten zur Nutzung notwendig, um Verkehrsnachfragemodelle zu erstellen. Sofern keine Nutzungsdaten von den Anbietern, die mit Daten der Nutzenden kombiniert wurden, erhältlich sind, muss auf Befragungen von Nutzenden der Sharing-Fahrzeuge

³¹⁰ Anna Reiffer, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*.

³¹¹ Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Indicators of Station-Based Carsharing Usage: Longitudinal and Spatial Analyses“.

³¹² Reiffer et al., „Usage Patterns of Free-floating Carsharing Members“.

³¹³ Michael Heilig, Martin Kagerbauer, Charles-Elie Allier und Peter Vortisch, „Recruiting participants for user-behavior surveys of free-floating carsharing using Facebook – a case-study.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*.

zurückgegriffen werden. Eine Möglichkeit ist die Befragung nach dem Prinzip der RP-Befragungen, so dass realisierte Wege mit den Sharing-Fahrzeugen abgefragt werden. Problematisch kann hierbei werden, dass Fahrzeugsharing-Dienste nur selten genutzt werden und man die Ebenen Häufigkeit der Nutzung und Eigenschaften der Wege, auf denen der Dienst genutzt wurde, verknüpfen muss.³¹⁴ Außerdem soll es für die Modellierung auch noch möglich sein, die alternativen Verkehrsmittel zuzuspielen, um Wahlmodelle erstellen zu können. Abfragen nach dem letzten Weg mit dessen Eigenschaften (wie Dauer, Entfernung oder Zweck) oder die Anzahl der Wege mit deren Eigenschaften in einem vergangenen Zeitraum sind möglich, aber können auch, da sie ggf. schon länger zurückliegen, mit Erinnerungsschwächen behaftet sein, so dass die Qualität der Erhebung beeinträchtigt sein kann. Zudem ist eine Einordnung der Wege mit Fahrzeugsharing-Diensten im Gesamtmobilitätskontext der Personen sinnvoll, um Verlagerungswirkungen abbilden zu können.

Daneben können notwendige Daten für die Abbildung der Fahrzeugsharing-Angebote mit SP-Befragungen erhoben werden. Unter Berücksichtigung der Einschränkungen dieser Art der Befragung, wie sie in Kap. 3.2.2 bereits beschrieben wurden, ist diese Methode sehr zielführend, da den Teilnehmenden der Erhebung verschiedene Wahlsituationen mit den Sharing-Fahrzeugen und alternativen Verkehrsmitteln zur Auswahl gestellt werden. Mit den Erhebungsdaten können anschließend Wahlmodelle für das Verkehrsverhalten geschätzt und angewendet werden.³¹⁵

Da die Fahrzeugsharing-Dienstleistungen in Art und Struktur sehr unterschiedlich sind (z. B. stationsbasiertes Carsharing vs. E-Tretroller), sind die Nutzenden und die Nutzungen auch sehr unterschiedlich, so dass für jedes

³¹⁴ Michael Heilig und Martin Kagerbauer, „Längsschnitnanalyse der Nutzung von stationsbasiertem Carsharing.“ In *DVWG-Jahresband 2016/2017*.

³¹⁵ Reiffer et al., „Design of a Stated Preference Survey to Analyse Intermodal Choice Behaviour of Carsharing Users“.

System gesondert eine Datensammlung bzw. Datenerhebung durchgeführt werden muss, um deren Wirkungen zu modellieren.

4.2.2.3.2 Modellierung

Analog zur Elektromobilität sind die Sharing-Fahrzeuge als Fahrzeug-Agenten in die Modellierung zu integrieren. Diese können Eigenschaften haben, die das Fahrzeug betreffen (Fahrzeugkategorie oder Antrieb). Für die Modellerweiterung für Fahrzeugsharing kommt neu hinzu, dass die Eigenschaften des jeweiligen Sharing-Systems abgebildet werden müssen. Das bedeutet, dass free-floating Fahrzeuge in einem bestimmten Operationsgebiet zur Verfügung stehen bzw. stationsbasierte Fahrzeuge je nach System an derselben oder an einer anderen Station zurückgegeben werden müssen. Dies muss bei den Stufen der Verkehrsnachfragemodellierung (Aktivitätenwahl, Zielwahl und Verkehrsmittelwahl) berücksichtigt werden.

Grundsätzlich neu bei der Modellierung von Fahrzeugsharing ist die variable Abbildung der Verfügbarkeiten der Fahrzeuge. Das bezieht sich zum einen auf die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an dem Ort, an dem der Personen-Agent diese entleihen möchte. Das heißt der Dienst des Fahrzeugsharings steht bei der Verkehrsmittelwahl nur zur Verfügung, wenn sich im Umfeld des Personen-Agenten ein frei verfügbares Fahrzeug befindet. Das kann sich auf die Stationen im Umfeld beziehen oder auf einen Bereich (in mobiTopp können die Zellen verwendet werden), da der Zugang zum Fahrzeugsharing mit anderen Verkehrsmitteln oder zu Fuß möglich ist (vgl. Abbildung 2.20). Durch die Lokalisierung der Fahrzeug-Agenten für Sharing-Fahrzeuge kann dies relativ einfach abgebildet werden. Sofern kein relevantes Sharing-Fahrzeug im Umfeld des Personen-Agenten zur Verfügung steht, kann dieses nicht benutzt werden und steht im Verkehrsmittelwahlmodell nicht zur Verfügung. Zum anderen muss der Personen-Agent grundsätzlich die Möglichkeit haben, das Sharing-Fahrzeug nutzen zu können bzw. zu dürfen. In der Realität wird das, in Abhängigkeit vom Fahrzeugsharing-System, entweder durch die Mitgliedschaft bei einem Sharing-Anbieter oder die Anmeldung, beispielsweise über eine App, ermöglicht. Modelltechnisch kann dies mit einem Besitzmodell

analog zum Pkw-Besitz abgebildet werden. Das bedeutet, dass für Fahrzeug-sharing-Systeme ein eigenes „Besitzmodell“ bzw., besser gesagt, ein eigenes Modell für die grundsätzliche Nutzungsmöglichkeit geschätzt wird. Datengrundlagen sind Informationen über die Nutzenden oder Befragungen (vgl. Kap. 4.2.2.3.1). Die Modellierungsmethodik funktioniert analog zum Pkw-Besitz oder ÖV-Zeitkartenmodell mit Logit-Modellen. Ein Beispiel der Einflussvariablen und deren Parameter aus dem Projekt eVerkehrsraum Stuttgart für stationsbasiertes Carsharing von Stadtmobil in Stuttgart zeigt Tabelle 4.1.

Tabelle 4.1: Einflussfaktoren des Logit-Modells zur Bestimmung der Nutzenden für das stationbasierte Carsharing³¹⁶

Variable	Characteristic	Estimated parameter	Standard deviation	Wald Chi-Square Test	Pr > ChiSq	Level of measurement
	Intercept	-3.2062	0.9707	10.9093	0.001	
Sex	female	-0.8767	0.1902	21.2476	<.0001	nominal
PT long-term pass ownership	yes	0.1395	0.1879	0.5509	0.458	nominal
Occupation	full-time employed	0.1263	0.4906	0.0663	0.7968	nominal
	part-time employed	0.8843	0.4821	3.3641	0.0666	nominal
	unemployed	-1.8083	1.1397	2.5173	0.1126	nominal
	school student	1.4458	0.7828	3.4108	0.0648	nominal
	university student	-0.3485	0.6127	0.3235	0.5695	nominal
	trainee	-0.5818	0.9982	0.3397	0.56	nominal
	non-working	0.8886	0.6879	1.6687	0.1964	nominal
	retired	-0.4708	0.6666	0.4989	0.48	nominal
No of cars in the household	0	2.1474	0.6009	12.773	0.0004	nominal
	1	-0.27	0.5751	0.2204	0.6387	nominal
	2	-1.1234	0.5823	3.7229	0.0537	nominal
	3	-0.0864	0.6072	0.0202	0.8869	nominal
	4+	0	0	0	0	nominal
No of carsharing cars per km ²	fz_fl	0.3391	0.0614	30.53	<.0001	ratio
Household size	1	-0.7138	0.3455	4.2667	0.0389	nominal
	2	0.00315	0.3325	0.0001	0.9924	nominal
	3	0.1005	0.3235	0.0965	0.7561	nominal
	4	0.3201	0.3133	1.0437	0.307	nominal
	5	0	0	0	0	nominal
Age	18-24	0.00665	0.712	0.0001	0.9925	nominal
	25-34	0.4547	0.5728	0.6301	0.4273	nominal
	35-49	0.9732	0.5556	3.0689	0.0798	nominal
	50-64	0.2065	0.5264	0.1539	0.6949	nominal
	65+	0	0	0	0	nominal

³¹⁶ Michael Heilig, Nicolai Mallig, Ole Schroeder, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model.“ *Travel Behaviour and Society* (2018).

Sehr großen Einfluss haben die Fahrzeugsharing-Systeme auf das Verkehrsmittelwahlmodell. In der Aktivitätenwahl und der Zielwahl können die Fahrzeugsharing-Systeme dahingehend berücksichtigt werden, dass sie nicht zur Verfügung stehen, wenn die Eigenschaften des Systems nicht zu den Wegeabfolgen oder Zielen passen. Alternativ kann in Heuristiken im Modell hinterlegt werden, dass die Fahrzeuge so lange benutzt werden, bis sie beispielsweise wieder an Stationen oder im Operationsgebieten zurückgegeben werden können. Bei den Verkehrsmittelwahlmodellen werden die Fahrzeugsharing-Systeme als eigene Verkehrsmittel integriert und als Wahlmöglichkeiten berücksichtigt. Dies geschieht analog zu den bisherigen konventionellen Verkehrsmitteln, nur dass nun zusätzliche Verkehrsmittel zur Verfügung stehen. Die Kenngrößen werden je nach Art des Sharing-Systems von den vergleichbaren konventionellen Verkehrsmitteln übernommen, da die Reisezeiten für Carsharing identisch sind mit denen des MIV und die Reisezeiten für Bikesharing identisch sind mit Reisezeiten im Fahrradverkehr jeweils plus Zugangszeiten zu den Sharing-Fahrzeugen inklusive des Entleihvorgangs. Die Kosten für die Fahrzeugsharing-Verkehrsmittel ergeben sich aus den Kosten der Systeme. Abbildung 4.19 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Wahlmodelle bei Carsharing-Wegen nach Wegezwecken für stationsbasiertes und free-floating Carsharing.

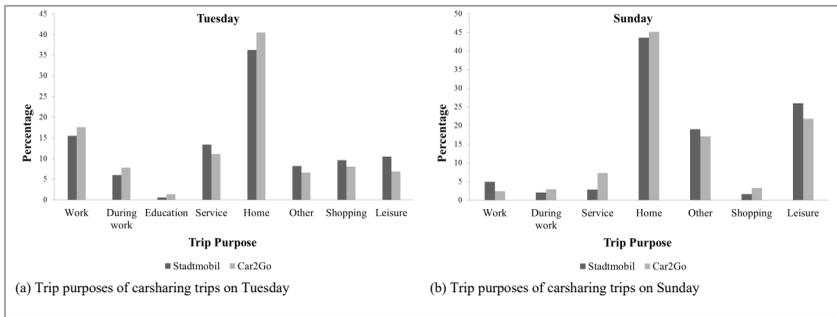


Abbildung 4.19: Wegezwecke mit stationsbasiertem und free-floating Carsharing in der Region Stuttgart³¹⁷

Abbildung 4.20 zeigt die Ganglinien der Modellierungsergebnisse im Vergleich zu den Daten aus Erhebungen und von den Anbietern. Auch die Abbildung des zeitlichen Verlaufs ist wichtig, da nur so verfügbare Fahrzeuge zeitlich hochaufgelöst zu den Fahrtwünschen zugeordnet werden können und nur so die Fahrzeugverfügbarkeit eindeutig dargestellt werden kann.

³¹⁷ Heilig et al., „Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model“.

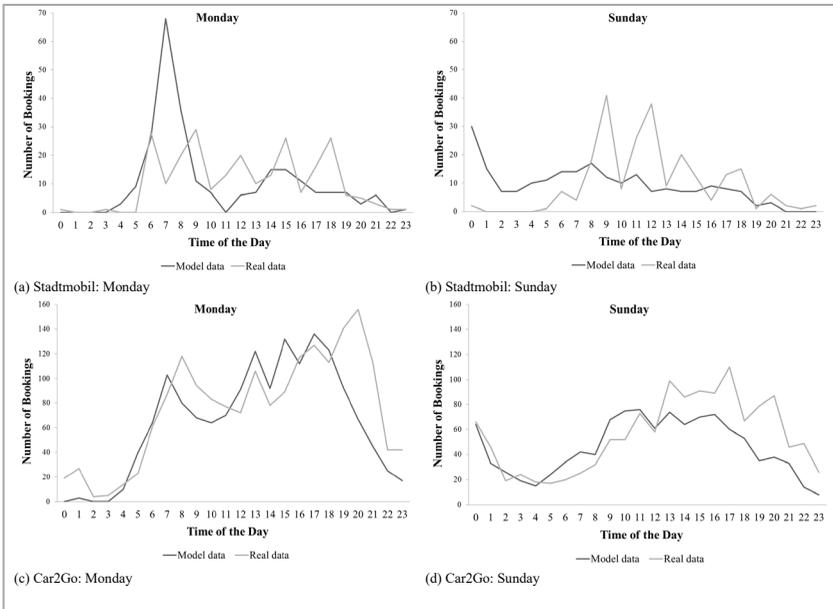


Abbildung 4.20: Ganglinien der stationsbasierten und free-floating Carsharing-Wege in der Region Stuttgart – modelliert und aus Erhebungsdaten³¹⁸

Da Carsharing-Wege seltene Ereignisse sind, ist die Modellierung von mehr als einem Tag sinnvoll, um die Variation der Nutzung integrieren zu können. Für die Auswertung zu Nutzungshäufigkeiten einzelner Personen(-Agenten) von Fahrzeugsharing-Systemen und für Analysen des multimodalen Verhaltens ist jedoch ein längerer Zeitraum wichtig. Je nach System und Häufigkeit der Nutzung greift eine Woche hier eventuell noch zu kurz.³¹⁹

³¹⁸ Heilig et al., „Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model“.

³¹⁹ Michael Heilig, Nicolai Mallig, Ole Schroeder, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Multiple-day Agent-based Modeling Approach of Station-based and Free-floating Carsharing.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2015).

Die hier beschriebene Modellierung für Fahrzeugsharing-Systeme ist allgemein gehalten und für alle Systeme von Pkw über Fahrräder bis E-Tretroller und weitere anwendbar. Damit können Wirkungen von heutigen Fahrzeugsharing-Systemen abgebildet werden. Unter Berücksichtigung aller Eigenschaften der Fahrzeugsharing-Systeme können dann auch künftige Fahrzeugsharing-Systeme in dieser Art modelliert und prognostiziert werden.

4.2.2.4 Schlussfolgerung

Mit agentenbasierten Verkehrsnachfragemodellen kann Fahrzeugsharing in allen Ausführungen, wie z. B. Car- oder Bikesharing oder E-Tretrollersharing, in Angebot und Nachfrage sehr gut abgebildet werden. Mit Hilfe der zeitlich und räumlich referenzierten Fahrzeug-Agenten sind die Verfügbarkeit der Fahrzeuge modellierbar. Zeitlich und räumlich referenziert bedeutet, dass zu jedem Modellierungszeitpunkt (in mobiTopp minutlich) im Modell abgebildet wird, wo sich das Fahrzeug befindet (auf Verkehrszellen, Stationsebene oder georeferenziert) und ob es verfügbar und entleihbar ist. Auf Ebene der Nutzenden kann durch Zugangsmodelle personen(-agenten)fein die grundsätzliche Möglichkeit der Verfügbarkeit der Dienste abgebildet werden und in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl durch die Georeferenzierung der Standorte (Quellen und Ziele der Wege) in Kombination mit den Fahrzeug-Agenten das Fahrzeugsharing integriert werden. Somit ist es gut möglich, Ausbauszenarien, wie beispielsweise Wirkungen von zusätzlichen Stationen oder Fahrzeugen oder von Veränderungen des Operationsgebiets auf die Nutzung und Akzeptanz zu untersuchen. Um das Verhalten in Modellen abbilden zu können, ist eine Datengrundlage zu erheben, die auf die speziellen Rahmenbedingungen der Nutzenden eingeht. Das betrifft u. a. die Ziehung der Stichprobe unter den Nutzenden sowie in der Folge eine darauf abzielende Hochrechnung und Einordnung der Ergebnisdaten auf die Grundgesamtheit.

Durch Fahrzeugsharing kommt jedoch, analog zum ÖV, hinzu, dass die Zugangswege bzw. Abgangswege vom betreffenden Sharing-Fahrzeug u.U. auch zu untersuchen sind, da diese ggf. weiter entfernt sind, mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden und verkehrsrelevant sein können. Bei den

konventionellen Verkehrsmitteln Rad und MIV als Fahrende und meist auch als Mitfahrende wird davon ausgegangen, dass sich die Fahrzeuge in unmittelbarer Nähe des Startpunktes des Weges befinden, so dass die Zu- bzw. Abgangswege vernachlässigbar sind. Auf diesen Aspekt, der auf die Intermodalität abzielt, wird in Kapitel 4.3 „Multi- und Intermodalität als Folge neuer Mobilität“ näher eingegangen.

4.2.3 Ridesharing, Ridehailing und Ridepooling

Das Mitfahren im Pkw ist an sich keine neue Mobilitätsform. Bei den konventionellen Verkehrsmitteln wird i. d. R. zwischen MIV als Fahrende und Mitfahrende unterschieden. Mitfahren war aber meist darauf beschränkt, im Familien- oder Bekanntenkontext Menschen mitzunehmen. Die Relevanz für das Verkehrssystem Straße war dahingehend vorhanden, dass zwar in der Verkehrsbelastung nur Kfz-Fahrten je Zeiteinheit berücksichtigt wurden, über den Besetzungsgrad jedoch Personenfahrten abgebildet werden können. Taxifahren ist auch Mitfahren, fällt aber rein rechtlich in Deutschland unter die Regeln des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) und ist somit Öffentlicher Verkehr, da u. a. eine Mitnahmepflicht besteht. Neue Mobilitätsformen, die unter den Begriffen Ridesharing, Ridehailing (oder auch Rideselling) und Ridepooling verstanden werden, sind das Anbieten von Mitfahrtgelegenheiten meist organisiert durch IKT-Plattformen, die Anbieter der Fahrt und Mitfahrende bzw. Mitfahrwünsche zusammenbringen. Durch verschiedene Anbieter mit verschiedenen Ausprägungen der Systeme entstehen somit geteilte Verkehrsmittelangebote, die in Struktur und Ausprägung in der Verkehrsplanung Berücksichtigung finden können. Je nach Art des Verkehrsangebots und Operationsgebiet bzw. Land ist die Ausprägung dieser Dienste mehr oder weniger stark und ist dementsprechend in der Verkehrsplanung optional zu berücksichtigen. In Deutschland ist derzeit z. B. der Ridehailing-Dienst Uber nicht weit verbreitet, während er in den USA ein wesentliches Verkehrsmittel darstellt.

4.2.3.1 Definition

Oft werden die Begriffe Ridesharing, Ridehailing und Ridepooling (fälschlicherweise) synonym verwendet. Die folgenden Definitionen zeigen die Bedeutung der Dienstleistungen und Begriffe.

4.2.3.1.1 Ridesharing

„Unter Ridesharing werden öffentlich zugängliche, nicht gewerbsmäßige Mitnahmesysteme verstanden, bei denen freie Plätze im privaten Pkw Dritten zur Verfügung gestellt und über eine i. d. R. internetbasierte Plattform zugänglich gemacht werden. Die Mitnahme von Personen in Privatfahrzeugen geschieht gegen einen kleinen Kostenbeitrag. Dabei würde die Fahrt ohnehin stattfinden, wie bei der klassischen Mitfahrzentrale.“³²⁰

Abbildung 4.21 zeigt die beliebtesten Ridesharing-Anbieter in Deutschland aus einer Umfrage.

³²⁰ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

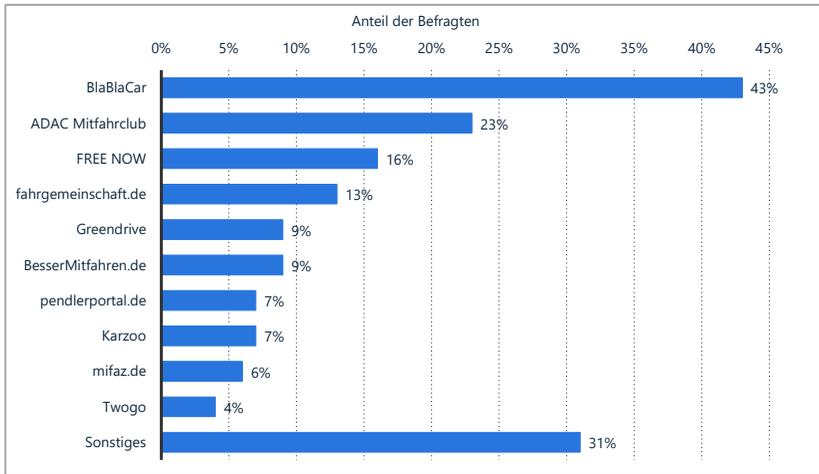


Abbildung 4.21: Nutzung von Ridesharing-Anbietern in Deutschland in den letzten 12 Monaten³²¹

Dadurch, dass alle Personen Zugang zu dem Ridesharing-Dienst haben, ist der Unterschied zum privaten Mitfahren oder Fahrgemeinschaften im Bekannten- bzw. Kollegenkreis gegeben. Eine wesentliche Kenngröße von Ridesharing ist, dass die Fahrt unabhängig vom Fahrtwunsch der Mitfahrenden stattfindet. Der Anteil dieser Mobilitätsdienstleistung am Gesamtverkehr ist jedoch gering.

Hauptanwendungsfälle von Ridesharing-Diensten sind meist längere Fahrten, da die räumliche und zeitliche Verteilung der Fahrt von Fahrenden und Mitfahrenden zusammenpassen müssen und auf kurzen Wegen bei beiden Parteien eher weniger Flexibilität vorhanden ist als bei längeren Fahrten. Für Pendelwege oder Kurzstreckenfahrten ist Ridesharing derzeit (noch) nicht relevant. Einige Anbieter, wie zum Beispiel die Mobilitätsdienstleistung

³²¹ Alexander Kunst, „Welche dieser Ridesharing-Anbieter haben Sie in den letzten 12 Monaten genutzt?“. <https://de.statista.com/prognosen/999758/umfrage-in-deutschland-zu-beliebten-ridesharing-anbietern> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).

pockettaxi, die Ridesharing im Kurzstreckenbereich angeboten haben, sind wieder vom Markt verschwunden. Auch der Marktführer BlaBlaCar in Deutschland weist darauf hin, dass für Pendelfahrten eher private Fahrgemeinschaften gebildet werden sollen.³²²

Da Ridesharing derzeit hauptsächlich im Fernverkehr verwendet wird, spielt es für die Verkehrsnachfragemodellierung, die tendenziell kleinräumiger ist, keine große Rolle. Für Verkehrsplanungsprozesse im Allgemeinen und in Verkehrserhebungen wird Ridesharing wie das klassische Mitfahren behandelt, vor allem dadurch begründet, dass die Pkw-Fahrt mit und ohne zusätzlichem Fahrtwunsch potenzieller Mitfahrender stattfindet. Das Mitfahren kann dann wie das private Mitfahren im Familien- oder Bekanntenkontext gehandhabt werden. Zumal weitere Mitfahrangebote, wie P+M-Parkplätze³²³ oder im weitesten Sinne auch eine Mitfahrbank³²⁴, damit abgedeckt werden können. Die Integration von Ridesharing in die Planungswerkzeuge wird in dieser Arbeit, im Gegensatz zu Ridehailing und -pooling, nicht weiter behandelt, da diese wie konventionelle Mitfahrer behandelt werden können.

4.2.3.1.2 Ridehailing

Ridehailing, auch Rideselling genannt, ist „das privatwirtschaftliche, (kommerzielle) Anbieten von taxiähnlichen Fahrten in einem Kfz. Es ist die digital vermittelte, entgeltliche und nachfrageorientierte Beförderung. Die Fahrten werden nur bei Nachfrage/Bedarf (Fahrtwunsch) durchgeführt. Dies

³²² blablacar, „Kann ich mit BlaBlaCar auch pendeln?“.

<https://www.blablacar.de/faq/question/kann-ich-mit-blablacar-auch-pendeln> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).

³²³ Parken-und-Mitfahren-Parkplätze sind Verknüpfungspunkte, die, analog zum Park-und-Ride-Prinzip, das Bilden von Fahrgemeinschaften ermöglichen sollen. In einer Etappe als Fahrende genutzte Pkw werden geparkt, um anschließend mit anderen Personen gemeinsam die Fahrt in einem Pkw fortzusetzen.

³²⁴ Mitfahrbänke sind Bänke im öffentlichen Raum, meist in ländlichen Bereichen, die dazu animieren sollen, darauf sitzende Personen im Pkw mitzunehmen. Diese stehen häufig am Ortsausgang von Gemeinden auf Hauptstraßen.

geschieht i. d. R. über internetbasierte Plattformen. Der Fahrgast bestimmt, ob und mit welchem Ziel eine Einwegfahrt unternommen wird.“³²⁵ Derzeit besteht in Deutschland nach Personenbeförderungsgesetz eine Rückkehrpflicht der Ridehailing-Fahrzeuge zu einem festgelegten Geschäftsstandort,³²⁶ so dass direkt aneinander anschließende Fahrten rechtlich nicht zulässig sind. In anderen Ländern, z. B. in den USA, existiert diese Regelung derzeit nicht.

Für die Nutzenden ist dieser Unterschied zu einem Taxi von der Systematik auf den ersten Blick nicht sichtbar, da die Funktionsweisen der Bestellung, des Mitfahrens und der Bezahlung ähnlich sind. Rechtlich gesehen haben Taxis innerhalb des sogenannten Pflichtfahrgebietes Beförderungs- und Betriebspflicht. Die Bereitstellung des Taxiservices (Taxistände und Anzahl der Taxis) und die Preise sind im Gegensatz zu den Ridehailing-Services behördlich geregelt. Die Preise beim Ridehailing-Service können vom Anbieter, auch situationsabhängig und dynamisch, festgelegt werden. Je nach Land und Regelungen können sich Privatpersonen oder Kleinunternehmen mit Fahrerinnen und Fahrern bei der Plattform anmelden, um dann die Dienstleistung mit ihren (Privat-)Fahrzeugen durchzuführen. Die Plattformen vermitteln die Fahrtwünsche und erhalten einen Teil des Fahrpreises. Die bekanntesten Anbieter sind Uber (weltweiter Markt), Didi Chuxing (China), Grab (Südostasien) oder Lyft (Nordamerika), wie Abbildung 4.22 zeigt. In Deutschland ist Stand Frühjahr 2020 neben Uber in einigen Städten der bundesweite Anbieter FREE NOW mit Taxis und Mietwagen tätig.

³²⁵ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

³²⁶ Rechtlich gesehen werden Ridehailing-Fahrzeuge nach PBefG als Mietwagen eingestuft.

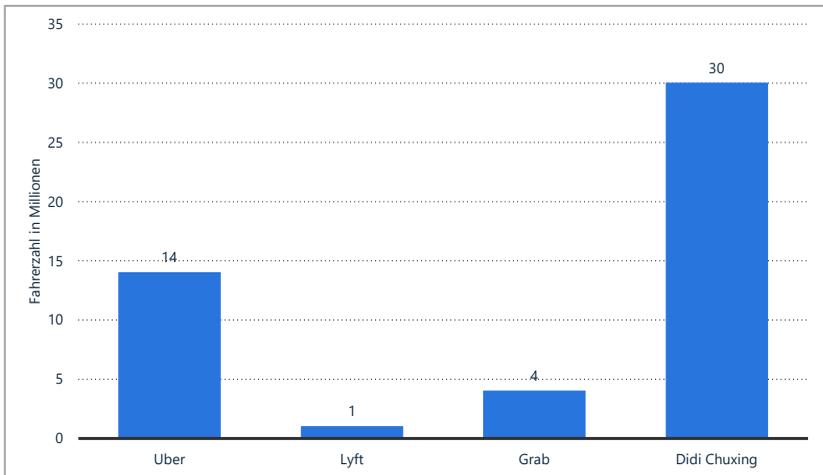


Abbildung 4.22: Durchschnittliche Anzahl der täglichen Fahrten ausgewählter Ridehailing-Anbieter weltweit im Jahr 2019 (Stand: Mai 2019; in Mio.)³²⁷

Die Mobilitätsdienstleistung Ridehailing ist vor allem im nord-/südamerikanischen und asiatischen Raum sehr beliebt, während in Europa die Nutzendenzahlen, vor allem wegen der gesetzlichen Regelungen, eher gering sind (Abbildung 4.23).

³²⁷ Andreas Ahlsweide, „Durchschnittliche Anzahl der täglichen Fahrten ausgewählter Ridesharing-Anbieter weltweit im Jahr 2019.“.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1049250/umfrage/anzahl-der-taeglichen-fahrten-ausgewaehlter-ridesharing-anbieter-weltweit/> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).

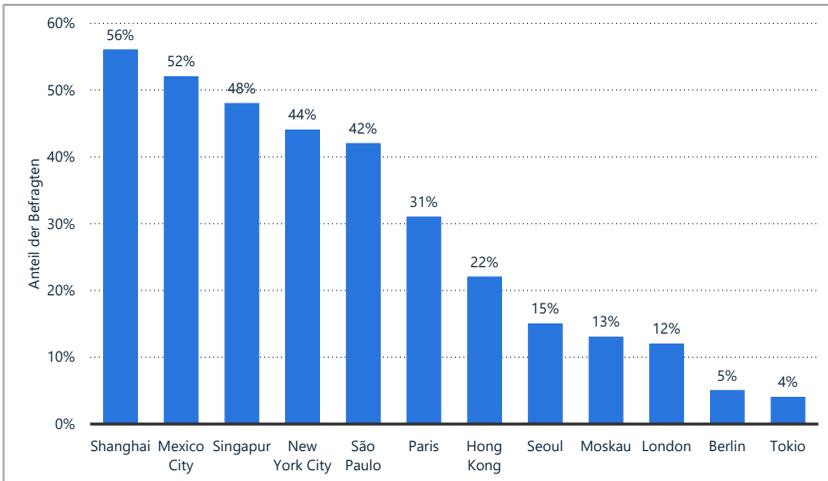


Abbildung 4.23: Nutzende von Ridehailing-Diensten in ausgewählten Städten³²⁸

Grundsätzlich findet eine Fahrt mit Ridehailing nur statt, wenn ein Fahrtwunsch vorhanden ist. Man spricht hier auch von „on demand“. Zusätzlich zur eigentlichen Fahrt selbst entsteht auch noch Fahrleistung bei den Wegen zum Fahrgast und vom Fahrgast weg, so dass die Fahrleistung mit Ridehailing-Diensten im Vergleich zu einem Weg mit dem selbstgefahrenen, privaten Pkw höher ist und zusätzliche Fahrzeugkilometer generiert werden. Studien aus den USA zeigen, dass Ridehailing zum Rückgang der Taxifahrten und Fahrten mit privaten Pkw, aber auch zu einem Anstieg der Fahrleistungen um ca. 966 Mio. Kilometer in den Jahren 2013 bis 2016 führte.^{329,330} Auf Grund

³²⁸ Andreas Ahlswede, „Haben Sie bereits einen Ride-Sharing-Dienst genutzt?“.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/985804/umfrage/umfrage-zur-nutzung-von-ride-sharing-diensten-in-staedten-weltweit/> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).

³²⁹ Schaller Consulting, „Unsustainable? The Growth of App-Based Ride Services and Traffic, Travel and the Future of New York City.“ (2017).

³³⁰ Regina Clewlow und Gouri Shankar Mishra, „Shared Mobility: Current Adoption, Use, and Potential Impacts on Travel Behavior.“ In *TRB 96th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2017). <http://docs.trb.org/prp/17-05729.pdf>.

der geringen Verbreitung in Deutschland gibt es derzeit dafür (noch) keine Daten.

Die wichtigsten Gründe für die Beliebtheit des Ridehailing-Dienstes sind nach Rayle et al.³³¹: Einfache Bezahlung, kurze Wartezeiten, schnelle Verbindung, Einfachheit der Bestellung, Möglichkeit des Alkoholkonsums, kein Parkdruck, Zuverlässigkeit, Komfort/Sicherheit, Kosten etc. Durch die direkte Verbindung werden Wege mit Ridehailing tendenziell als monomodale Wege genutzt. Durch die prognostizierten, steigenden Marktanteile von Ridehailing wird dieser Markt auch für die Verkehrsplanung immer wichtiger und sollte in die Planungsstools integriert werden.^{332,333}

4.2.3.1.3 Ridepooling

„Ridepooling ist ein gewerbliches Verkehrsangebot zum Zweck der Sammelbeförderung mehrerer, nicht zusammengehöriger Personen nach deren jeweiligen Fahrtwünschen. Diese umfassen Abholort, Zielort und Zeitrahmen der Fahrt (vollflexibel), jedoch nicht die Fahrtstrecke.“³³⁴ Auch die Anzahl der Mitfahrenden ist flexibel. Für die Nutzenden ähnelt Ridepooling dem Ridehailing, nur mit dem Unterschied, eventuell Umwege und somit längere Fahrtzeiten durch das Einsammeln und Absetzen von Mitfahrenden in Kauf zu nehmen. Ziel des Ridepoolings ist es, die Fahrtwünsche effektiv zu bündeln, um so Fahrzeugkilometer einzusparen. Gesamtverkehrliche Wirkungen von

³³¹ Lisa Rayle, Susan Shaheen, Nelson Chan, Danielle Dai und Robert Cervero, „App-Based, On-Demand Ride Services: Comparing Taxi and Ridesourcing Trips and User Characteristics in San Francisco.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board (2015).

³³² Stefan Burgstaller, Demian Flowers, David Tamberrino, Heath Terry und Yipeng Yang, „Rethink Mobility.“ (2017).

³³³ Eva Fraedrich, Lars Kröger, Francisco Bahamonde-Birke, Ina Frenzel, Gernot Liedtke, Stefan Trommer, Barbara Lenz und Dirk Heinrichs, „Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr: Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen.“ (e-mobil BW GmbH, 2017).

³³⁴ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3“.

Ridepooling-Diensten sind bis zum Jahr 2020 noch nicht tiefer erforscht. In der Begleitforschung für den Ridepooling-Dienst MOIA in Hamburg erforscht das KIT diese Wirkungen zusammen mit der Technischen Universität München (TUM) in der größten Langzeitstudie zu Ridepooling in Europa.³³⁵ Erste Untersuchungen zeigen, dass durch ein umfassendes Ridepooling-Angebot trotz der Umwege beim Ein- und Aussteigen der Mitfahrenden Einsparungen bei den Gesamtfahrzeugkilometern entstehen. Am Beispiel der Stadt München und ohne Berücksichtigung von Modal-Split-Veränderungen wurde in Simulationen nachgewiesen, dass bei einer Reduktion der privaten Pkw-Fahrten Einsparungen bei Verkehrsbelastungen und im Verkehrsfluss erzielt werden, sofern genügend Ridepooling-Fahrzeuge zur Verfügung stehen und die Menschen bereit sind, anstelle des privaten Pkw die Ridepooling-Fahrzeuge zu nutzen.³³⁶ Diese Menge der Reduktionen hängt vom Umwegfaktor der Fahrzeuge durch das Ein-/Aussteigen der Mitfahrenden und der zur Verfügung stehenden Anzahl an Fahrzeugen ab (vgl. Abbildung 4.24).

³³⁵ MOIA-Pressemitteilung, „Erste umfassende Langzeituntersuchung zu Ridesharing in Europa startet.“. <https://www.moia.io/de-DE/presse/Erste-umfassende-Langzeituntersuchung-zu-Ridesharing-in-Europa-startet> (letzter Zugriff: 15. Juli 2020).

³³⁶ Roman Engelhardt, Florian Dandl, Aledia Bilali und Klaus Bogenberger, „Quantifying the Benefits of Autonomous On-Demand Ride-Pooling: A Simulation Study for Munich, Germany.“ In *The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC: Auckland, New Zealand, 27-30 October 2019*, 2992–2997 ([Piscataway, New Jersey]: IEEE, 2019).

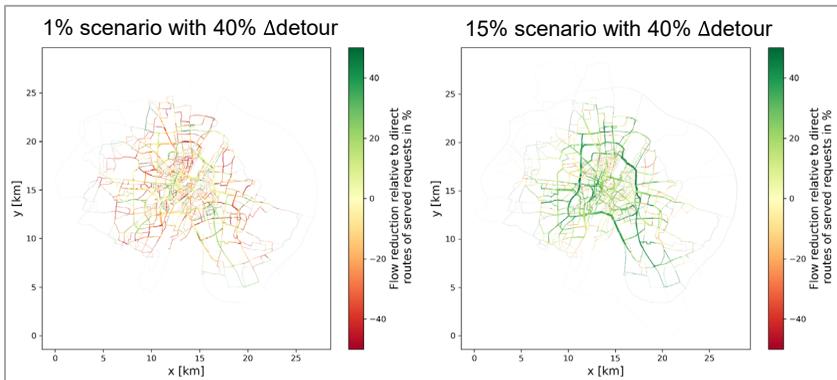


Abbildung 4.24: Reduktion des Verkehrsflusses durch Ridepooling-Dienste^{337,338}

In Deutschland fällt Ridepooling rechtlich gesehen in das Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) und ist entweder ein eigenständiges Angebot (nach PBefG: gebündelter Bedarfsverkehr) oder in den ÖPNV integriert (Linienbedarfsverkehr). Ridepooling an sich beinhaltet die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen auf einer Teilstrecke durch nicht zusammengehörige Personen mit verschiedenen Buchungen. Aus verkehrsrechtlichen und Sicherheitsgründen finden das Ein- und Aussteigen an vordefinierten, nicht gekennzeichneten, oft auch als virtuell bezeichneten Haltepunkten statt. Für die Nutzung des Ridepooling-Dienstes, die meist über App oder bei in den ÖV integrierten Systemen auch über Telefon funktioniert, müssen sich die Nutzenden vorab anmelden.

Kernstück der Ridepooling-Lösungen ist der Pooling-Algorithmus, der es ermöglichen soll, möglichst effizient für die Mitfahrenden und für das

³³⁷ Die Abbildung zeigt, dass 1 % (linker Teil) bzw. 15 % (rechter Teil) der Pkw-Nachfrage durch Ridepooling substituiert wird.

³³⁸ Roman Engelhardt, Florian Dandl, Aledia Bilali und Klaus Bogenberger, „Quantifying the Benefits of Autonomous On-Demand Ride-Pooling: A Simulation Study for Munich, Germany.“ In *The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC*.

Verkehrssystem Fahrten zu poolen. Effizient für die Mitfahrenden heißt, Fahrgäste mit unterschiedlichen Quellen und Zielen ohne große Wartezeiten und ohne große Umwege zu befördern. Effizient für das Verkehrssystem bedeutet, möglichst viele Mitfahrende zusammenzubringen, um Fahrzeugkilometer und Emissionen zu sparen. Der Algorithmus ordnet Fahrgästen den Fahrzeugen zu und überprüft bei jeder neuen Anfrage, zu welchem Fahrzeug diese neuen Fahrgäste zugeordnet werden können. Sofern mehrere Fahrtwünsche eine ähnliche Richtung haben, werden diese zusammengebracht, falls Wartezeiten und Umwege für alle Mitfahrenden in einem akzeptablen Rahmen liegen. Das Prinzip des Algorithmus ist wie folgt: „Wenn ein Benutzer nach einer Fahrt sucht, überprüft der Algorithmus alle möglichen Faktoren und wählt so das optimale Szenario für alle Fahrgäste aus, also das mit dem kleinsten gesamten Zeitaufwand für die Beförderung aller Passagiere an ihr Ziel. Er mischt die Anfragen so lang neu, bis er das optimale Szenario findet.“³³⁹

Auf dem internationalen Markt bieten UberPool und Lyft Ridepooling-Dienste an, die aber für die Firmen eine untergeordnete Rolle spielen. In Deutschland gibt es Stand Frühjahr 2020 zahlreiche Anbieter, oft in Verbindung mit dem ÖV. Einige haben auch White-Label-Lösungen für die ÖV-Betreiber im Angebot. Folgende Anbieter existieren in Deutschland: MOIA (mit dem größten Ridepooling-Angebot in einer Stadt (Hamburg) und auch in Hannover), CleverShuttle, ViaVan (BerlKönig), ioki (Deutsche Bahn), door2door und einige kleine Anbieter (MyShuttle, SSBFlex etc.). Auch die Taxibranche führt mit dem Dienst mytaxi Match Pooling-Fahrten durch.

Das moderne Ridepooling ist eine Weiterentwicklung von Anrufsammeltaxis oder Anrufbussen im ÖV, die häufig in ländlichen Bereichen mit schwacher Nachfrage und geringem Angebot eingesetzt wurden und werden. Ob

³³⁹ door2door, „Ridepooling: Die wichtigsten Begriffe erklärt.“.

<https://blog.door2door.io/ridepooling-die-wichtigsten-begriffe-erkl%C3%A4rt-e5a74f36c4f7>
(letzter Zugriff: 15. Juli 2020).

Ridepooling ein intermodales Verkehrsangebot ist, hängt von der Zubringerfunktion zu einem anderen Modus ab (meist ÖV), vgl. Kap. 4.3.

4.2.3.2 Anforderungen des Ridesharings, Ridehailings und Ridepoolings an die Planungswerkzeuge

Im Vergleich zum konventionellen Mitfahren, haben die Nutzenden von Ridehailing/-pooling-Diensten die Möglichkeit, Fahrten mit verschiedenen Anbietern der Dienste zurückzulegen. Während das klassische Mitfahren meist im Bekannten- und Familienkreis stattfindet, haben Ridehailing- und -pooling-Dienste unterschiedliche Anmeldevorgänge. Meist funktioniert der Zugang über Apps, die den Nutzenden zur Verfügung stehen müssen.

Grundsätzlich gibt es hier zwei Möglichkeiten: Entweder der Dienst steht allen Menschen zur Verfügung, weil sie potenziell die Möglichkeit haben, sich die App zu laden, oder der Dienst steht nur den Menschen zur Verfügung, die wirklich die App nutzen und dort auch angemeldet sind. Am Beispiel des Ridepooling-Dienstes MOIA zeigt sich, dass in der Soziodemografie (Tabelle 4.2) und der Mobilität (Tabelle 4.3) Unterschiede der Nutzenden im Vergleich zur Grundgesamtheit bestehen. Somit ist es sinnvoll, die Nutzerinnen und Nutzer der Mobilitätsdienste in ihrer Struktur abzubilden. Eine Möglichkeit zur Berücksichtigung der Verfügbarkeit des Services ist die Integration eines App-Besitz-Modells analog zum Besitz-Modell für den Zugang z. B. zum Carsharing.

Tabelle 4.2: Soziodemografische Struktur der MOIA-Nutzenden³⁴⁰

	User (N = 6,417)	Non-User (N = 1,595)	Hamburg (population)
Gender			
Female	45 %	45 %	49 %
Male	55 %	55 %	51 %
Diverse	0 %	1 %	0 %
Age [years]			
<=17	0 %	0 %	16 %
18-29	18 %	12 %	16 %
30-39	31 %	20 %	16 %
40-49	24 %	21 %	15 %
50-59	19 %	26 %	14 %
60(+)	8 %	20 %	24 %
Occupational Status			
Working full-time	60 %	75 %	35 %
Working part-time	14 %	11 %	13 %
Retired	13 %	4 %	19 %
Homemaker	3 %	1 %	3 %
Unemployed	3 %	1 %	5 %
In education	7 %	7 %	17 %
Household Size			
1 person	25 %	27 %	23 %
2 persons	45 %	42 %	33 %
3 persons	15 %	16 %	18 %
4 persons	12 %	11 %	18 %
5(+) persons	3 %	4 %	8 %
Equivalent Disposable Income [€]			
< 900	3 %	9 %	-
900-1499	8 %	16 %	-
1500-1999	15 %	20 %	-
2000-2999	25 %	24 %	-
3000-3999	26 %	16 %	-
4,000 (+)	14 %	6 %	-

³⁴⁰ Kistorz, Fraedrich und Kagerbauer, „Usage and User Characteristics—Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service“.

Tabelle 4.3: Mobilitätsstruktur der MOIA-Nutzenden³⁴¹

	User (N = 6,417)	Non-User (N = 1,595)	Hamburg (population)
Mobility Tools			
Driving License	92 %	87 %	80%
Transit Pass	45%	42%	46%
BahnCard	37 %	25 %	-
Vehicle Ownership			
Bicycle	80 %	72 %	75 %
Car	72 %	73 %	67 %
Membership			
Carsharing	58 %	34 %	17 %
E-Scooter	38 %	18 %	-
Bikesharing	67 %	39 %	-
Other Ridepooling than MOIA	53 %	24 %	-

In der Praxis wird auch festgestellt, dass die Informationen und die Details über den Dienst in der Bevölkerung nicht immer vorhanden sind, so dass der Zugang zum Dienst nicht gegeben ist.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Berücksichtigung der Eigenschaften der Nutzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status) und deren Kenntnis sowohl des Angebots von Ridehailing- und -pooling-Verkehrsmitteln, als auch des Zugangs zu den individuell verfügbaren Angeboten (z. B. Funktionsweise des Dienstes, App für die Anmeldung).

Speziell für Ridehailing- und Ridepooling-Dienste ist es notwendig, die Fahrzeuge selbst als Fahrzeug-Agenten vor allem in der Modellierung, aber auch in der Erhebung zu berücksichtigen. Für Ridesharing-Dienste ist das nicht erforderlich, da die Fahrten sowieso durchgeführt werden und nur die Mitfahrenden ermittelt werden müssen. Die Anzahl der Fahrzeuge eines Dienstes hat maßgebliche Auswirkungen auf die Nutzung, da die Verfügbarkeit und

³⁴¹ Kostorz, Fraedrich und Kagerbauer, „Usage and User Characteristics—Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service“.

somit das Angebot steigt. Dabei spielt die Eigenschaft der Fahrzeuge eine große Rolle, um unterscheiden zu können, wie viele Personen zum Beispiel beim Ridepooling-Dienst mitfahren können (Anzahl Plätze), welche Art an Fahrzeugen zur Verfügung stehen (Antrieb, Geschwindigkeiten etc.) oder wie das System ausgestaltet ist (Operationsgebiet, Anzahl Fahrzeuge, Angebot des Dienstes hinsichtlich Bedienzeiten etc.).

Bei in den ÖV integrierten Ridepooling-Diensten, Ridehailing ist in der Regel nicht in den ÖV integriert, ist darüber hinaus die Art der Integration zu berücksichtigen. Das bedeutet die Integration in das Tarifsystem oder eine zwingende Kombination der Fahrten mit dem öffentlichen Verkehr (Bus oder Schienenfahrzeuge). Je nachdem wie die Integration gestaltet ist, kann der Ridepooling-Dienst entweder als Teil des ÖV gesehen werden mit flexibler Bedienform oder als Teil eines intermodalen Weges. Letzteres wäre dann eine Kombination eines Weges mit dem Modus MIV und ÖV. Bei einer vollständigen Integration des Ridepooling-Dienstes in den ÖV (Angebot nur mit ÖV-Ticket, Tarifintegration etc.), kann das Ridepooling-Fahrzeug als ÖV-Verkehrsmittel angesehen werden und in das ÖV-Angebot integriert werden. Ridehailing-Fahrten werden ähnlich wie Fahrten mit dem Taxi direkt von der Quelle zum Ziel durchgeführt. Es wird i. d. R. der direkte Weg gewählt, so dass die gängigen Verfahren in der Verkehrsplanung hinsichtlich Routenwahl angewendet werden können. Die Reisewiderstände werden aus den Kenngrößenmatrizen des MIV übernommen, da es sich i. d. R. um eine direkte Verbindung handelt. Zu berücksichtigen sind hier die belastungsabhängigen Reisezeiten je nach Routenwahlalgorithmus. Um die Belastungen des Straßenverkehrsnetzes analysieren zu können, sind zu den reinen Reisezeiten zwischen den Quellen und Zielen mit den Fahrgästen auch noch die Zugangswege und Abgangswege der Ridehailing-Fahrzeuge bzw. der Ridepooling-Fahrzeuge zu berücksichtigen.

Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Fahrzeuge einzeln als Fahrzeug-Agenten zu integrieren, um neben der Anzahl der Fahrzeuge auch die gesamte Fahrleistung der Fahrzeuge und die Buchungen abbilden zu können.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration von Eigenschaften der Ridehailing- bzw. Ridepooling-Fahrzeuge und des -Services, um Fahrtwünsche durchführen zu können.

Beim Ridepooling-Service hingegen handelt es sich in der Regel nicht um direkte Fahrten zwischen der Quelle und dem Ziel eines Fahrtwunsches, sondern es entstehen Umwege, um Fahrgäste einsteigen bzw. aussteigen zu lassen, so dass der Pooling-Gedanke erfüllt werden kann. Zudem ist der Ridepooling-Algorithmus zu berücksichtigen. Diese intelligente Steuerung der Fahrzeuge ist erforderlich, um zum einen möglichst viele Fahrgäste in einem Fahrzeug zusammenzuführen und zum anderen die Wartezeiten und die Umwege der Fahrgäste zu minimieren. Abbildung 4.25 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Fahrzeuge und der Nachfrage nach Ridepooling-Fahrten. Je höher die Nachfrage und je mehr Fahrzeuge im System sind und potenziell Fahrgäste aufnehmen können, desto besser funktioniert das Ridepooling-System, da mehr Optionen sowohl auf Mitfahrenden- als auch auf Ridepooling-Fahrzeugseite bestehen.

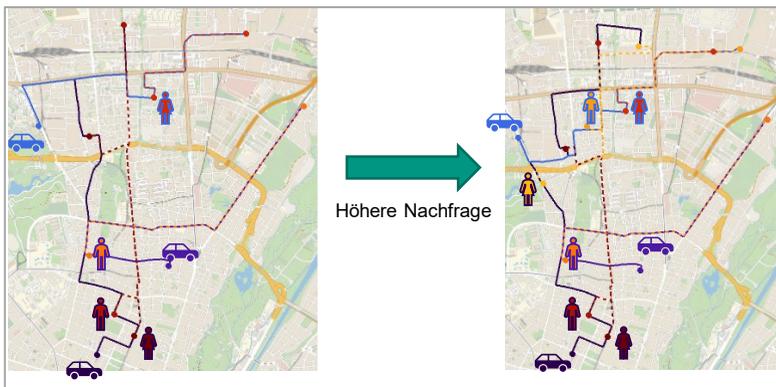


Abbildung 4.25: Schematische Darstellung der Pooling-Vorgänge³⁴²

³⁴² Martin Kagerbauer und Klaus Bogenberger, „MOIA Begleitforschung: Pressefrühstück“.

Abbildung 4.26 zeigt beispielhaft den Besetzungsgrad, die Leerfahrten und die Zusteige- und Aussteigevorgänge bei einem Ridepooling-Fahrzeug.

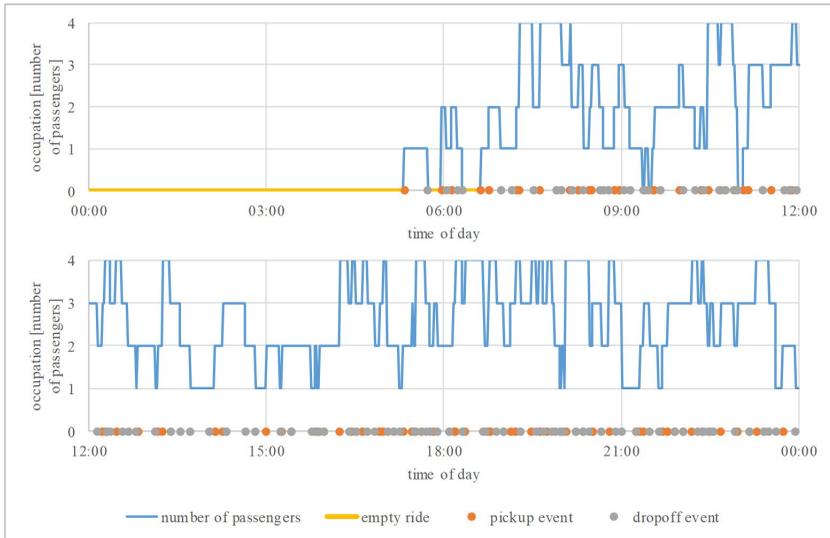


Abbildung 4.26: Analyse eines einzelnen Ridepooling-Fahrzeugs³⁴³

Um den Ridepooling-Algorithmus sinnvoll integrieren zu können, ist es notwendig, die Fahrtwünsche und die Ridepooling-Fahrzeuge auf Einzelebene, sprich Agenten-Ebene, und zeitlich hoch aufgelöst abzubilden. So ist es möglich, Wirkungen von unterschiedlichen Ausgestaltungen der Systeme darzustellen: Zum Beispiel, wie wirkt sich eine Verdoppelung der Ridepooling-Fahrzeuge oder die Erweiterung des Bedienegebiets auf die Nachfrage oder die Auslastung der Fahrzeuge aus.

³⁴³ Gabriel Wilkes, Lars Briem, Michael Heilig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying service provider and transport system related effects of different ridesourcing service schemes through simulation within the travel demand model mobiTopp.“ In *ICoMaas – 2nd International Conference on Mobility as a Service*.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Integration des Ridepooling-Algorithmus, um Ridepooling-Systeme abbilden zu können.

Analog zum Fahrzeugsharing werden Ridehailing und Ridepooling ebenfalls selten benutzt. Abbildung 4.27 zeigt am Beispiel Hamburg und Hannover, dass der Ridepooling-Dienst weniger häufig genutzt wird als Carsharing. In Deutschland sind die Dienste Ridehailing und Ridepooling noch relativ wenig verbreitet, so dass die Verkehrsmittelnutzung hier ein seltenes Ereignis darstellt. In Gebieten, in denen Ridehailing-Dienste stark verbreitet sind, z. B. in den USA mit Uber und Lyft, können diese schon fast als gebräuchliche Verkehrsmittel angesehen werden. Eigene Modellrechnungen haben einen Modal Split für das Jahr 2030 von rund 5 % für die Ridehailing-Dienste Uber/Lyft (vgl. Abbildung 4.28) ergeben.³⁴⁴ In diesem Fall kann dieses Verkehrsmittel als gebräuchlich eingestuft werden, so dass keine Besonderheiten hinsichtlich der Nutzergruppen und der Nutzung vor allem bei Erhebungen zu berücksichtigen sind.

³⁴⁴ Martin Kagerbauer, Michael Heilig, Jonathan Slason, Tom Adler, Tudor Mocanu und Christian Winkler, „Pilot Somerville.“ (INOVAPLAN, RSG, DLR, KIT, 2020).

4 Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung

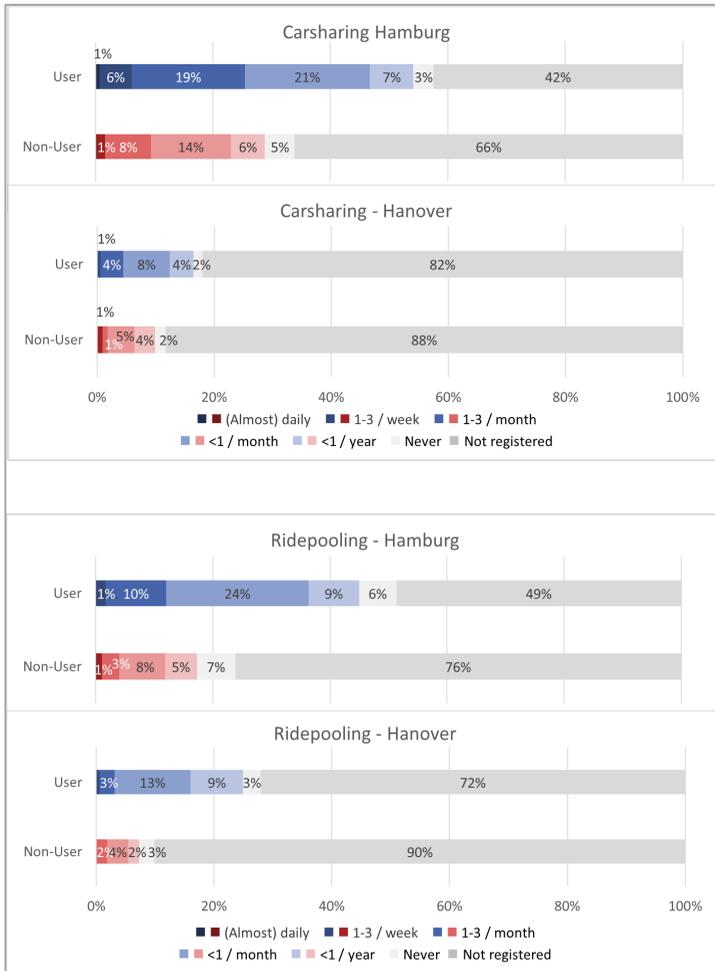


Abbildung 4.27: Analyse eines einzelnen Ridepooling-Fahrzeuges³⁴⁵

³⁴⁵ Martin Kagerbauer, Nadine Kostorz, Gabriel Wilkes, Klaus Bogenberger, Ulrich Glöckl, Florian Dandl und Roman Engelhardt, „MOIA Begleitforschung: Status report No. 1: Empirical investigations.“ (05/2020).

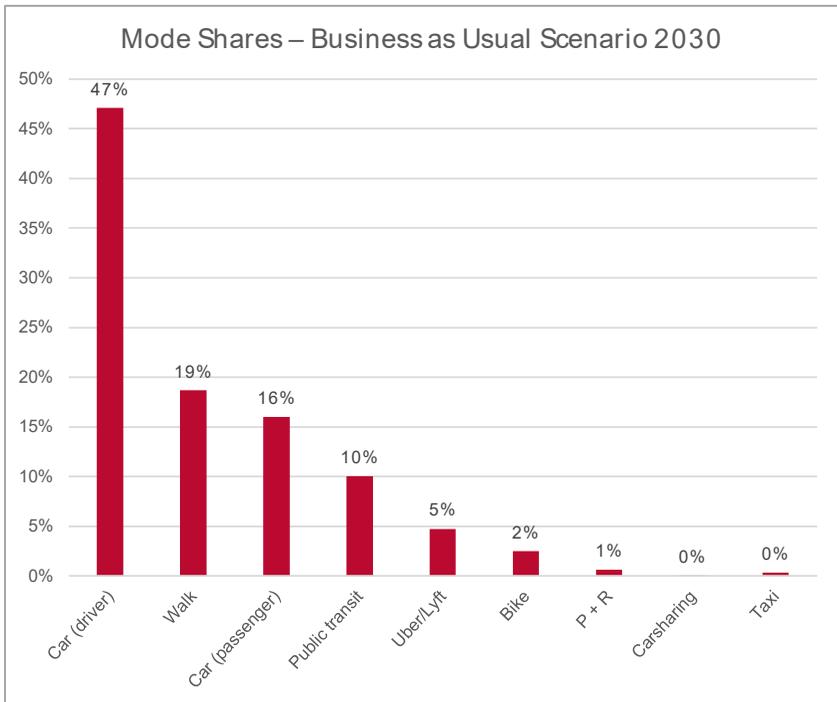


Abbildung 4.28: Modal Split für Boston Area für Prognose-Nullfall 2030 – eigene Berechnungen³⁴⁶

Ob Ridehailing und Ridepooling als seltenes Verkehrsmittel eingestuft sind, ist im Einzelfall zu prüfen. Obwohl in bestimmten Gebieten oder Ländern Ridehailing und Ridepooling als gängige Verkehrsmittel angesehen werden können, werden diese Verkehrsmittel in Deutschland eher selten genutzt, so dass diese bei Erhebungen und bei der Modellierung als seltene Ereignisse anzusehen sind. Es gilt somit, die Nutzungen über einen längeren Zeitraum zu analysieren, um valide Aussagen treffen zu können.

³⁴⁶ Kagerbauer et al., „Pilot Somerville“.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Für die Berücksichtigung von Ridehailing und Ridepooling sind je nach Angebot und Nutzung des Dienstes längere Untersuchungszeiträume notwendig.

4.2.3.3 Anpassung der Planungswerkzeuge in Folge von Ridesharing, Ridehailing und Ridepooling

Die in Kap. 4.2.3.2 dargestellten und im Folgenden zusammengestellten Auswirkungen auf die Verkehrsplanungswerkzeuge durch Ridehailing und -pooling-Diensten sind:

- Berücksichtigung der Eigenschaften der Nutzenden und deren Kenntnis sowohl des Angebots von Ridehailing- und -pooling-Verkehrsmitteln, als auch des Zugangs zu den individuell verfügbaren Angeboten.
- Integration von Eigenschaften der Ridehailing- bzw. Ridepooling-Fahrzeuge und des -Service, um Fahrtwünsche durchführen zu können.
- Integration des Ridepooling-Algorithmus, um Ridepooling-Systeme abbilden zu können.
- Notwendigkeit längerer Untersuchungszeiträume für die Berücksichtigung von Ridehailing und Ridepooling je nach Angebot und Nutzung des Dienstes.

Diese daraus resultierenden Auswirkungen auf Erhebungen und Modellierung können wie folgt berücksichtigt werden.

4.2.3.3.1 Erhebung

In der Regel liegen bei den Anbietern von Ridehailing und Ridepooling-Diensten keine detaillierten Daten über die Nutzenden vor. Die Nutzerinnen und Nutzer dieser Dienste melden sich meist über eine digitale Plattform an. Es stehen dann nur E-Mailadresse und der Name sowie eine Abrechnungsform zur Verfügung. Weitere Informationen zu Soziodemografie oder zu sonstigen Eigenschaften der Nutzenden können nur aus Erhebungen generiert werden.

Da die Nutzergruppen bei Ridehailing und Ridepooling-Diensten nicht sehr groß sind, ist es sinnvoll, eine Erhebung über die zur Verfügung stehenden E-Mail-Adressen und unter Berücksichtigung von Datenschutzbelangen durchzuführen. Eine Standard-Haushaltsbefragung mit einer Stichprobenziehung aus einem Einwohnermelderegister ist auch möglich, allerdings werden hier viele Leute angesprochen, die den Dienst unter Umständen nicht nutzen. Der daraus entstehende finanzielle Aufwand steht in keinem Verhältnis zum Ertrag. Werden allerdings auch Informationen über potenzielle Nutzende, die heutigen Nichtnutzenden des Dienstes, benötigt, bietet es sich an, die Erhebung weiter zu streuen und die Stichprobe größer als den Kreis der Kundinnen und Kunden zu fassen. Erhebungen mit einer simpleren Stichprobenziehung als einer Zufallsstichprobe aus dem Einwohnermelderegister sind auch möglich. Hierbei ist aber darauf zu achten, dass eine gewisse Repräsentativität der Stichprobe gewährleistet wird und die Stichprobe nicht zu schief ist. Mit diesen Möglichkeiten der verschiedenen Ausgestaltung der Erhebung kann die Struktur der bereits Nutzenden und der gegebenenfalls potenziellen, neuen Nutzenden ermittelt werden, um auf dieser Basis Grundlagen für die Nachfragemodellierung zu erhalten. Mögliche Fragen sind:

- Soziodemografie,
- aktuelles Verkehrsverhalten, Nutzungshäufigkeiten verschiedener Modi,
- Besitz von verschiedenen Mobilitätswerkzeugen (z. B. Führerschein, Pkw- oder Fahrradbesitz, ÖV-Zeitkarte),
- Mitgliedschaften bei bestimmten Mobilitätsdiensten (z. B. Carsharing).
- Einstellungen zu verschiedenen Verkehrsmitteln und
- Einflussfaktoren, die die Wahl des Service beeinflussen.

Für die Modellierung sind außerdem Daten der Nutzung der Dienste notwendig. Hierfür gibt es wie bei der Modellierung von Fahrzeugsharing zwei Möglichkeiten (vgl. 4.2.2.3.1): Erstens, auf Basis von Revealed-Preference-

Befragungen derzeitige Nutzende nach ihren Nutzungen und den Eigenschaften der Nutzungen zu fragen (z. B. letzte Fahrt mit dem betreffenden Service oder Anzahl der Fahrten in einem Zeitraum von x Wochen). In diesem Fall ist darauf zu achten, dass in der Stichprobe genügend Probanden enthalten sind, die den Dienst bereits genutzt haben. Die Erhebung sollte einen längeren Berichtszeitraum umfassen, um genügend Wege mit den Diensten analysieren zu können, da es sich um relativ seltene Ereignisse handelt.

Zweitens besteht die Möglichkeit, die Daten zu den Nutzungen der Dienste über Stated-Preference-Befragungen zu erhalten. Dabei werden den Probanden verschiedene hypothetische Wahlmöglichkeiten zur Auswahl gestellt. Aus den gewählten und den nicht gewählten Alternativen können dann Zielwahl- oder Verkehrsmittelwahlmodelle geschätzt werden. Details können dem Kapitel 3.2.2 entnommen werden. Ein Beispiel, wie eine SP-Erhebung für Ridepooling-Dienste aussehen könnte, zeigt Abbildung 3.9.

4.2.3.3.2 Modellierung

Grundsätzlich ist das (private) Mitfahren in mobiTopp ein eigenes Verkehrsmittel und funktioniert wie folgt: Das Verkehrsmittel MIV als Mitfahrende steht allen Personen zur Verfügung, die nicht mit dem Auto oder mit dem Fahrrad unterwegs sind. In der Regel werden diese Verkehrsmittelwahlmodelle mit Logit-Modellen geschätzt (siehe Kap. 3.3). Die Alternativen sind die unterschiedlichen anderen Verkehrsmittel. Da das Mitfahren häufig im Bekannten- oder Familienkreis stattfindet, wird die Menge an Agenten, die als Fahrende zur Verfügung stehen, eingeschränkt. Die Auswahlmenge an Fahrenden reicht von der Einschränkung von einzelnen Mitgliedern des Haushalts bis hin zu allen Personen, die in einer Zelle wohnen. Diese Einschränkungen können variabel verwendet werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Zeitpunkt des Beginns des Weges zwischen den Fahrenden und den Mitfahrenden in einer gewissen Zeitspanne zu koordinieren, so dass die Abfahrtszeitpunkte übereinstimmen. Zusätzlich dazu ist auch Voraussetzung, dass die Quelle-Ziel-Relationen auf Basis von Verkehrszellen übereinstimmen. Wird nach einer festzulegenden Wartezeit des Mitfahrenden keine passende Fahrt

gefunden, wird die Wahl des Mitfahrens für diesen Agenten verworfen und eine neue Verkehrsmittelwahl durchgeführt.³⁴⁷

Die Integration von Ridesharing kann in mobiTopp analog dem privaten Mitfahren erfolgen. Es ist zusätzlich eine Anpassung der Einschränkungen des Personenkreises (Agenten), die als Fahrende zur Verfügung stehen können, nötig. So können zum Beispiel Fahrende aus benachbarten Zellen, die eine Ridesharing-Fahrt anbieten, zu dem Fahrtwunsch der Ridesharing-Mitfahrenden zugeordnet werden. Wartezeiten der Mitfahrenden und Umweg-Sensitivitäten der Fahrenden können flexibel angepasst werden. Kann ein Fahrtwunsch keiner Fahrt unter Berücksichtigung der gesetzten Rahmenbedingungen zugeordnet werden, ist die Ridesharing-Fahrt nicht möglich und die Verkehrsmittelwahl muss erneut durchgeführt werden. Ridesharing wird, wie Mitfahren auch, als eigenes Verkehrsmittel abgebildet.

Die Integration von Ridehailing und Ridepooling in mobiTopp erfolgt relativ ähnlich ebenfalls als eigenes Verkehrsmittel, nur mit dem Unterschied, dass zusätzlich zum Zuordnen der Fahrten eine Flotte mit Fahrzeugen für jeden Dienst einzeln angelegt und zur Verfügung stehen muss. Jedes dieser Fahrzeuge ist ein eigener Fahrzeug-Agent und hat die Eigenschaften des jeweiligen Dienstes (Betriebsgebiet, Einsatzzeiten, Kosten etc.). Dabei stehen Ridehailing und Ridepooling jeweils im Choice-Set der Verkehrsmittelwahl zur Verfügung. Innerhalb eines Verkehrsmittels können auch verschiedene Anbieter unterschieden werden, die eine eigene Kundschaft oder eigene Eigenschaften haben.

Wird in der Verkehrsmittelwahl (i. d. R. mit Logit-Modellen) Ridehailing oder Ridepooling als Verkehrsmittel ausgewählt, wird nach einem geeigneten Fahrzeug in der entsprechenden Flotte gesucht. Aus der Entfernung des Flottenfahrzeugs zum Standpunkt des Fahrgastes und der jeweiligen tolerierten Wartezeit des Fahrgasts bis ein Fahrzeug eintrifft, wird überprüft, ob ein

³⁴⁷ Mallig, *Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell*.

Fahrzeug-Agent aus der Flotte dem Fahrtwunsch zugeordnet werden kann. Falls kein Fahrzeug dem Fahrtwunsch zugeordnet werden kann, steht der Modus nicht zur Verfügung und die Verkehrsmittelwahl muss neu durchgeführt werden.

Während beim Ridehailing die Fahrt nach einer erfolgten Zuordnung eines Ridehailing-Fahrzeug-Agenten zum Fahrtwunsch durchgeführt wird, können beim Ridepooling noch weitere Fahrgäste während der Fahrt aufgenommen werden. Bei einem neuen Ridepooling-Fahrtwunsch werden nicht nur die Standorte der freien Ridepooling-Fahrzeug-Agenten dahingehend analysiert, ob sie zu einem Fahrtwunsch passen, sondern auch alle Ridepooling-Fahrzeug-Agenten, die sich gerade im Netz und in der Nähe des Fahrtwunsches befinden. Dabei werden nur die Ridepooling-Fahrzeug-Agenten betrachtet, die noch freie Mitfahrkapazitäten haben. Wird unter Berücksichtigung der tolerierten Wartezeiten des Fahrtwunsches und des tolerierten Umwegs der im Fahrzeug befindlichen Passagiere einem Fahrtwunsch eine Fahrt zugeordnet, wird ein neuer Fahrgast in dem Ridepooling-Fahrzeug-Agenten aufgenommen und ein Umweg gefahren. Die Variation der Rahmenbedingungen beim Ein- und Aussteigen der Fahrgäste (tolerierte Wartezeiten, Zugangszeiten der Fahrzeug-Agenten etc.) kann der Ridepooling-Algorithmus abbilden. Dies kann beliebig komplex gestaltet werden. Dabei sollte allerdings die Laufzeit der Simulation in Betracht gezogen werden.³⁴⁸

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass sich die Fahrzeug-Agenten, sowohl im Ridehailing- als auch im Ridepooling-Service, im Netz bewegen können, sofern sie keine aktive Fahrt durchführen. Somit können sich die Fahrzeug-Agenten an Orte bewegen, an denen eine hohe Nachfrage oder ein nächster Fahrtwunsch zu erwarten ist.

³⁴⁸ Gabriel Wilkes, Roman Engelhardt, Lars Briem, Florian Dandl, Peter Vortisch, Klaus Bogenberger und Martin Kagerbauer, „Self-Regulating Demand and Supply Equilibrium in Joint Simulation of Travel Demand and a Ride-Pooling Service.“ In *TRB 100th Annual Meeting*, hrsg. von Transportation Research Board (2021).

Ob ein Personen-Agent Zugang zu einem dieser Services hat, kann in Form eines Besitzmodells abgebildet werden. Dies kann analog zum Fahrzeugsharing oder zum Pkw-Besitzmodell auch für das Zugangsmedium zu den Diensten erfolgen, in der Regel einer App, mit der der Dienst gebucht wird.

Da das Matching der Fahrtwünsche zu den Fahrzeug-Agenten nicht nur eine räumliche, sondern auch eine zeitliche Komponente hat, ist nicht nur der Raumbezug, sondern auch eine koordinierte Simulationszeit zu berücksichtigen. Es bietet sich an, eine kontinuierlich ablaufende Uhrzeit im Modell zu haben, so dass Fahrtwünsche und Fahrten zeitlich koordiniert werden können. Das ist auch deshalb notwendig, da unterschiedliche Dienste unterschiedliche Nachfragespitzen haben.

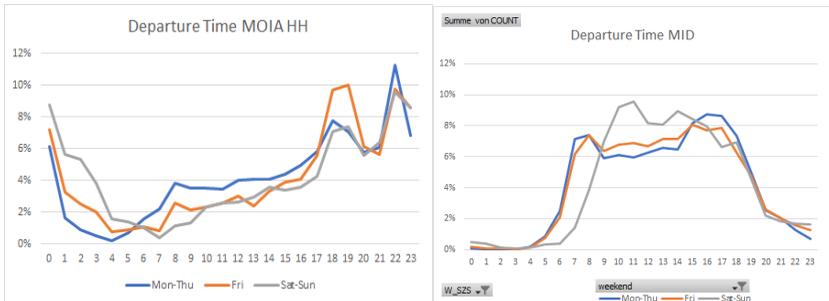


Abbildung 4.29: Zeitliche Verteilung der Nachfrage an MOIA-Fahrten (Hamburg, linker Teil) und an allen Verkehrsmitteln (MiD, rechter Teil)³⁴⁹

Sind Ridepooling-Systeme in den ÖV integriert, sind die Rahmenbedingungen der Integration in den Eigenschaften der Fahrzeug-Agenten der jeweiligen Flotte zu berücksichtigen. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen: Ist eine Ridepooling-Fahrt nur eine Etappe eines Weges und muss eine weitere Etappe wegen der ÖV-Integration mit einem ÖV-Verkehrsmittel durchgeführt werden, muss dies bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt werden. Dieses

³⁴⁹ Kagerbauer et al., „MOIA Begleitforschung“.

Beispiel ist zwingenderweise ein intermodaler Weg, der gesondert zu betrachten ist. Details hierfür sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Analog zum Fahrzeugsharing sind Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Fahrten ebenfalls seltene Ereignisse, so dass auch hier ein längerer Modellierungszeitraum von mindestens einer Woche erforderlich ist, um diese Fahrten der Services adäquat berücksichtigen zu können; gerade, wenn die Nutzungshäufigkeiten verschiedener Agenten mit unterschiedlicher Soziodemografie abgebildet werden sollen.

4.2.3.4 Schlussfolgerung

Im Bereich der Erhebung und Modellierung von Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Diensten ist es sinnvoll, auf Agenten-Ebene zu agieren. Sowohl im Bereich der Personen als Mitfahrende, als auch im Bereich der Fahrzeuge, die Mitfahrende aufnehmen. Um die Mitfahrenden zu den Fahrzeugen sinnvoll zu matchen, ist der zeitliche und räumliche Kontext bei Fahrzeug- und Personen-Agenten zu berücksichtigen. Mit Hilfe von zeitgenauen, agenten-basierten Nachfragemodellen ist dies gut möglich.

Die Mobilitätserhebungen für Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Dienste weisen im Vergleich zum Fahrzeugsharing keine Unterschiede auf und haben wenig Spezifika. Je nach Verbreitung der Dienste ist darauf zu achten, dass eine geeignete, entsprechend große Fallzahl in der Stichprobe enthalten ist. Bei RP-Befragungen ist ggf. die Stichprobenziehung anzupassen, bei SP-Befragungen ist eine geeignete Fragestellung auszuwählen.

Bei der Modellierung von Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Diensten werden die Dienste als eigenes Verkehrsmittel modelliert, das genauso gewählt werden kann, wie ein konventionelles Verkehrsmittel. Bei der Verkehrsentstehung und bei der Zielwahl kann davon ausgegangen werden, dass durch Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Dienste keine großen Veränderungen im Mobilitätsverhalten hervorgerufen werden, da es sich lediglich um eine besondere Art des Mitfahrens handelt, das i. d. R. keine Bewegungsräume der Menschen erweitert. Es ist somit kein grundlegend

neuartiges Verkehrsmittel, sondern eher ein zusätzliches Angebot, das von Mobilitätsdienstleistern zur Verfügung gestellt wird. Um Ridesharing-, Ridehailing- und Ridepooling-Dienste in der Verkehrsmittelwahl berücksichtigen zu können, ist es wichtig, die Spezifika der jeweiligen Dienste zu integrieren, die modelltechnisch als Fahrzeugflotte mit Fahrzeug-Agenten dargestellt wird. Zusätzlich zur Wahl der jeweiligen Verkehrsmittel ist auch ein passendes Flottenfahrzeug zu finden, das den Mitfahrwunsch unter Berücksichtigung von Wartezeiten und Umwegen erfüllen kann. Mit verschiedenen Ausgestaltungen der jeweiligen Flotten, z. B. in Form von geeigneten Fahrzeugen, Fahrzeugmengen, Bedienebenen, Kostenstrukturen ist es möglich, die künftige Nachfrage zu prognostizieren und die Wirkungen der jeweiligen Systeme abzubilden. Diese Planungen helfen zum einen den Anbietern der Dienste, die Systeme sinnvoll an die Nachfrage angepasst zu dimensionieren, so dass diese wirtschaftlich handeln können. Zum anderen kann damit für die Allgemeinheit ein akzeptables und sinnvolles Angebot geschaffen werden.

Gerade der Ridepooling-Dienst wird oft in Kombination mit dem ÖV angeboten. Diese Integration führt zu einer Förderung des intermodalen Verkehrsverhaltens. Dieser Aspekt wird in Kapitel 4.3 „Multi- und Intermodalität als Folge neuer Mobilität“ näher betrachtet.

4.2.4 Automatisierung

Oft wird der Begriff „autonome Fahrzeuge“ verwendet. Die Definition von autonomen bzw. vollautomatisierten Fahrzeugen wird jedoch oft nicht einheitlich verwendet. Grundlegende Definitionen sind in Maurer et al.³⁵⁰ zu finden, die in der folgenden Aufzählung zitiert werden. Um eine einheitliche Sprache in der Begrifflichkeit zu haben, gibt es eine Aufstellung der Fahrstufen der

³⁵⁰ Markus Maurer et al., Hrsg., *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (s.l.: Springer, 2015).

Automatisierung nach der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST (Abbildung 4.30).

- Vollautomatisiert: Automatisierungsgrad 4 nach BAST³⁵¹:
„Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall.
Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen.
Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf.
Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt.
Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen.“
- Autonomes Fahren: Die Fahraufgabe (nach Donges³⁵²) wird „vollautomatisiert“ ausgeführt. Diese Definition wird erweitert um die Annahme, dass die Ausführung der Fahraufgabe auf Basis maschinell autonomen Verhaltens innerhalb eines vorher festgelegten Verhaltensrahmens geschieht.

³⁵¹ Forschungs-Informations-System FIS, „Stufen des automatisierten Fahrens.“
<https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/471276/> (letzter Zugriff: 16. Juli 2020).

³⁵² Edmund Donges, „Fahrerverhaltensmodelle.“ In *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort ; mit 45 Tabellen*, hrsg. von Hermann Winner, Stephan Hakuli und Gabriele Wolf. 1. Aufl., 15–23, PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch (Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009).

Nomen- klatur	Beschreibung Automatisierungsgrad und Erwartung des Fahrers	Beispielhafte Systemausprägung
Nur Fahrer	Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigung/Verzögerung) und die Querführung (lenken) aus	Kein (Fahrerassistenz-) System aktiv
Assistiertes Fahren	Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt - Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein	Adaptive Cruise Control (ACC)
Teilauto- matisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum oder/und in spezifischen Situationen) - Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein	Autobahnassistent
Hochauto- matisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen - Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen - Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen	Autobahn-Chauffeur
Vollauto- matisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall - Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen - Vor dem Verlassen des Anwendungsfalls fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf - Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen	Autobahnpiilot
Autonomes Fahren	Kein Fahrer erforderlich. Das System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich auf allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen	-

Abbildung 4.30: Grade der Automatisierung und ihre Definition nach BAS^{353,354}

³⁵³ Forschungs-Informationen-System FIS, „Stufen des automatisierten Fahrens“.

³⁵⁴ Nur Fahrer = Stufe 0, Assistiertes Fahren = Stufe 1, Teilautomatisiert = Stufe 2, Hochautomatisiert = Stufe 3, Vollautomatisiert = Stufe 4, Autonomes Fahren = Stufe 5

Andere Definitionen existieren auch, die ähnlich zu denen der BAST sind. Im internationalen Umfeld werden meist die Definitionen nach SAE³⁵⁵ verwendet (vgl. Abbildung 4.31).

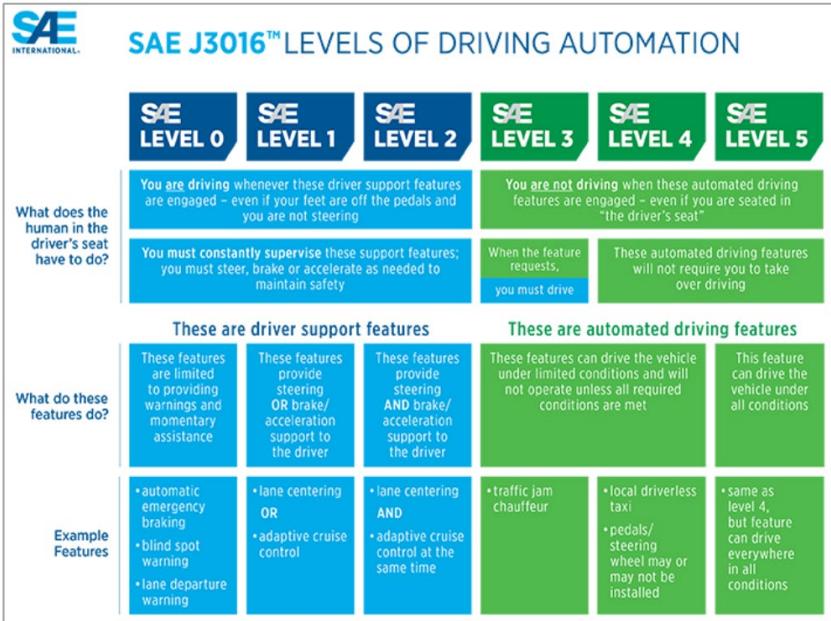


Abbildung 4.31: Levels (Stufen) of Driving Automation nach SAE J3016³⁵⁶

Wirkungen von automatisierten Fahrzeugen auf Verkehrsnachfrage und -angebot und somit für die Relevanz für Verkehrsplanungstools werden erst dann wichtig, sofern die Fahrfunktion nicht mehr von einem Menschen übernommen werden muss. Das ist in den Bereichen vollautomatisiert (Stufe 4)

³⁵⁵ sae.org, „Levels of Driving Automation.“. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles> (letzter Zugriff: 16. Juli 2020).

³⁵⁶ Ebd.

oder autonom (Stufe 5), oft auch fahrerlos bezeichnet, der Fall. Im Folgenden werden nur diese Stufen weiterverfolgt, da bei den anderen Stufen keine Veränderungen im Verkehrsverhalten zu erwarten sind.

4.2.4.1 Definition

Bei der Definition der Anwendungsgebiete wird zwischen öffentlich zugänglichem Verkehr und privat zugänglichem Verkehr, in der Regel Pkw-Verkehr (vgl. Tabelle 2.1), unterschieden. Dabei liegt der Fokus jeweils auf der Wirkung dieser neuen Angebotsform auf die Verkehrsplanungstools.

4.2.4.1.1 Automatisierung im öffentlich zugänglichen Verkehr

Automatisierung im Kontext des öffentlich zugänglichen Verkehrs bedeutet, dass die Fahrfunktionen über Sensoren und von Algorithmen statt von Fahrzeugführenden übernommen werden. Für den Fahrgast selbst ändert sich im Beförderungsvorgang durch die Automatisierung wenig, vorausgesetzt die Fahrt verläuft hinsichtlich Geschwindigkeit, Fahrverhalten etc. ähnlich wie von Fahrzeuglenkenden durchgeführt. Der Modus Öffentlicher Verkehr erfolgt mit verschiedenen Verkehrsmitteln und verschiedenen Kapazitäten. Große, schienengebundene Fahrzeuge, wie z. B. S-Bahnen oder Straßenbahnen, transportieren viele Fahrgäste auf Haupttrouten. Diese Fahrzeuge sind in ihrer Routenführung relativ unflexibel, da sie auf Schienen unterwegs sind. Busse haben dahingegen eine geringere Kapazität, sind aber flexibler in der Routenwahl und in der Änderung des Fahrplans. Der ÖV ist derzeit in den Gebieten erfolgreich, in denen die Nachfrage relativ hoch ist. Im eher ländlichen Bereich oder als Zubringer im „Speckgürtel“ von Ballungsräumen ist die Nachfrage an ÖV-Fahrten geringer und somit auch das Angebot. Zudem ist der Betrieb von ÖV-Verkehrsmitteln derzeit mit wenig Nachfrage kostenintensiv, da die Personalkosten der Fahrenden einen hohen Teil der Betriebskosten verursachen. Durch autonome ÖV-Fahrzeuge können die Betriebskosten gesenkt werden und auch in Schwachlastzeiten oder in Gebieten mit geringer Nachfrage ÖV-Fahrten angeboten werden. Gerade in diesen Einsatzgebieten wäre es sinnvoll, die Daseinsvorsorge des ÖV mit kleinen, autonom fahrenden Fahrzeugen (z. B. Kleinbussen), zu stärken. Die Einsatzgebiete werden im

Forschungsprojekt LEA³⁵⁷dargelegt. Studien zeigen, dass die Akzeptanz dieser autonomen Kleinbusse vorhanden ist.³⁵⁸ Auch für größere, „normale“ ÖV-Busse führt die Automatisierung zu Einsparungen bei den Betriebskosten. Einige Praxisbeispiele zeigen, dass autonome schienengebundene Fahrzeuge und Linien sehr gut funktionieren und von den Fahrgästen kein Unterschied hinsichtlich Akzeptanz und Nutzung im Vergleich zu personengesteuerten Fahrzeugen festzustellen ist (z. B. fahrerloses Metronetz in Dubai oder fahrerlose U-Bahn in Nürnberg). Derzeit liegt der Fokus bei der Entwicklung der autonomen straßengebundenen ÖV-Fahrzeuge eher auf kleinen Bussen, die in verschiedenen Betriebsformen und -gebieten flexibel eingesetzt werden können.

Die Integration autonomer ÖV-Fahrzeuge in das ÖV-System kann auf verschiedene Weise funktionieren. Entweder ganz konventionell in ein Taktsystem mit festen Routen und Haltestellen oder als flexibler Flächenbetrieb nach Bedarf (on demand).³⁵⁹ In Abbildung 4.32 ist die Akzeptanz in der Bevölkerung je nach Einsatzgebiet aufgeführt.

³⁵⁷ Inga Luchmann, Christian Reuter, Daniel Karthaus, Petra Strauß, Eva-Maria Knoch, Nadine Kostorz, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer, Michael Frey, Jörg Niemann und Christian Baumann, „Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV: Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-) Bus.“ (2019).

³⁵⁸ Nadine Kostorz, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Automatisierte Kleinbusse im Öffentlichen Personennahverkehr - Akzeptanz und Nutzungsintentionen in Deutschland.“ In *Journal für Mobilität und Verkehr - Neue Formen der Mobilität*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 23–32 (2019).

³⁵⁹ Inga Luchmann, Christian Reuter, Martin Kagerbauer, Nadine Kostorz und Tim Hilgert, „Fahrerlose Kleinbusse im ÖPNV: Chancen und Herausforderungen: Erste Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA(Klein-)Bus.“ *Der Nahverkehr* 37, Nr. 4 (2019): 52–56.

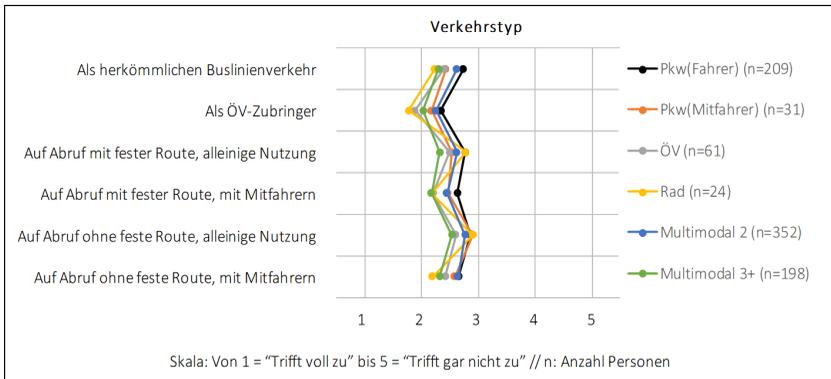


Abbildung 4.32: Vergleich der Nutzungsabsicht bei verschiedenen Verkehrstypen³⁶⁰

Die Integration der autonomen Fahrzeuge in die Verkehrsplanungsprozesse und -tools erfolgt in Abhängigkeit von der Betriebsform. Die Erhebung und Modellierung von in den ÖV integrierten Systemen mit festen Linienrouten und Takt erfolgt wie bei konventionellen ÖV-Fahrzeugen, da es, abgesehen von der Akzeptanz dieser neuen Fahrzeuge, die i. d. R. nur in den ersten Jahren der Inbetriebnahme eine Rolle spielt, keine systemischen Veränderungen gibt. Das bedeutet weiterhin Erhebungen in den ÖV-Fahrzeugen mit Fahrgastbefragungen oder über Haushaltsbefragungen und Modellierung als ÖV.

Flexible Bedienformen mit automatisierten Fahrzeugen (z. B. Kleinbussen) können analog zu in ÖV-integrierten oder auch selbständigen Ridepooling-Diensten (vgl. Kap. 4.2.3.1.3 und 4.2.3.2/4.2.3.3) behandelt werden. Ob der Transport der Fahrgäste von Fahrpersonal durchgeführt oder von Sicherheitspersonal oder einer Zentrale überwacht wird, hat nach einer Eingewöhnungszeit der Fahrgäste an die Technik langfristig wenig bis keine Wirkungen auf deren Verkehrsverhalten. Da ganz allgemein Planungen längerfristig ausgelegt sind (Planungshorizonte sind mindestens 5 bis 30 Jahre), werden

³⁶⁰ Luchmann et al., „Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV“.

kurzfristigen Akzeptanzangelegenheiten hier nicht betrachtet. Vorausgesetzt wird eine grundsätzliche Akzeptanz der Technologie, da diese ansonsten nicht langfristig in den Verkehrsmitteln Verwendung finden würde. Die Rahmenbedingungen der Fahrt selbst, wie beispielsweise gefahrene Geschwindigkeiten und daraus resultierende Reisezeiten etc., fließen immer in die Erhebung und vor allem in die Modellierung ein. Die Nutzung dieser Verkehrssysteme hängt, wie bei allen Modi, von diesen Kenngrößen ab. Haben autonome Fahrzeuge Zubringerfunktion z. B. zum schienengebundenen ÖV, so wird das intermodale Verkehrsverhalten gefördert. Die Integration von Intermodalität in Planungswerkzeuge wird in Kap. 4.3.2 beschrieben.

Zudem besteht die Möglichkeit der Automatisierung auch bei den geteilten Verkehrsmitteln. Sowohl im Carsharing als auch im Bikesharing gibt es Entwicklungen zur Automatisierung, unter anderem auch von Lastenrädern. Zudem gibt es Ansätze im Ridehailing und Ridepooling. Vorausgesetzt, die Technik der autonomen Fahrzeuge ist vergleichbar mit den heutigen Fahreigenschaften hinsichtlich Geschwindigkeiten und Aktionen der Fahrenden, und die Akzeptanz zur Nutzung der Fahrzeuge ist vorhanden, ergeben sich im Bereich des Ridehailings bzw. -poolings keine Unterschiede im Verkehrsverhalten der Nutzenden, die in den Verkehrsplanungstools berücksichtigt werden müssten, da sie nicht anders als heute mitfahren würden. Ggf. sind noch Akzeptanzaspekte hinsichtlich des Sicherheitsgefühls der Mitfahrenden des autonomen Fahrens zu berücksichtigen, sofern kein Fahrpersonal mehr anwesend ist. In einer Endstufe der Automatisierung könnte sich das Carsharing zu einem Ridehailing ohne Fahrende wandeln, da die Fahrtätigkeit selbst nicht mehr zwingend notwendig ist. Das autonome Fahrzeug holt den Fahrgast ab und bringt ihn ans Ziel. Beispielsweise wäre bei vollautomatisierten Fahrzeugen, die nur mit geringen Geschwindigkeiten ohne Fahrzeuglenkende fahren können, ein Anwendungsfall, dass die Carsharing-Fahrzeuge selbstständig zu den Nutzenden kommen und der Zu- bzw. Abgangsweg zur Station oder zum Fahrzeug entfällt. Für die Nutzenden eines derart gestalteten Carsharing-Systems wären dann der Fahrtantritt und die Fahrt ähnlich wie bei einem privat besessenen Pkw, der unmittelbar zur Verfügung steht (also

z. B. vor der Haustür). Das müsste dann in Erhebungen und Modellierung als Rahmenbedingung berücksichtigt werden. Allerdings sind dazu keine großen methodischen Eingriffe in die Erhebungs- und Modellierungsdurchführung notwendig, sondern nur in die Ausprägung der Variablen (Zugangszeit, Geschwindigkeiten etc.). Dies kann auch Einfluss auf die Besitzmodelle haben. Die methodischen Anpassungen sind in Kap. 4.2.2.2 für Carsharing bzw. 4.2.3.2 für Ridehailing/Ridepooling beschrieben. Zudem hätte dieser Fall auch Auswirkungen auf die Modellierung der intermodalen Wege. Auf beide Anwendungsfälle wird deshalb in diesem Kapitel nicht vertieft eingegangen. Letztere werden in Kap. 4.3.2 näher erläutert.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass autonome Fahrzeuge im öffentlich zugänglichen Verkehr im Wesentlichen keine Neuerungen für die Verkehrswerkzeuge zur Folge haben. Ausgenommen sind die bereits beschriebenen Eigenschaften:

- flexibler Flächenbetrieb (analog Ridepooling),
- der Zubringerfunktion (Intermodalität),
- Carsharing wird bei Vollautomatisierung zu Ridehailing oder bei weniger ausgereiften Systemen entfällt der Zu- bzw. Abgangsweg.

4.2.4.1.2 Automatisierung im privat zugänglichen (Pkw-)Verkehr

Im privaten Pkw-Verkehr gibt es bei der Automatisierung (ab Stufe 4) tiefgreifende Veränderungen im Ablauf einer Fahrt. So muss die Fahrfunktion selbst nicht mehr von Personen übernommen werden. Je nach Stufe der Automatisierung muss bei Stufe 4 ggf. der Mensch nach ausreichender Zeitreserve die Fahraufgabe übernehmen oder bei Stufe 5 nie mehr eingreifen. Das bedeutet, dass für diejenigen, die ohne Automatisierung als Fahrende unterwegs waren, die Zeit des Fahrens anderweitig verwendet werden kann, da die Fahraufgabe nun von dem Fahrzeug übernommen wird. Über das Fahrzeug kann aber nach wie vor ohne Einschränkungen bzw., sofern das Fahrzeug von mehreren Personen verwendet werden kann, ggf. in Absprache mit anderen Personen (z. B. dem Haushalt), verfügt werden. Rein theoretisch besteht auch die

Möglichkeit, das Fahrzeug ohne Insassen an bestimmte Orte zu schicken, um z. B. Erledigungen durchzuführen oder jemanden abzuholen. Auch der Parksuchverkehr kann sich dadurch ändern, wenn die Insassen z. B. in Innenstadtnähe aussteigen und das Fahrzeug ohne Insassen einen Parkplatz aufsucht. Vergleichbare Anwendungsfälle gibt es viele. Da die Automatisierung derzeit in dieser Ausbaustufe noch nicht serienreif ist, aber vor allem auch die (verkehrs-)rechtlichen Rahmenbedingungen noch nicht geklärt sind, sind diese Überlegungen rein theoretischer Art, so dass diese im Jahr 2020 nicht umfassend abgedeckt werden können. Um diese Anwendungsfälle der autonomen Fahrzeuge sinnvoll einsetzen zu können, sind gesetzliche Regelungen notwendig, da die Infrastrukturkapazität im Straßenverkehr noch nicht darauf ausgelegt ist, dass Fahrzeuge ohne Insassen unterwegs sind. Dies könnte schnell zu einer Überschreitung der Leistungsfähigkeit des Straßennetzes führen. Zudem wäre es auch möglich, dass private Pkw in der heutigen Form nicht mehr existieren, da nur autonome, geteilte Fahrzeuge unterwegs sind, die auch Menschen transportieren, die nicht zwingend fahrtauglich sein müssen (z. B. Kinder). Dies hätte tiefgreifende Folgen für die Verkehrsplanung. Neben diesen (verkehrs-)rechtlichen Aspekten gibt es weitere Hemmnisse bei der Einführung der Automatisierung, die technologischer, infrastruktureller Natur sind und die die Erneuerung der Flotte betreffen (vgl. Abbildung 4.33).

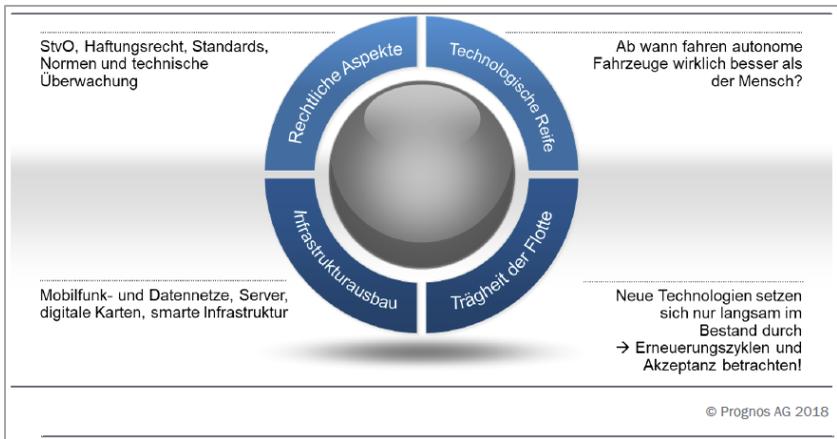


Abbildung 4.33: Hemmnisse bei der Einführung des autonomen Fahrens³⁶¹

Der Übergang zwischen den Stufen der Automatisierung (vgl. Abbildung 4.30) ist fließend und äußert sich vor allem in der Implementierung verschiedener Fahrfunktionen. Beispiele dieser Fahrfunktionen mit prognostiziertem Eintrittshorizont zeigt Abbildung 4.34, die von der Arbeitsgruppe Intelligent MOVE der e-mobil BW entwickelt wurde.

³⁶¹ ADAC, „Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte: Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit.“ (2018).

4 Anforderungen neuer Mobilitätsformen an die Verkehrsplanung

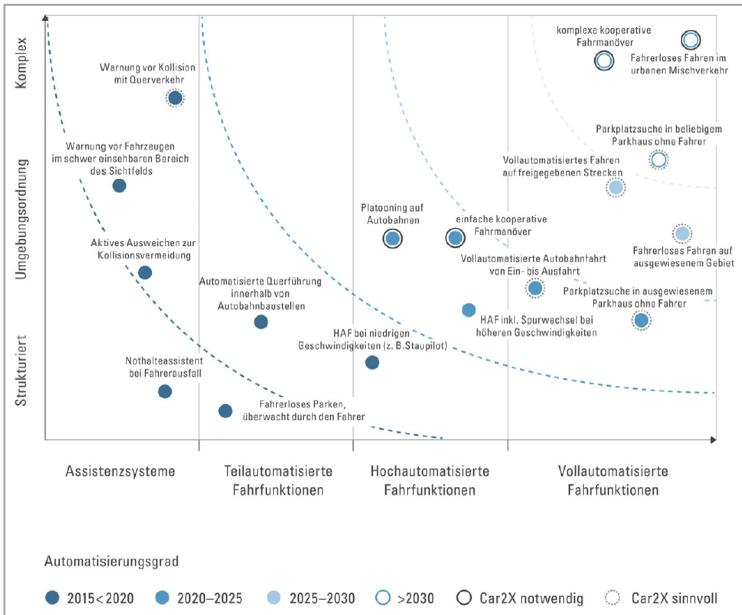


Abbildung 4.34 Exemplarische Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen³⁶²

Ab wann autonome Fahrzeuge vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge in großer Anzahl im Verkehrssystem sein werden, ist ungewiss. Studien³⁶³ gehen davon aus, dass es erst ab 2040 der Fall sein wird, wie Abbildung 4.35 zeigt.

³⁶² e-mobil BW GmbH, „Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch: Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg.“ (2015).

³⁶³ ADAC, „Einföhrung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte“.

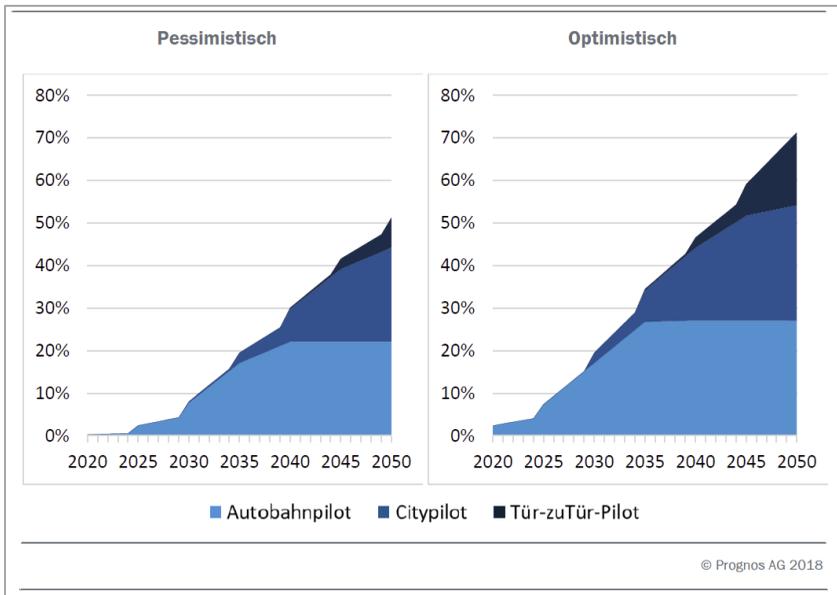


Abbildung 4.35: Anteil der Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen an den Neuzulassungen³⁶⁴

Da es eine Vielzahl von künftigen Gedankenspielen zur Ausgestaltung des Verkehrssystems mit autonomen Fahrzeugen gibt, ist es nicht möglich bzw. nur theoretischer Natur, diese in Handlungsanweisungen für die Anpassung von Verkehrsplanungswerkzeugen zu überführen.

In diesem Kapitel wird dennoch auf die Folgen der Automatisierung auf den Pkw-Verkehr eingegangen. Bei dem folgenden Anwendungsfall wird vom voll-automatisierten bzw. autonomen Fahren ab Stufe 4 ausgegangen und folgende Eigenschaften zu Grund gelegt:

³⁶⁴ ADAC, „Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte“.

- Die Fahrfunktion wird vom Fahrzeug und nicht von einem Menschen übernommen und alle Insassen können andere Tätigkeiten als das Fahren durchführen.
- Das Fahren mit vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen ist nur mit Insassen möglich. Mindestens einer davon muss eine Fahrerlaubnis haben, um ggf. im ganz unerwarteten Fall und nach angemessener Zeit eingreifen zu können.

Für diesen Anwendungsfall werden Anforderungen für die Integration der Automatisierung in die Verkehrsplanungswerkzeuge abgeleitet.

4.2.4.2 Anforderungen der Automatisierung an die Planungswerkzeuge

Obwohl vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge (Stufe 4 und 5) Stand 2020 noch nicht massentauglich auf dem Markt sind, ist es dennoch für die Verkehrsplanung wichtig, Wirkungen des autonomen Fahrens zu kennen, um künftige Infrastrukturen darauf auszulegen. Die Wirkungen von autonomen Fahrzeugen sind vielfältig:

Durch das autonome Fahren besteht die Möglichkeit, dass sich der Besitz von Fahrzeugen komplett ändert. Da die Fahrzeuge selbständig zum Startpunkt eines Weges einer Person kommen können, und dann, wenn sie benötigt werden, vor Ort sind, ist es denkbar, dass der privat besessene Pkw nicht mehr den Stellenwert und den Komfortvorteil hat wie heute. Das bedeutet aber gleichzeitig, dass Ridehailing- und Ridepooling-Dienste eine größere Bedeutung bekommen, sofern die Fahrzeuge nicht mehr im Privatbesitz, sondern Teil einer Flotte sind, die von allen Menschen gebucht werden können. Für Menschen, die gerne noch selbst mit dem Auto als Fahrende unterwegs sind, muss es auch nicht mehr zwingend notwendig sein, einen Pkw selbst zu besitzen. Das gewünschte Fahrzeug könnte selbständig zum gewünschten Abfahrort der Fahrenden kommen und das Fahrzeug wird dann von ihr oder ihm zum Ziel selbst gefahren. Beide Varianten sind, in etwas abgewandelter

Form, Varianten des Fahrzeugsharings bzw. Ridehailings/Ridepoolings.³⁶⁵ Auswirkungen dieser Mobilitätsdienstleistungen wurden bereits in den Kapiteln (4.2.2 und 4.2.3) beschrieben und werden hier nicht mehr explizit erwähnt. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass weiterhin ein Großteil der Pkw im Privatbesitz ist, aber sich gegebenenfalls die Besitzquoten verändern. Dies kann anhand von Befragungen bzw. in den Besitzmodellen berücksichtigt werden. Als Folge daraus kann eine wesentlich veränderte Besitzstruktur privater Fahrzeuge resultieren.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Berücksichtigung des Einflusses von vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen auf Pkw-Besitz, (Fahrzeugsharing, Ridehailing und -pooling) und Beschreibung der Charakteristika der Besitzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status).

Da der Anteil der Pkw-Fahrten als Fahrende im Modal Split in Abhängigkeit vom Gebietstyp relativ hoch ist, ist auch die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich je nach Anzahl an vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen das Verkehrsverhalten der Pkw-Nutzenden als Fahrende ändert. Erste Studien zeigen, dass sich der VoT (Value of Time) bei Insassen in vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen aufgrund der Möglichkeit dort anderen Tätigkeiten als dem Fahren nachzugehen im Vergleich zu konventionellen Pkw ändert. Je nach Wegezweck sind diese Veränderungen des VoT unterschiedlich. Für Pendelwege reduziert sich der VoT je nach Studie zwischen 20 % und 40 %, während der VoT für Freizeit und Einkaufswege tendenziell steigt.^{366,367} Das

³⁶⁵ Michael Heilig, Tim Hilgert, Nicolai Mallig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region.“ *Transportation Research Procedia* 26 (2017): 13–21.

³⁶⁶ Viktoriya Kolarova, Felix Steck und Francisco J. Bahamonde-Birke, „Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 129 (2019): 155–169.

³⁶⁷ Gonçalo Homem de Almeida Correia, Erwin Loeff, Sander van Cranenburgh, Maaïke Snelder und Bart van Arem, „On the impact of vehicle automation on the value of travel time while

deutet darauf hin, dass auch Aktivitäten, die beim autonomen Fahren in den Fahrzeugen durchgeführt werden können, substituiert oder verschoben werden können. Erste eigene Erhebungen in einem Pretest bei Studierenden in Karlsruhe und Wien bei Wegen zur Ausbildung zeigen die Verschiebungen der Aktivitäten von Nutzenden und Nicht-Nutzenden des ÖV mit vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen im Vergleich zur heutigen Aktivitätenverwendung im öffentlichen Verkehr (vgl. Abbildung 4.36).³⁶⁸

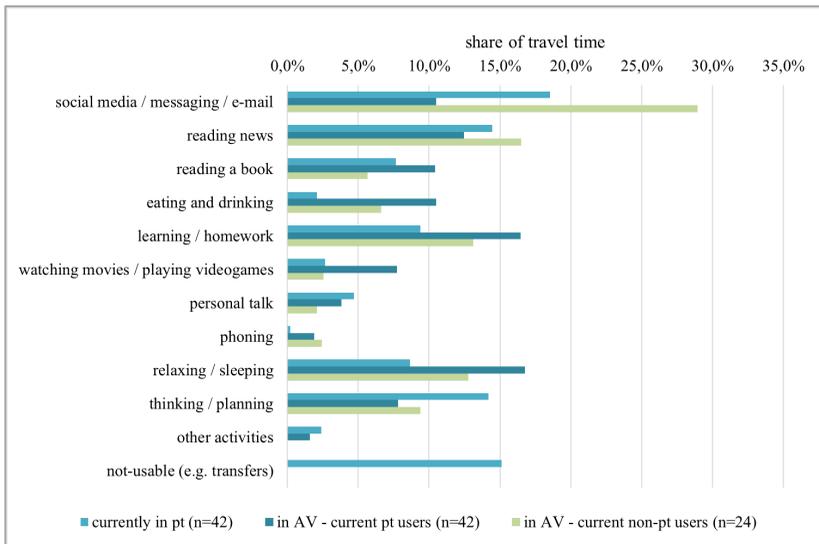


Abbildung 4.36: Potenzielle Änderungen der Zeitverwendung bei Studierenden beim Weg zur Ausbildung³⁶⁹

performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 119 (2019): 359–382.

³⁶⁸ Martin Kagerbauer, Gabriel Wilkes, Sascha von Behren und Juliane Stark, „Time Use during Activities and Trips – Potentials for Analyzing Future Travel and Activity Behavior.“ *In 12th International Conference on Transport Survey Methods*.

³⁶⁹ Ebd.

Daraus kann geschlossen werden, dass sich durch vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge, Aktivitäten verschieben bzw. substituiert werden oder mehr Zeit für neue Aktivitäten bleibt. Die bisher getrennte Verwendung der Zeit für Aktivitäten und für Wege verschwimmt zunehmend, da während des Durchführens der Wege auch Aktivitäten absolviert werden können. Für die Verkehrsplanung bedeutet das, dass die Aktivitätenketten neu strukturiert werden müssen und auch Aktivitäten während der Wege zu berücksichtigen sind. Gleichzeitig bedeutet das aber auch, dass die Aktivitäten unter Umständen spezifiziert werden müssen. Beispielhaft entfällt die Aktivität „Lesen eines Buches“ zu Hause im Falle, dass das Buchlesen während einer Pkw-Fahrt durchgeführt würde. Die zu-Hause-Aktivität kann deshalb gegebenenfalls kürzer ausfallen und eine weitere Aktivität (z. B. außer Haus) eingeschoben werden. Auch eine Verkürzung der Arbeitszeit im Büro ist denkbar, wenn Pkw-Pendelnde bereits im Fahrzeug zu arbeiten beginnen.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Berücksichtigung möglicher veränderten Aktivitäten, Aktivitätenketten und -dauern durch die Möglichkeit, während einer Fahrt mit dem vollautomatisierten/autonomen Fahrzeug Tätigkeiten durchzuführen.

Dadurch, dass Aktivitäten im Fahrzeug durchgeführt werden können, könnten längere Reisezeiten in Kauf genommen werden. Das bedeutet, dass sich auch die Zielwahl der Aktivitäten verändern könnte. Die Veränderungen des VoT deutet auch darauf hin, dass sich Weglängen, je nach Wegezweck, ändern können. Zudem kann auch die Verkehrsmittelwahl dadurch beeinflusst werden, dass im Fahrzeug Tätigkeiten durchgeführt werden, aber dennoch die Flexibilität eines individuell nutzbaren Pkw erhalten bleibt. Obwohl sich die Reisezeiten durch mehr Fahrzeuge beispielsweise bei Modal-Split-Verlagerungen hin zu vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen verändern können und die Fahrt durch höhere Verkehrsbelastungen länger dauern könnte als heute, wird eine längere Fahrtzeit nicht als zu störend wahrgenommen, da während der Fahrt Tätigkeiten erledigt werden können.

Folge für Verkehrsplanungswerkzeuge: Berücksichtigung von verändertem VoT und veränderten Aktivitäten und Aktivitätendauern in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl.

Neben potenziell zusätzlich entstehenden Hol- und Bringfahrten von Personen, die selbst nicht fahrtüchtig sind, inklusive Leerfahrten in den Zu- und Abgangswegen,³⁷⁰ wäre es denkbar, dass die Fahrzeuge ohne Passagiere im Verkehrsnetz unterwegs sind, um beispielsweise Dinge oder Güter zu holen oder abzuliefern. Theoretisch sind solche zusätzlichen Aktivitäten, die zwar von Personen veranlasst werden, aber nicht in direktem Bezug zu diesen Personen stehen, möglich. Diese und weitere theoretisch vorstellbare Anwendungen von autonomen Fahrten ohne expliziten Personenbezug und ohne Insassen sind möglich, werden hier aber nicht weiter betrachtet. Sofern autonome Fahrzeuge praxistauglich sind und eingesetzt werden, müssen dafür Übereinkünfte und Regelungen teilweise auch gesetzlicher Art getroffen werden, um das Verkehrssystem sinnvoll zu organisieren.

4.2.4.3 Anpassung der Planungswerkzeuge in Folge der Automatisierung

Die in Kap. 4.2.4.2 dargestellten und im Folgenden zusammengestellten Auswirkungen auf die Verkehrsplanungswerkzeuge durch vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge sind:

- Berücksichtigung des Einflusses von vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen auf Pkw-Besitz (Fahrzeugsharing, Ridehailing und Ridepooling) und Beschreibung der Charakteristika der Besitzenden (z. B. Soziodemografie, ökonomischer Status).
- Berücksichtigung möglicher veränderten Aktivitäten, Aktivitätenketten und -dauern durch die Möglichkeit, während einer Fahrt mit dem

³⁷⁰ Dies sind die klassischen Ridehailing-Fahrten, die in Kap. 4.2.3 beschrieben werden.

vollautomatisierten/autonomen Fahrzeug andere Tätigkeiten als das Fahren durchzuführen.

- Berücksichtigung von verändertem VoT und veränderten Aktivitäten und Aktivitätendauern in der Ziel- und Verkehrsmittelwahl.

Eine Integration von autonomen Fahrzeugen in die Verkehrsnachfrageplanung bedarf folgender Anpassungen von Erhebungen und der Modellierung.

4.2.4.3.1 Erhebung

Vollautomatisierte bzw. autonome Fahrzeuge (Stufe 4 und 5) sind heute nur im Forschungsumfeld unterwegs und auf den Straßen für die Allgemeinheit noch nicht verfügbar. Dementsprechend existieren keine Erfahrungen der Menschen mit diesen Fahrzeugen. Das bedeutet für die Erhebung des Verkehrsverhaltens, dass Auswirkungen von diesen Fahrzeugen nur „theoretisch“ und hypothetisch abgebildet werden können. Der Einsatz von RP-Erhebungen ist daher nicht möglich, sondern es können nur Befragungen in hypothetischen Märkten, also Stated-Preference-Befragungen, angewendet werden. Mit SP-Befragungen können Daten gesammelt werden, die zum einen den künftigen privaten Pkw Besitz der Menschen beschreiben, zum anderen die Verhaltensweisen hinsichtlich der Aktivitätenanzahl und -ausführung unter Berücksichtigung der vollautomatisierten/autonomen Fahrzeuge abschätzen und darüber hinaus auch noch Einschätzungen hinsichtlich des Verkehrsverhaltens (Ziel- und Verkehrsmittelwahl) abbilden. Eine besondere Schwierigkeit dabei ist, den Menschen die Eigenschaften des vollautomatisierten/autonomen Fahrens mit all ihren Vor- und Nachteilen und den neuen Möglichkeiten adäquat zu beschreiben. Dabei gibt es verschiedene Vorgehensweisen: Zum einen kann versucht werden, eine Fahrt im vollautomatisierten/autonomen Fahrzeug ganz exakt zu beschreiben, um den Probanden ein Gefühl zu geben, wie sie sich in diesen Fahrzeugen fühlen und was sie damit machen können. Abbildung 4.37 zeigt ein Beispiel aus einer Befragung zur Zeitnutzung.



KIT
Karlsruher Institut für Technologie



Stellen Sie sich nun vor, dass Sie über ein neuartiges Auto-ähnliches Fahrzeug verfügen. Dabei müssen Sie jedoch nicht selbst fahren, stattdessen bewältigt dieses Fahrzeug die gesamte Fahrt ohne Ihren Eingriff (autonom). Gehen Sie davon aus, dass die Technologie schon seit mehreren Jahren erfolgreich im Einsatz und sicher ist. Das Fahrzeug weist darüber hinaus folgende Eigenschaften auf:

- Sie können frei darüber verfügen und darin alleine fahren.
- Es gibt viel Platz und einen bequemen Sitz, der sich auch in eine Liegeposition verstellen lässt.
- Ein großer Bildschirm mit schnellem und unbegrenzten Internetzugang sowie Tastatur und Maus stehen auf Knopfdruck zur Verfügung.
- Ein Tisch kann ausgefahren werden.
- Das Fahrzeug bewegt sich besonders ausbalanciert. Auch beim Lesen muss keine Reiseübelkeit befürchtet werden.

Bitte orientieren Sie sich auch an folgender Abbildung.



Bildquelle: Volvo

Abbildung 4.37: Beschreibung des autonomen Fahrens für eine Befragung³⁷¹

Zum anderen besteht auch die Möglichkeit, mit Hilfe von Fahrsimulatoren die Situation mit und in vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen nachzuspielen, um den Probanden ein Gefühl zu geben, wie man in diesen Fahrzeugen unterwegs ist. Grundsätzlich ist es wichtig, den Probanden die Situation, die man genauer untersuchen will, möglichst nahe zu bringen.

Wissen die Probanden über die Eigenschaften, Vor- und Nachteile von vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen Bescheid, können sie in Form von SP-Befragungen über ihre mögliche künftige Verhaltensweise berichten. Dabei

³⁷¹ Martin Kagerbauer, Gabriel Wilkes, Sascha von Behren und Juliane Stark, „Time Use during Activities and Trips – Potentials for Analyzing Future Travel and Activity Behavior.“ In *12th International Conference on Transport Survey Methods*.

ist aber zu berücksichtigen, dass diese Aussagen stets mit Unsicherheiten behaftet sind, da die Probanden ein unterschiedliches Gefühl dafür entwickeln, welche Folgen und Auswirkungen vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge auf ihr Verkehrsverhalten haben.

Mit verschiedenen Formen von SP-Befragungen sollen dann Situationen abgefragt werden, die vom vollautomatisierten/autonomen Fahren beeinflusst werden. Dabei ist es sinnvoll, die Veränderungen durch das vollautomatisierte/autonome Fahren ausgehend von der aktuellen Situation abzufragen. Das betrifft erstens die Durchführung von Aktivitäten während des vollautomatisierten/autonomen Fahrens, um eine Indikation zu bekommen, ob und wie sich die Aktivitäten allgemein verändern, sofern Aktivitäten während eines Weges mit diesen Fahrzeugen durchgeführt werden. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4.38. Zweitens können Fragen zum künftigen Pkw-Besitz, zur Wohnort- oder Arbeitsplatzwahl und zur generellen Verwendung von Verkehrsmitteln, gesetzt den Fall vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge stehen zur Verfügung, gestellt werden. Drittens können mit SC-Befragungen verschiedene alternative Entscheidungssituationen zur Verkehrsmittelwahl und zur Zielwahl bei bestimmten Rahmenbedingungen zur Auswahl gestellt werden. Aus den Antworten der Probanden bzw. der nicht gewählten Alternativen ist es dann möglich, Modelle zu schätzen, die künftiges Verhalten mit vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen beschreiben können.

Sie haben angegeben, dass Sie im autonomen Fahrzeug mehr Zeit mit den folgenden Aktivitäten verwenden als derzeit auf Ihrem Pendelweg. Bitte schätzen Sie ein: Reduzieren Sie durch die Möglichkeit, im autonomen Fahrzeug den Tätigkeiten nachzugehen, die Zeit, die Sie diese Tätigkeiten ansonsten durchführen?

Wenn Sie, aufgrund der Zeit, die Sie diese Tätigkeit im Fahrzeug durchführen, andernorts diese Tätigkeit im gleichen Maß reduzieren, geben Sie bitte 100% an.

Wenn Sie, aufgrund der Zeit, die Sie diese Tätigkeit im Fahrzeug durchführen, andernorts diese Tätigkeit zum Teil reduzieren, geben Sie bitte eine Stufe zwischen 10% und 90% an.

Wenn Sie, trotz der Zeit, die Sie diese Tätigkeit im Fahrzeug durchführen, andernorts diese Tätigkeit überhaupt nicht reduzieren, geben Sie bitte 0% an.

Mit "ÖV" ist die Fahrt in den öffentlichen Verkehrsmitteln gemeint.

5 Minuten mehr Lernen / Hausaufgaben / Lernstoff vor-/nachbereiten als im ÖV

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

5 Minuten mehr Nachrichten verfolgen (print oder digital) als im ÖV

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

Sie haben angegeben, dass Sie im autonomen Fahrzeug weniger Zeit mit den folgenden Tätigkeiten verwenden als derzeit bei Ihrem Pendelweg. Würden Sie die Tätigkeiten an einem anderen Ort ausführen oder würden Sie sie reduzieren?

Wenn Sie diese Tätigkeit vollständig reduzieren, geben Sie bitte 100% an.

Wenn Sie diese Tätigkeit zum Teil reduzieren und zum Teil an einem anderen Ort durchführen, geben Sie bitte eine Stufe zwischen 10% und 90% an.

Wenn Sie diese Tätigkeit im gleichen Maß durchführen, nur nun an einem anderen Ort, geben Sie bitte 0% an.

Mit "ÖV" ist die Fahrt in den öffentlichen Verkehrsmitteln gemeint.

7 Minuten weniger Social Media / Messaging (Chatten) / E-Mail als im ÖV

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

ZURÜCK 49% WEITER

Abbildung 4.38: Beispiel für eine Befragung zur Zeitverwendung im autonomen Fahrzeug³⁷²

Die Stichprobenziehung bei Befragungen zu autonomen Fahrzeugen sollte möglichst breit und repräsentativ sein, damit alle unterschiedlichen Bevölkerungsschichten erreicht werden. Aufgrund der Neuartigkeit des Themas liegen keine Daten vor über die Struktur und Art von Personen, die

³⁷² Eigene Befragung für die Veröffentlichung: Martin Kagerbauer, Gabriel Wilkes, Sascha von Behren und Juliane Stark, „Time Use during Activities and Trips – Potentials for Analyzing Future Travel and Activity Behavior.“ In *12th International Conference on Transport Survey Methods*.

vollautomatisierte/autonome Fahrzeuge bevorzugen oder für welche sie nicht in Frage kommen. Für die Erstellung von Modellen werden die soziodemografischen Daten und die Antworten der Fragen zu vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen verwendet. Mit diesen Fragen kann auch analysiert werden, in welchen bevorzugten Situationen Menschen diese Fahrzeuge gerne zur Verfügung hätten und welche Betriebsform für diese am besten geeignet ist. Somit bekommt man auch eine Indikation zur zukünftigen Ausgestaltung der Dienstleistungen mit vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen. Sind diese weiterhin im Privatbesitz oder sollen sie eher als Sharing-Angebote bereitgestellt werden.

4.2.4.3.2 Modellierung

Die methodischen Modellierungsschritte zur Integration von autonomen Fahrzeugen in Fahrzeugsharing bzw. Ridehailing und -pooling unterscheiden sich bzgl. der Nutzenden und der Nutzung nicht wesentlich zu diesen Angeboten mit menschlichen Fahrenden und wurden bereits in den Kapiteln 4.2.2.3.2 und 4.2.3.3.2 beschrieben. Für die Modellierung des privaten Besitzes von autonomen Fahrzeugen können methodisch ähnliche Modelle verwendet werden, wie für den privaten Besitz konventioneller Pkw. Anhand der Erhebungsdaten, Daten zu Soziodemografie und weiteren Variablen kann der Besitz von autonomen Fahrzeugen abgeschätzt werden. Die autonomen Fahrzeuge werden ebenfalls als Fahrzeug-Agenten modelliert und je nach Einsatzfeld mit Eigenschaften versehen. Das bedeutet zum Beispiel, dass sie nur von einer Person genutzt werden können oder von allen Personen des Haushalts oder vielleicht sogar noch von weiteren Personen. Der Übergang zur Modellierung von Ridehailing und -pooling ist fließend und muss im Einzelfall den vorgegebenen Rahmenbedingungen entsprechend geklärt werden. Eine Studie für den Raum Stuttgart zeigt, dass es möglich ist, die Fahrzeuganzahl sehr stark (bis zu 85 %), aber auch die Fahrleistung (bis zu 20 %) zu minimieren.³⁷³

³⁷³ Heilig et al., „Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region“.

Die Aktivitäten mit Dauern, Start und Ziel und Anfangs- und Endzeiten blieben in dieser Untersuchung unverändert bzw. wurden nur marginal angepasst, und der private Pkw-Besitz entfiel gänzlich. Alle Personen konnten in Fahrzeugen, im Sinne von Ridesharing, mit insgesamt bis zu vier Insassen mitfahren. Ergebnisse dieses sehr strikten Szenarios zeigt Abbildung 4.39. Durch veränderte Fahrzeugmengen verändern sich auch die Reisezeiten, die sich in Modal-Split-Verlagerungen zu Ungunsten des ÖV zeigen.

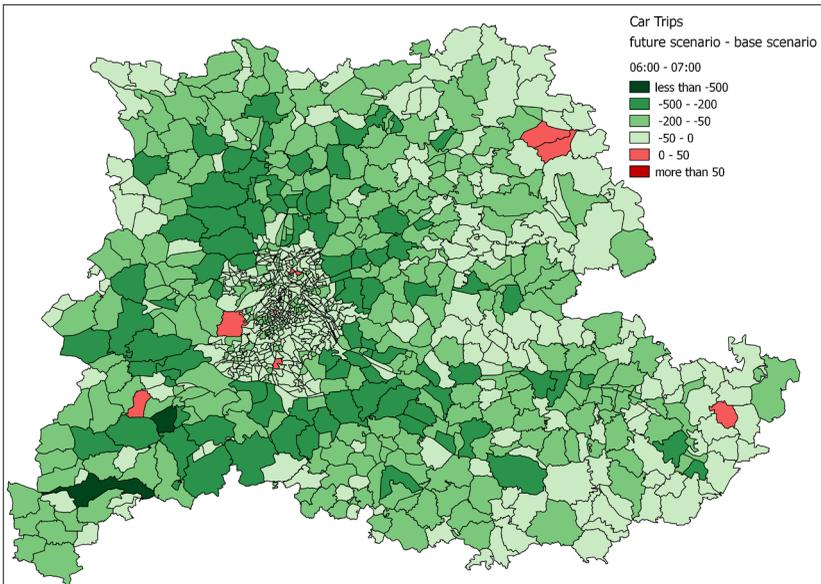


Abbildung 4.39: Differenz der in einer Zelle beginnenden Fahrzeugwege in Stuttgart in der Spitzenstunde im Szenario: „Heute versus nur autonomes Ridepooling ohne privaten Pkw-Besitz“³⁷⁴

Bei der Integration von autonomen Fahrzeugen in die Verkehrsnachfragemodellierung kommt nun neu hinzu, dass gegebenenfalls während einer Fahrt

³⁷⁴ Heilig et al., „Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region“.

Tätigkeiten bzw. Aktivitäten durchgeführt werden können. Durch die agentenbasierte Modellierung können somit Eigenschaften von bestimmten Aktivitäten der Personen berücksichtigt werden. Eine zeitliche Verkürzung oder Verlängerung, Verschiebung, Substitution oder Erweiterung von Aktivitäten kann im Aktivitätengenerierungsmodul actiTopp³⁷⁵ behandelt werden. Auf Basis der Soziodemografie, des Besitzes von autonomen Fahrzeugen und veränderter Aktivitäten der Agenten im Umgang mit autonomen Fahrzeugen sind die Aktivitätenpläne anzupassen, um die veränderte Zeitverwendung und Aktivitätengestaltung abbilden zu können. Das Aktivitätengenerierungsmodul actiTopp ist dementsprechend anzupassen. An der Systematik von actiTopp muss sich grundsätzlich nichts ändern. Es sind nur die Rahmenbedingungen, Einschränkungen und beabsichtigten Dauern der Aktivitäten den Eigenschaften der neuen Zeitverwendung der Agenten bzw. Personen anzupassen. Die Datengrundlagen dafür müssen aus den Erhebungen kommen.

Die Modellierung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl kann in ihrer Systematik auch unverändert bleiben. Allerdings sind die autonomen Fahrzeuge mit ihren Eigenschaften gegebenenfalls als neues Verkehrsmittel zu berücksichtigen. Zudem sind in den Nutzenfunktionen die veränderten Value-of-Time-Werte in Abhängigkeit von den Agenten sowie gegebenenfalls die Präferenzen (Konstanten) für die einzelnen Verkehrsmittel den Erhebungen entsprechend anzupassen. Die Anpassungen der Präferenzen beruhen darauf, dass in den autonomen Fahrzeugen die Aufenthaltszeiten anders wahrgenommen werden, da Tätigkeiten (=Aktivitäten) durchgeführt werden können.

Langfristig können sich dadurch auch Wohnort- und Arbeitsplatzwahl verändern. Dies müsste dann in die Bevölkerungssynthese integriert werden. Allerdings sind die Auswirkungen von autonomen Fahrzeugen derzeit noch nicht

³⁷⁵ Hilgert et al., „Modellierung von Wochenaktivitätenplänen für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp“.

bzw. sehr wenig erforscht, so dass hier künftig weitere Erweiterungen der Modelle notwendig werden können, sobald neue Erkenntnisse existieren.³⁷⁶

4.2.4.4 Schlussfolgerung

Grundsätzlich ist es gut möglich, das vollautomatisierte/autonome Fahren in die Verkehrsplanung zu integrieren. Dabei sind die Erhebungen und die Modelle so anzupassen, dass erwartete Auswirkungen von vollautomatisierten/autonomen Fahrzeugen auf den einzelnen Agenten bzw. auf das Verkehrssystem ermittelt werden können. Dazu sind oft nur kleine Anpassungen an den Verkehrsplanungstools nötig, oft ändern sich aber auch systematische Rahmenbedingungen. Beim vollautomatisierten/autonomen Fahren ist die wesentliche Neuerung, dass während des Fahrens Tätigkeiten/Aktivitäten durchgeführt werden können, die ohne die neue Technologie nicht möglich wären. Da die Technologie des vollautomatisierten/autonomen Fahrens heute noch nicht weit verbreitet ist, ist es jedoch sehr schwierig die Wirkungen sinnvoll abzuschätzen bzw. zu ermitteln. Die Erhebungen und die daraus resultierenden Daten sind mit Unsicherheiten behaftet, da die Probanden sich gegebenenfalls das vollautomatisierte/autonome Fahren selbst bzw. den Umgang damit nicht gut vorstellen können. Die Modelle selbst sind dann nur so gut, wie die Daten aus den Erhebungen, mit denen die Modelle berechnet werden. Zusammengefasst bedeutet das, dass je neuer und unbekannter die neue Mobilitätsform ist, desto schwieriger wird es sein, diese abzubilden, da die Datengrundlage fehlt oder mit Unsicherheiten behaftet ist.

Die Erhebungen und Modelle können aber dennoch helfen, gerade bei ganz neuen innovativen Mobilitätsformen, erste Ideen und Einschätzungen zu Wirkungen auf das Verkehrsverhalten und auf die Verkehrssysteme zu erhalten.

³⁷⁶ Rolf Moeckel, Michael Heilig, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Benefits of Integrating Microscopic Land Use and Travel Demand Models: Location Choice, Time Use & Stability of Travel Behavior.“ In *Transport Research Procedia*, 1956–1967. www.sciencedirect.com, 48 (2020).

4.3 Multi- und Intermodalität als Folge neuer Mobilität

Neue Mobilitätsformen haben zur Folge, dass multi- und intermodales Verkehrsverhalten gesteigert wird. In Kapitel 2.3 wurde multi- und intermodales Verkehrsverhalten bereits detailliert beschrieben und mit einigen Beispielen veranschaulicht. Die Beschreibung der Eigenschaften der neuen Mobilitätsformen (Kap. 4.2) zeigt, dass je nach neuer Mobilitätsform zum einen multimodales Verkehrsverhalten steigt, da es mehr Verkehrsmitteloptionen gibt, um Wege zurückzulegen. Zum anderen werden durch neue Mobilitätsformen neue Verkehrsangebote geschaffen, zu denen Zu- und Abgänge notwendig sind bzw. mit denen Zu- und Abgänge, vor allem zum ÖV und zum Fahrzeugharing, ermöglicht werden, so dass hier intermodales Verkehrsverhalten gefördert wird.

Neben der zunehmenden Anzahl an neuen Mobilitätsformen spielt auch die zunehmende Informations- und Kommunikationstechnologie eine Rolle bei der Förderung von multi- und intermodalem Verhalten, da die Personen besser über die verschiedenen Optionen informiert sind.^{377,378,379} Zudem sind die Mobilitätsauskünfte besser auf das Individuum zugeschnitten, so dass die

³⁷⁷ Tim Hilgert, Sascha von Behren, Nadine Kostorz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Does Travel Behavior of People using Mobility-Apps differ? Findings from a Market Analysis in Germany.“ In *11th International Conference on Transport Survey Methods*.

³⁷⁸ Tim Hilgert, Kerstin Westermann, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Nutzung von Mobilitäts-Apps in Deutschland.“ *Internationales Verkehrswesen* 69, Nr. 1 (2017): 38–41.

³⁷⁹ Dominik Galler, Christoph Becker, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Fostering Change of Individual Travel Behavior with Customized Mobility Services.“ In *COLLA 2016 - The Sixth International Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications*, hrsg. von Thomas Schuster und Lasse Berntzen, 49–54 (ThinkMind, 2016).

Varianz bei der Verkehrsmittelnutzung und in der Mobilität allgemein steigt.^{380,381,382}

Zusammengefasst bezeichnet multimodales Verkehrsverhalten die Nutzung von mehreren Verkehrsmodi auf unterschiedlichen Wegen in einem Betrachtungszeitraum, der in der Regel eine Woche umfasst. Im Kontext der neuen Mobilitätsformen werden die geteilten Modi ebenso berücksichtigt (vgl. Tabelle 2.1). Auch eine feingliedrigere Unterscheidung unter Berücksichtigung neuer Verkehrsmittel ist möglich; dies ist aber im Einzelfall genau darzulegen und zu definieren. Die Definition von Multimodalität verschwimmt mit zunehmenden Angeboten an neuen Mobilitätsformen.

Intermodales Verkehrsverhalten beschreibt die Nutzung von unterschiedlichen Modi innerhalb eines Weges. Hier handelt es sich meist um die Zu- und Abgangswege zu dem als Hauptverkehrsmittel definierten Modus eines Weges. Auch hier ist die Abgrenzung zwischen Modus und Verkehrsmittel im Einzelfall genauer zu beschreiben. Mit den neuen Mobilitätsformen wird dies schwieriger. Laut Definition sind zum Beispiel Busse, Straßenbahnen oder U-Bahnen Verkehrsmittel des Modus ÖV. Das Verkehrsmittel Ridepooling ist, je nach Integration in den ÖV oder als selbstständiges Angebot, Modus ÖV oder MIV. Wird also ein Weg im Zugang zur Straßenbahn mit dem Verkehrsmittel

³⁸⁰ E. Eryilmaz, Martin Kagerbauer, Thomas Schuster und Oliver Wolf, „Collaborative Management of Intermodal Mobility.“ In *Collaborative Systems for Smart Networked Environments - 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014. Proceedings*, hrsg. von Luis M. Camarinha-Matos und Hamideh Afsarmanesh, IFIP Advances in Information and Communication Technology (Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2014).

³⁸¹ Luis M. Camarinha-Matos und Hamideh Afsarmanesh, Hrsg., *Collaborative Systems for Smart Networked Environments - 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014. Proceedings*. IFIP Advances in Information and Communication Technology (Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2014). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-44745-1>.

³⁸² Hilgert et al., „Optimization of Individual Travel Behavior through Customized Mobility Services and their Effects on Travel Demand and Transportation Systems“.

Ridepooling (in ÖV integriert) durchgeführt, handelt es sich, nach der genauen Definition, um keinen intermodalen Weg, da alle Verkehrsmittel zum ÖV gehören. Ist der Ridepooling-Dienst allerdings ein selbstständiges Angebot, wird er genau genommen dem MIV zugeordnet, und ein Zugang mit diesem Verkehrsmittel zur Straßenbahn wäre dann ein intermodaler Weg. Das bedeutet, dass man generell genau definieren muss, was im Einzelfall als intermodaler Weg beschrieben wird. Eine allgemeingültige Definition wird mit vielfältigeren Angeboten an neuen Mobilitätsformen schwieriger.

Die zu Grunde liegende Systematik zur Beschreibung von Multi- und Intermodalität beinhaltet die konventionellen Modi Fuß, Rad, MIV als Fahrende und Passagiere und den ÖV. Dazu werden die geteilten Modi Carsharing, Bikeshaaring etc. auch als einzelne, sozusagen „Unter-Modi“, ebenso in die Betrachtung der Multi- und Intermodalität integriert, wie Ridehailing und Ridepooling. Mit dieser kleinteiligen Spezifizierung ist es im Nachgang immer noch möglich, auf die konventionellen Modi zu aggregieren. Das bedeutet, dass MIV als Passagiere sowohl das klassische Mitfahren als auch Rideshaaring, Ridehailing und Ridepooling beinhaltet. Pkw als Fahrende wäre dann neben dem klassischen Fahren eines privaten Pkw auch eine Fahrt mit einem Carsharing-Fahrzeug.

Das durch die neue Mobilitätsformen differenziertere Verkehrsverhalten hat Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten auch im Hinblick auf Multi- und Intermodalität. Die folgenden Kapitel beschreiben die Berücksichtigung von Multi- und Intermodalität in den Planungswerkzeugen, jeweils spezifiziert nach Erhebungen und Modellierung.

4.3.1 Berücksichtigung von Multimodalität in den Planungswerkzeugen

Die Berücksichtigung von multimodalem Verkehrsverhalten in Erhebungen wurde bereits in Kapitel 3.2 getrennt nach RP- und SP-Befragungen erläutert. Grundsätzlich ist zur Beschreibung von multimodalem Verkehrsverhalten ein längere Betrachtungszeitraum notwendig. Für die konventionellen Modi, die

relativ häufig verwendet werden, reicht i. d. R. der Zeitraum von einer Woche aus. Für neue Mobilitätsformen hingegen, die u.U. viel seltener genutzt werden als wöchentlich, ist der Zeitraum der Erhebung auszuweiten. Wie lang der Untersuchungszeitraum sein muss, kann pauschal nicht beantwortet werden, da dieser sehr stark von der neuen Mobilitätsform selbst, aber auch von den individuellen Eigenschaften der Nutzenden abhängt. Die Art der Befragung (RP-Befragung mit einem langen retrospektiven Zeitraum oder SP-Befragung mit Angaben zu Nutzungshäufigkeit oder zu Nutzungsauswahl) und der Zeithorizont und Zeitraum müssen im Einzelfall abgewogen werden. Aus den Erhebungsdaten sollten die Nutzungshäufigkeiten und die Regelmäßigkeit der Nutzung ersichtlich sein. Nicht zuletzt, um Stabilität und Variabilität der Nutzung der neuen Mobilitätsformen abzuleiten und diese in die Nachfragemodellierung zu integrieren.

Multimodalität ist in Verkehrsnachfragemodellen mit agentenbasierter Modellierung und einem Modellierungszeitraum über mehrere Tage gut abbildbar. In makroskopischen Modellen mit nur einem Modellierungstag sind Aussagen zu multimodalem Verkehrsverhalten in Modellen nahezu nicht möglich, da in makroskopische Modellen zum einen Personengruppen aggregiert betrachtet werden und multimodales Verhalten aber eher auf Individuumsebene abgebildet wird, und zum anderen laut Definition multimodales Verhalten einen längeren Zeitraum als einen Tag beinhaltet. Mit dem agentenbasierten Verkehrsnachfragemodell mobiTopp kann das Verkehrsnachfrageverhalten auf Individuumsebene (Agenten) sehr gut simuliert werden. Zudem ist der Modellierungszeitraum von mobiTopp eine Woche, so dass auch Stabilität und Variabilität von Verkehrsverhalten gut darstellbar sind. Der Modellierungsablauf von mobiTopp ist in Kapitel 3.3 detailliert beschrieben. Auch die Integration von neuen Mobilitätsformen, die tendenziell seltener gewählt werden als die konventionellen Modi, ist in mobiTopp gut möglich (vgl. Kap. 4.2). In der Realität selten gewählte neue Mobilitätsformen haben modelltechnisch eine geringere Wahlwahrscheinlichkeit als konventionelle Verkehrsmittel, aber durch den Modellierungszeitraum von einer Woche sind diese seltenen Ereignisse in den Modellen trotzdem berücksichtigt. Zudem

wird in mobiTopp in den Modellierungsalgorithmen auch Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens explizit berücksichtigt.³⁸³ So ist auch eine realitätsnahe, auf den Agenten zugeschnittene Wahl der eher seltener auftretenden neuen Mobilitätsformen erfasst. In der Zielwahl bleiben fixe Ziele, wie Wohnort oder Arbeitsplatz, fest, und flexible Ziele, die für denselben Wegezweck wiederholt aufgesucht werden, haben eine höhere Wahrscheinlichkeit. Analog dazu berücksichtigt die Verkehrsmittelwahl durch einen Bonus in der Nutzenfunktion für ein bereits gewähltes Verkehrsmittel Verkehrsmittelwahlroutinen der Agenten.

Durch die Modellierung einer gesamten Woche und die Integration der neuen Mobilitätsformen kann auf Agenten-Ebene multimodales Verkehrsverhalten analysiert werden, indem ausgewertet wird, wie häufig welche Verkehrsmittel von den jeweiligen Agenten gewählt werden. Multimodales Verkehrsverhalten als Folge der Wahl von verschiedenen Verkehrsmitteln innerhalb eines Zeitraums ist somit in diesen Modellen berücksichtigt.

4.3.2 Berücksichtigung von Intermodalität in den Planungswerkzeugen

Zur Abbildung von Intermodalität in Verkehrserhebungen ist es essentiell, die einzelnen Etappen der Wege zu erheben. Im Gegensatz zur Multimodalität ist bei der Intermodalität nicht die Betrachtung eines längeren Zeitraums von Interesse, sondern der Untersuchungsgegenstand ist der einzelne Weg. Intermodale Verkehrserhebungen sind derzeit noch nicht so verbreitet, da intermodales Verkehrsverhalten, sofern man nur die konventionellen Verkehrsmittel betrachtet, i. d. R. fast nur bei ÖV-Wegen stattfindet. Durch die neuen Mobilitätsformen wird aber, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wegen der

³⁸³ Vgl. Mallig, *Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell*.

vielfältigen, zusätzlichen Angebote das intermodale Verkehrsverhalten gefördert.

Im einfachsten Fall werden anstatt der kompletten Wege die einzelnen Etappen der Wege mit den Entfernungen, den Verkehrsmittelwechsell und den Etappendauern und ggf. auch der Orte des Verkehrsmittelwechsels erhoben. Bezieht man neue Mobilitätsformen mit in die Erhebung ein, ist es wichtig, die geeignete Methode zu finden, um auch selten gewählte intermodale Wege zu erheben. Durch neue Mobilitätsformen werden intermodale Wege auf zwei Arten gefördert. Zum einen entstehen analog zum ÖV zusätzlich intermodale Wege. Beispielsweise sind beim Carsharing Zu- bzw. Abgangswege notwendig, um zur Station zu gelangen, da die Stationen selten direkt an dem jeweiligen Startpunkt des Weges liegen. Zum anderen dienen aber neue Mobilitätsformen auch als Zu- bzw. Abgangsmittel zu einem Hauptverkehrsmittel (z. B. mit dem Bikesharing zum Bus oder mit dem in den ÖV integrierten Ridepooling-Service zur S-Bahn). Tabelle 4.4 zeigt die unterschiedlichen RP-Erhebungsansätze für intermodale Wege.

Tabelle 4.4: Erhebungsansätze für intermodales Verhalten³⁸⁴

Erhebungsansätze	Intermodales Verhalten
Selbsteinschätzung übliches Verhalten	Befragte berichten, wie häufig sie üblicherweise bestimmte Moduskombinationen auf einem Weg verwenden.
Letzte Nutzung	Befragte berichten, wann sie bestimmte Moduskombinationen das letzte Mal auf einem Weg genutzt haben.
Einstellungen, Werte, Entscheidungsmuster	Befragte berichten über ihre Einstellungen, z. B. gegenüber bestimmten Verkehrsmittelkombinationen (z. B. Bereitschaft, Verkehrsmittel zu wechseln).
Erhebung der Wege einer Person an einem Stichtag (z. B. Mobilität in Deutschland, Mobilität in Städten)	Da Befragte alle auf dem Weg genutzten Verkehrsmittel bzw. Modi angeben, können Wege beschrieben werden, auf denen mehrere Verkehrsmittel bzw. Modi genutzt werden.
Erhebung der Wege einer Person über einen längeren Zeitraum (z. B. eine Woche im Deutschen Mobilitäts-panel)	Da Befragte alle auf dem Weg genutzten Verkehrsmittel bzw. Modi angeben, können Wege beschrieben werden, auf denen mehrere Verkehrsmittel bzw. Modi genutzt werden.
Erhebung der Etappen einer Person an einem Stichtag (z. B. Mikrozensus Schweiz)	Befragte berichten alle ihre zurückgelegten Etappen an einem Stichtag. Diese Etappen können dann zu Wegen aggregiert werden und es kann ein Hauptverkehrsmittel für jeden Weg bestimmt werden.

Neben RP-Erhebungsansätzen ist es auch möglich, Daten über intermodales Verkehrsverhalten über SP Befragungen zu erhalten. Der Fokus der Befragung liegt dabei auf intermodalen Wegen. Den Probanden werden verschiedene hypothetische Auswahl-situationen, je nach Befragung, vorgegeben.³⁸⁵ Die Antworten beschreiben das beabsichtigte Verhalten der Befragten auf den einzelnen Etappen bzw. im Zu- oder Abgang zum Hauptverkehrsmittel. Diese Methode ist gut geeignet, wenn es sich um neue oder noch nicht so

³⁸⁴ Kagerbauer et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr“.

³⁸⁵ Reiffer et al., „Design of a Stated Preference Survey to Analyse Intermodal Choice Behaviour of Carsharing Users“.

verbreitete Verkehrsangebote oder Mobilitätsdienste handelt. Mit diesen Daten ist es gut möglich, intermodale Verkehrsmittelwahlmodelle zu erstellen.

In der MiD 2017 wurde erstmals in einer deutschlandweiten Erhebung intermodale Wege abgefragt. Wie in Kap. 2.3 beschrieben, ist es dabei wichtig, wie mit dem Modus zu Fuß bei der Auswertung der intermodalen Wege umgegangen wird. Werden Fußwege aus den Auswertungen exkludiert, sind laut MiD etwa 1 % der Wege in Deutschland intermodale Wege.³⁸⁶ Sofern nur sehr kurze Fußwege (unter 150 Meter) aus den Auswertungen ausgeschlossen werden, ist der Anteil der intermodalen Wege höher. Abbildung 4.40 zeigt, dass intermodale Wege hauptsächlich in Kombination mit dem ÖV zurückgelegt werden. Zusätzlich zeigt die Abbildung auch, dass mehr als drei Etappen auf einem Weg relativ selten vorkommen.

³⁸⁶ infas und DLR, „Mobilität in Deutschland Etappenkonzept: Auswertung eines Methoden-Zusatzes in der MiD 2017 und Exkurs zur Nahmobilität.“ (infas, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrsforschung, 2019).

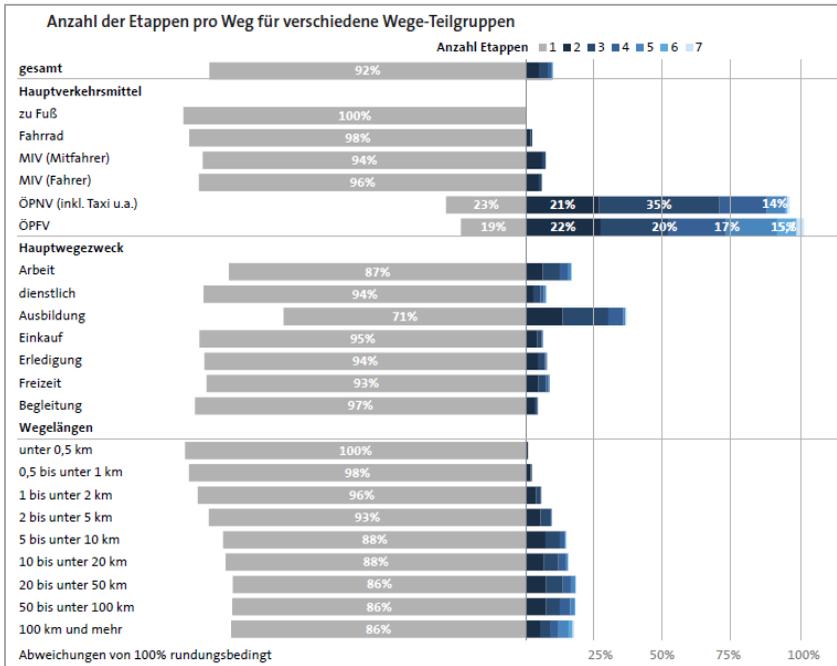
Abbildung 4.40: Anzahl der Etappen pro Weg aus MiD 2017³⁸⁷

Abbildung 2.20 zeigt, dass intermodale Wege nicht nur beim ÖV, sondern auch bei Carsharing-Wege auftreten. Gerade bei neuen Mobilitätsformen können intermodale Wege interessant sein, um die Kombination der Verkehrsmittel besser beschreiben zu können.³⁸⁸ Darüber hinaus können mit diesem Konzept der Abbildung der intermodalen Wege auch Wirkungen von Verknüpfungspunkten besser abgeschätzt werden. Verknüpfungspunkte sind

³⁸⁷ infas und DLR, „Mobilität in Deutschland Etappenkonzept“.

³⁸⁸ Anna Reiffer, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Mode Choice Behavior on Access Trips to Carsharing Vehicles.“ In *2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*.

Infrastrukturen (z. B. Mobilitätsstationen), die es ermöglichen sollen, den Wechsel zwischen den Verkehrsmitteln zu erleichtern.

Um intermodale Wege in der Nachfragemodellierung abzubilden, besteht ein möglicher Ansatz darin, für die Verkehrsmittel, bei denen intermodale Wege häufiger auftreten, das Verkehrsmittelwahlmodell zu spezifizieren. Um die Komplexität der Modellierung nicht unnötig zu erhöhen, ist es möglich, die Anzahl der Etappen einzugrenzen. Für ein intermodales Nachfragemodell, das für die Region Karlsruhe im Rahmen des Projektes regiomove erstellt wurde, wurden intermodale Wege nur in Kombination mit dem Hauptverkehrsmittel stationsbasiertes Carsharing und ÖV modelliert und jeweils Verkehrsmittelkombinationen für bis zu drei Etappen abgebildet. Dabei wurde ein zweistufiger Ansatz gewählt: Im ersten Schritt wurden die Hauptverkehrsmittel gewählt und dann im zweiten Schritt für die Hauptverkehrsmittel, bei denen intermodale Wege vorkommen, die Zu- und/oder Abgangswege modelliert. Dabei wurden jedoch bereits bei der Wahl des Hauptverkehrsmittels (Schritt 1) Eigenschaften der möglichen Etappen (Schritt 2) in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Abbildung 4.41 zeigt die Systematik der Vorgehensweise. Das Hauptverkehrsmittel wurde in diesem Fall mit einem Mixed-Logit-Ansatz bestimmt, bei dem sowohl die beobachtbare Heterogenität der Wahlentscheidungen als auch nicht beobachtbare Einflüsse (z. B. Präferenzen) einfließen. Die Wahl vorkommender Zu- bzw. Abgangsverkehrsmittel wurde dann mit einem multinomialen Logit-Modell durchgeführt.

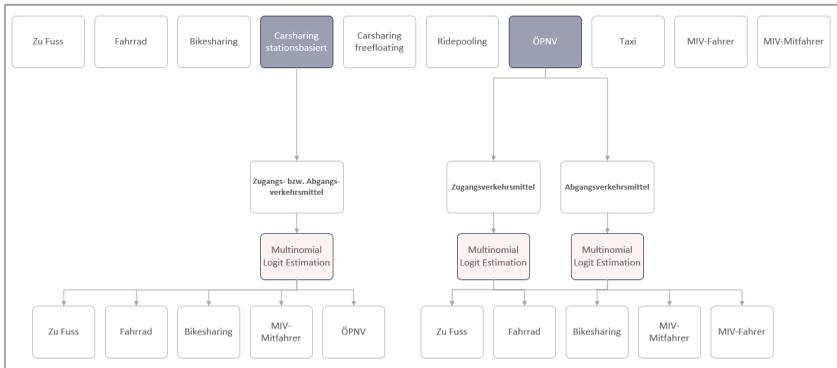


Abbildung 4.41: Nested-Logit-Ansatz für ein intermodales Verkehrsmittelwahlmodell³⁸⁹

Dabei gibt es in der Kombination der verschiedenen Verkehrsmittel innerhalb eines Weges viele Varianten. Da nicht alle Kombinationsmöglichkeiten zwingend abgebildet werden müssen, können diese auch eingeschränkt werden, wenn sie in der Realität sehr unwahrscheinlich sind. Tabelle 4.5 zeigt eine Einordnung nach Relevanz der Notwendigkeit der Abbildung im Verkehrsmodell. Die Relevanz ist mit „kann“ (=kann im Modell abgebildet werden, da die Kombination in der Praxis existiert) und „muss“ (=muss zwingend im Modell abgebildet werden, da die Kombination (sehr) häufig in der Realität existiert) dargestellt. Kombinationen, die in der Realität nicht oder fast nicht vorkommen, wurden hier vernachlässigt. Fußwege als Etappen wurden hier ebenfalls vernachlässigt, weil in einem urbanen Raum davon ausgegangen werden kann, dass die Entfernungen relativ nah sind. Dahinter liegt die Annahme, dass nur bewusst als Gehen durchgeführte Fußwege auch den Modus Fuß beschreiben. Fußwege als Zugang zu einem Verkehrsmittel sind in dieser Annahme nur Mittel zum Zweck und keine bewussten Fußwege.

³⁸⁹ Dieses Modell wurde für das Projekt regiomove erstellt.

Tabelle 4.5: Relevanz der Abbildung der Verkehrsmittelkombinationen (2 und 3 Etappen)³⁹⁰

VM1	VM2	Relevanz
Bikesharing	Carsharing (freefloating)	kann
Bikesharing	Carsharing (Stationsgebunden)	muss
Bikesharing	MIV-Mitfahrer	kann
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	kann
Carsharing (Stationsgebunden)	Bikesharing	muss
Carsharing (Stationsgebunden)	Fahrrad	muss
Carsharing (Stationsgebunden)	MIV-Mitfahrer	kann
Carsharing (Stationsgebunden)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
Carsharing (Stationsgebunden)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	kann
Fahrrad	Carsharing (freefloating)	kann
Fahrrad	Carsharing (Stationsgebunden)	muss
Fahrrad	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
MIV	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
MIV-Mitfahrer	Bikesharing	kann
MIV-Mitfahrer	Carsharing (Stationsgebunden)	kann
MIV-Mitfahrer	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (Stationsgebunden)	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Fahrrad	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV-Mitfahrer	muss
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	kann
Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Carsharing (Stationsgebunden)	kann
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	muss
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	kann

ZuAbgangsVM	Hauptverkehrsmittel	ZuAbgangsVM2	Relevanz
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Fahrrad	muss
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV	muss
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV-Mitfahrer	kann
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	muss
Bikesharing	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Fahrrad	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV-Mitfahrer	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	kann
Carsharing (freefloating)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
Fahrrad	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
Fahrrad	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
Fahrrad	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	muss
Fahrrad	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
MIV	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
MIV	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
MIV	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	muss
MIV	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
MIV-Mitfahrer	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
MIV-Mitfahrer	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
MIV-Mitfahrer	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	muss
MIV-Mitfahrer	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	muss
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Fahrrad	muss
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV	muss
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV-Mitfahrer	muss
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	kann
Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Taxi	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Bikesharing	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Carsharing (freefloating)	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Fahrrad	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	MIV-Mitfahrer	kann
Taxi	Öffentlicher Personenverkehr (Nah-Fernverkehr)	Ridepooling (On Demand-Shuttle, Sammeltaxi?, ...)	kann

³⁹⁰ Eigene Darstellung aus dem Projekt regiomove.

Abbildung 4.42 zeigt als Beispiel ein Ergebnis der modellierten intermodalen Wege in Kombination mit dem ÖV für ausgewählte Bahnhöfe in der Region Karlsruhe. Dabei sind die Anteile der Zu-/Abgangsverkehrsmittel und die Weglängenverteilung nach Verkehrsmittel aufgeführt.

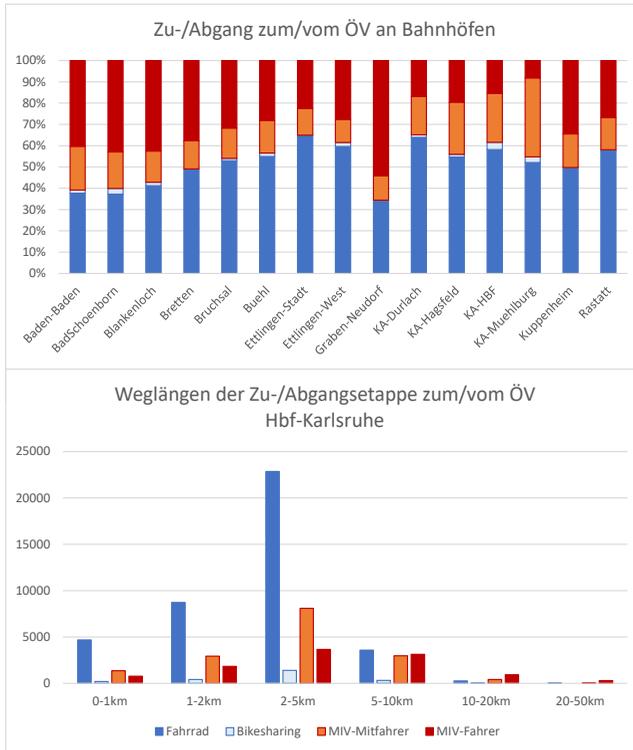


Abbildung 4.42: Ergebnis der modellierten intermodalen Wege³⁹¹

³⁹¹ Eigene Darstellung aus dem Projekt regiomove. Hier sind nur Zu-/Abgangswege zum Hauptverkehrsmittel ÖV dargestellt. Ein intermodaler Weg mit einer Etappe Carsharing (stationsbasiert) und ÖV wäre dann bei Auswertung von intermodalen Wegen mit Hauptverkehrsmittel Carsharing zu finden. Carsharing (free-floating) gab es zur Zeit der Modellierung in Karlsruhe noch nicht.

Intermodale Wege treten im Zusammenhang mit neuen Mobilitätsformen beim Fahrzeugsharing auf, hier vor allem bei stationsbasierten Angeboten.³⁹² Zudem können die Fahrzeugsharing-Angebote auch die Zubringerfunktion übernehmen. Ebenso wie bei der Nutzung von flexiblen Fahrzeugsharing-Angeboten sind Wege mit Ridehailing-Angeboten in der Regel keine intermodalen Wege, da hier die direkte Verbindung vom Start zum Ziel im Fokus steht. Ridepooling hingegen ist ein intermodales Angebot, sofern die Zubringerfunktion, z. B. bei in den ÖV integrierten Systemen, im Vordergrund steht. Bei eigenständigen Ridepooling-Angeboten können sowohl direkte als auch intermodale Weg auftreten.

Obwohl nur ein geringer Anteil der Wege intermodale Wege sind, ist es dennoch sinnvoll, diese bei ausgewählten Fragestellungen zu berücksichtigen, da gerade das Geschäftsmodell von Anbietern neuer Mobilitätsformen auf die Bewältigung der letzten Meile abzielt (z. B. E-Tretroller oder Bikesharing in Kombination mit dem ÖV). Außerdem muss für die Nutzung von stationsbasierten Sharing-Angeboten der Zu- bzw. Abgangsweg zu diesen zurückgelegt werden, sodass die Intermodalität wichtiger wird. Gerade vor dem Hintergrund, dass sich neue Mobilitätsformen und Mobilitätsservices zunehmender Beliebtheit erfreuen, können damit Auswirkungen dieser Dienste auf das Verkehrssystem und auf die Etappen spezifiziert abgebildet und besser evaluiert werden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass neue Mobilitätsformen Intermodalität fördern; zum einen als Verkehrsmittel um Zu- und/oder Abgangsweg durchzuführen zu können, zum anderen aber auch als Hauptverkehrsmittel, das im Zu- bzw. Abgang andere Verkehrsmittel benötigt.

³⁹² Ole Schroeder, Christine Weiss, Martin Kagerbauer, Nicolas Reiss, Christian Reuter, Rimbart Schürmann und Steven Pfisterer, „Developing and Evaluating Intermodal E-Sharing Services – A Multi-method Approach.“ *Transportation Research Procedia* 4 (2014): 199–212.

5 Ausblick

Neue Mobilitätsformen sind je nach Ausgestaltung, wie in Kapitel 4 beschrieben, sehr gut in die Verkehrsplanungswerkzeuge zu integrieren, sofern Anpassungen in Erhebung und Modellierung vorgenommen werden. Da neue Mobilitätsformen sehr volatil sind, die Angebote ändern sich schnell bzw. neue Angebote kommen hinzu, sind diese Anpassungen ein ständig fortwährender Prozess. Bestehende oder neue Mobilitätsformen können sich hinsichtlich der Rahmenbedingungen ändern. Es können aber auch Mobilitätsdienste vom Markt verschwinden oder neue dazukommen. Grundsätzlich ist bei jeder Veränderung und bei jedem neuen Mobilitätsdienst zu prüfen, in welcher Form diese in die Verkehrsplanungswerkzeuge integriert werden können. Der Vorteil der agentenbasierten Modellierung liegt darin, dass Einzelpersonen mit den Rahmenbedingungen (Personencharakteristika, Mobilitätswerkzeuge etc.) abgebildet werden können. Diese können dann in den verschiedenen Modulen der Modellierung (z. B. Verfügbarkeit und Verhalten) mit neuen Mobilitätsdiensten angepasst werden.

In einer schnelllebigen Zeit wie der heutigen, kommen ständig neue Mobilitätsangebote auf den Markt. Diejenigen, die heute schon absehbar sind, werden im Folgenden kurz beschrieben. Erste Versuche werden derzeit mit Personendrohnen oder Air-Taxis oder VOTL (Vertical Take-Off and Landing) in der Praxis durchgeführt. Beispiele hierfür sind Volocopter³⁹³ oder CityAirbus³⁹⁴. Diese Air-Taxis haben das Ziel, Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zu bedienen. Die Vision sieht vor, an vordefinierten sogenannten Ports, also Haltestellen,

³⁹³ Volocopter, „Urban Air Mobility.“. <https://www.volocopter.com/en/urban-mobility/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

³⁹⁴ Airbus S.A.S., „City Airbus.“. <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

diese elektrisch betriebenen, bis zwei Personen fassenden Flugobjekte starten und landen zu lassen, so dass in der Luft schnell und direkt Quelle-Ziel-Relationen zurückgelegt werden können. Sie sind eher darauf ausgelegt, einzelne hochfrequentierte Relationen zu bedienen, und lösen sicherlich aufgrund der beschränkten Kapazität nicht allein die Verkehrsprobleme in den Städten, sind aber ein Baustein, um den Menschen weitere Mobilitätsoptionen bereitstellen zu können. Eine Integration dieses Services in die Verkehrsplanung ist relativ einfach möglich, indem in Form von Befragungen Nutzungspotenziale und die Eigenschaften der Nutzenden erhoben und in der Modellierung ein weiteres Verkehrsmittel mit seinen Eigenschaften (Kosten, Zeit etc.) integriert und das Choice-Set erweitert wird.

Urbane Seilbahnen sind ein weiteres neu aufkommendes Verkehrsmittel. Sie können ausgebaut zu einem Netz den öffentlichen Verkehr erweitern. Beispiele hierfür gibt es in La Paz³⁹⁵, dort existiert das derzeit größte Netz an urbanen Seilbahnen als öffentliches Verkehrsmittel. Die Landeshauptstadt München plant die Installation einer urbanen Seilbahn in Ergänzung zum öffentlichen Verkehr.³⁹⁶ Seilbahnen können ähnlich wie Verkehrsmittel des Modus öffentlicher Verkehr in die Verkehrsplanungswerkzeuge mit Reisezeiten, Bedienungshäufigkeit, Kapazität etc. integriert werden, da deren Eigenschaften ähnlich zu bestehenden Verkehrsmitteln im ÖV (z. B. (Klein-)Busse, Straßenbahnen etc.) sind, mit der Ausnahme, dass sie in der dritten Ebene unterwegs sind.

³⁹⁵ Doppelmayr, „La Paz - Das weltgrößte urbane Seilbahnnetz“.

³⁹⁶ Landeshauptstadt München, „Seilbahn über den Frankfurter Ring.“.

<https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Verkehrsplanung/Oeffentlicher-Personennahverkehr/Seilbahn.html> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

Ebenso in den öffentlichen Verkehr integriert werden können sogenannte Hyperloops³⁹⁷, die, ähnlich wie Magnetschwebbahnen, hohe Geschwindigkeiten erreichen und tendenziell für Langstreckenfahrten ihren Einsatzschwerpunkt haben. Erste Planungen gibt es dafür z. B. in Kalifornien, um die Städte Los Angeles und San Francisco zu verbinden.³⁹⁸ Auch diese Verkehrsmittel können wie Verkehrsmittel des öffentlichen Verkehrs in die Verkehrsplanungswerkzeuge integriert werden, mit den Eigenschaften Geschwindigkeiten, Reisezeiten etc.

Es ist davon auszugehen, dass künftig noch weitere Verkehrsmittel oder neue Mobilitätsformen auf den Markt kommen. Sofern man deren Eigenschaften kennt, können diese in Befragungen (meist in SP-Befragungen) integriert werden, falls die Menschen den Umgang mit diesen noch nicht gewohnt sind. Aus den Erhebungen können Nutzungshäufigkeiten und Eigenschaften der Nutzenden in Modellen ermittelt werden. Diese Verkehrsmittel können im Choice-Set der Verkehrsmittelwahl integriert werden, sodass diese neuen Mobilitätsformen ein neues Verkehrsmittel darstellen. Das heißt, die in dieser Arbeit vorgestellte Art der Erhebung und die agentenbasierte Modellierung machen es möglich, verschiedenste neue oder künftige Mobilitätsformen oder Mobilitätsdienstleistungen auf Agenten-, sprich Einzelperson-Ebene abzubilden, um ihre Wirkungen prognostizieren zu können, so dass die Gesamtverkehrsnachfrage und das Gesamtverkehrsangebot sinnvoll gestalten werden kann.

Neben dem neuen Verkehrsangebot verändern sich derzeit auch Verhaltensweisen in der Bevölkerung, die auch das Mobilitätsverhalten betreffen. Beispielsweise das Thema Homeoffice (genauer gesagt Mobile Office), das während der COVID-19-Pandemie Anfang 2020 eine wichtige Bedeutung hatte,

³⁹⁷ Sarah Janczura, „Mit der Röhre durch München: Was Studenten mit dem Hyperloop von Elon Musk vorhaben.“. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verkehr/hyperloop-geht-in-die-naechste-runde/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

³⁹⁸ Virgin Hyperloop LAHQ, „Our Mission.“. <https://virginhyperloop.com/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

und, davon ist auszugehen, auch weiterhin haben wird. Erste Ideen der Politik gehen soweit, dass Homeoffice steuerlich gefördert wird, sofern dadurch Fahrten in den Spitzenstunden vermieden bzw. verringert werden. Die Wirkungen von Mobile Office sind derzeit noch nicht ausreichend erforscht. Sie können aber auch mit dem methodischen Vorgehen, das hier vorgestellt wurde, abgebildet werden. Mit Erhebungen können Verhaltensweisen im Umgang mit Mobile Office beschrieben werden, die mit Hilfe von agentenbasierten Nachfragemodellen in den jeweiligen Modellteilen integriert werden. Im Falle von Mobile Office ist das ein Eingriff in das Modul Verkehrsentstehung, in dem die Aktivitäten dahingehend spezifiziert werden, dass die Arbeitsaktivität zum Beispiel auch zu Hause oder von unterwegs durchgeführt werden kann. Somit kann die Zeitverwendung angepasst werden. Es entsteht dann mehr Zeit für bestehende oder neue Aktivitäten. Auch diese Wirkungen von Mobile Office auf die Verkehrsnachfrage kann in die Verkehrsplanung integriert werden. Erste Konzepte dazu existieren bereits.³⁹⁹

Außerdem stellen wir seit einigen Jahren fest, dass sich das Einkaufsverhalten der Menschen verändert, so dass weniger in Geschäften vor Ort oder in den Stadtzentren eingekauft wird, sondern mehr online. Diese Online-Shopping-Aktivitäten führen unter Umständen dazu, dass Menschen weniger oder keine Einkaufswege mehr durchführen, sondern im Internet bestellen und sich die Waren liefern lassen. Grundsätzlich kann ein gut organisiertes Logistikdienstleistungssystem mit einer intelligenten Routenwahl sehr effektiv Güter zu einzelnen Zielen, z. B. den Haushalten, liefern. Dies kann dazu führen, sofern Einkaufswege von Personen berücksichtigt werden, dass insgesamt weniger Verkehr entsteht. Gleichzeitig besteht aber auch die Möglichkeit, dass durch die Rücksendung von nicht passenden Gütern im Vergleich zu dem persönlichen Einkauf in der Stadt wiederum mehr Verkehr entsteht. Auch diese Wirkungen sind derzeit noch nicht ausreichend erforscht. Um

³⁹⁹ Rolf Moeckel, Michael Heilig, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Benefits of Integrating Microscopic Land Use and Travel Demand Models: Location Choice, Time Use & Stability of Travel Behavior.“ In *Transport Research Procedia*, 48 (2020).

diese Zusammenhänge sinnvoll abzubilden, ist eine Kombination aus Personenverkehrsmodell, das die Einkaufswege der Menschen beschreibt, und Güterverkehrsmodell, das die Logistik-Lieferungen berücksichtigt, notwendig. Beides kann mit dem Ansatz aus Erhebungen und agentenbasierten Modellen durchgeführt werden, sofern Personen- und Güterverkehrsmodelle (Agenten sind hierbei die Fahrzeuge der Logistikdienstleister) gekoppelt sind.⁴⁰⁰ Erste Projekte dazu laufen bereits.

Der Markt der neuen Mobilitätsformen und Mobilitätsdienstleistungen ist einer hohen Volatilität unterworfen, so dass hier kurz-, mittel- und langfristig viele Veränderungen zu erwarten sind. Gerade deshalb ist es notwendig, Verkehrsplanungswerkzeuge zu haben, die auf diese Veränderungen schnell reagieren können und die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage abbilden. Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz aus innovativen Erhebungs- und Modellierungsmethoden kann dies auch künftig geleistet werden.

⁴⁰⁰ Reiffer et al., „Microscopic Demand Modeling of Urban and Regional Commercial Transport“.

6 Zusammenfassung

Die Etablierung von neuen Mobilitätsformen hat viele Gründe. Neue technische Entwicklungen ermöglichen die Einführung von neuen Verkehrsangeboten. Zudem ist die Digitalisierung und die Informations- und Kommunikationstechnologie ein wesentlicher Treiber für neue Mobilitätsformen. Städtebauliche Entwicklungen und der Wille zur Reduzierung des Verkehrs in den Städten hin zu einer Attraktivierung des Umweltverbundes tragen ebenso dazu bei wie die notwendige Verminderung negativer Umweltauswirkungen.

Neue Mobilitätsformen und Mobilitätsdienstleistungen vor allem im Bereich der geteilten Verkehrsmittel sollen dazu führen, den Verkehr nachhaltiger zu gestalten und Alternativen zur Fortbewegung mit dem eigenen Pkw liefern. Dabei spielen Angebote, wie beispielsweise Bikesharing und Carsharing ebenso eine Rolle wie Ridesharing und Ridepooling. Die Nutzung von Elektromobilität, und künftig auch die Automatisierung, wirken in dieselbe Richtung. Die steigende Anzahl an neuen Mobilitätsangeboten und Mobilitätsdienstleistungen führt dazu, dass das Mobilitätsverhalten individualisierter wird und multi- und intermodales Verhalten zunehmen. Diese Veränderungen auf Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfrageseite haben zur Folge, dass die Werkzeuge für Verkehrsplanungszwecke entsprechend angepasst werden müssen. Das betrifft zum einen die Erhebungen des Verkehrsverhaltens und zum anderen die Modellierung der Verkehrsnachfrage, um sinnvoll Verkehrsplanungen und Verkehrsprognosen für die künftige Entwicklung erstellen zu können. Tabelle 6.1 zeigt eine Übersicht der zu berücksichtigenden Eigenschaften der in dieser Arbeit betrachteten neuen Mobilitätsformen.

Tabelle 6.1: Zu berücksichtigende Charakteristika der neuen Mobilitätsformen

Neue Mobilitätsform	Zu berücksichtigende Charakteristika
Elektromobilität	Elektro-Pkw-Besitz
	Eigenschaften der Nutzenden
	Eigenschaften der Elektro-Fahrzeuge
	Integration von Ladeinfrastruktur und Ladevorgängen
	Anpassung von Aktivitäten-, Ziel- und Verkehrsmittelwahl
	Betrachtung von längeren Untersuchungszeiträumen
Fahrzeugsharing	Anmeldung/Verfügbarkeit zum/des Sharing-Systems
	Eigenschaften der Nutzenden
	Eigenschaften des Sharing-Systems
	Eigenschaften und Verfügbarkeit der Fahrzeuge
	Berücksichtigung der Zu- und Abgangswege
	Betrachtung von längeren Untersuchungszeiträumen
Ridehailing/Ridepooling	Anmeldung/Verfügbarkeit zum/des Mobilitätsdienstes
	Eigenschaften der Nutzenden
	Eigenschaften des Mobilitätsdienstes
	Eigenschaften und Verfügbarkeit der Fahrzeuge
	Berücksichtigung von Zu-/Abgangswegen, Wartezeiten und ggf. Umwegen
	Hohe zeitliche und räumliche Detaillierung von Fahrtwünschen/Fahrtangebot
	Betrachtung von längeren Untersuchungszeiträumen je nach Verbreitung
Automatisierung (Stufe 4/5)	Eigenschaften der Fahrzeuge
	Änderungen im Pkw-Besitz
	Anpassung der Aktivitäten, da diese auch während der Fahrt durchgeführt werden können
	Anpassung durch Änderungen des Value of Time (VoT)

Die Charakteristika der neuen Mobilitätsformen erfordern ein Anpassen der Erhebungen, um neue Mobilitätsformen besser im Verkehrsplanungsprozess integrieren zu können. Diese Anpassungen sind in Tabelle 6.2 zusammengefasst.

Tabelle 6.2: Anpassungen in den Erhebungen durch die Integration neuer Mobilitätsformen

Neue Mobilitätsform	Berücksichtigung in Erhebung
Elektromobilität	Große Stichprobe bei RP-Befragungen
	Lange Erhebungszeiträume bei RP-Befragungen
	Andere Erhebungsformen (SP oder SC statt RP)
	Andere Fragestellungen (Generelle Nutzung statt Weg)
	Daten aus E-Fahrzeugen und LIS
Fahrzeugsharing	Alternative Stichprobenziehung bei RP-Befragungen (Umfeld der Nutzenden/Social Media)
	Andere Erhebungsformen (SP oder SC statt RP)
	Andere Fragestellungen (Generelle Nutzung, Letzte Nutzung statt Weg)
	Daten der Anbieter über Nutzende und Nutzung
Ridehailing/Ridepooling	Alternative Stichprobenziehung (Umfeld der Nutzenden/Social Media)
	Andere Erhebungsformen (SP oder SC statt RP)
	Andere Fragestellungen (Generelle Nutzung, Letzte Nutzung statt Weg)
	Daten der Anbieter über Nutzung
Automatisierung (Stufe 4/5)	Nur SP Erhebungen
	Detaillierung der Aktivitäten (=Verkürzung oder Verlängerung, Verschiebung, Substitution oder Erweiterung von Aktivitäten)

Die Nutzung neuer Mobilitätsformen kommt, je nach Ausprägung, im Vergleich zu konventionellen Verkehrsmitteln tendenziell selten vor. Bei einer repräsentativen Stichprobenziehung, zum Beispiel über ein Einwohnermelderegister, wird oft keine ausreichend große Anzahl an Nutzenden der neuen Mobilitätsformen erfasst. Somit ist die Stichprobenziehung einer Befragung so anzupassen, dass bei einer RP-Erhebung genügend Nutzende der neuen Mobilitätsformen zur Verfügung stehen. Dies kann zum Beispiel über Datenbanken von Anbietern oder über Social-Media-Kanäle erfolgen.

Grundsätzlich sind längere Erhebungszeiträume sinnvoll, um selten vorkommende Ereignisse abzufragen. RP-Erhebungen sind oft trotzdem nicht ausreichend, da bei der Aufzeichnung eines zurückliegenden Stichtages oder einer Stichwoche nicht immer Wege mit diesen neuen Mobilitätsformen zurückgelegt wurden und so erfasst werden können. Generell können Fragen zum

allgemeinen Mobilitätsverhalten oder zur letzten Nutzung des Mobilitätsdienstes gestellt werden. Jedoch besteht hier die Gefahr, dass sich die Erhebungsteilnehmenden, falls es sich um länger zurückliegende Ereignisse handelt, nicht mehr ausreichend erinnern können. Abhilfe können SP-Erhebungen liefern, die den Erhebungsteilnehmenden hypothetische Situationen zur Auswahl stellen, mit deren Ergebnissen Verkehrsverhalten mit den neuen Mobilitätsformen analysiert werden kann. Nachteil hierbei könnte eine mögliche Diskrepanz zwischen realer Nutzung und angegebener Nutzung bei den hypothetischen Fragesituationen sein.

Je nach Mobilitätsdienstleistung können spezielle oder generelle Fragen, die sich auf die Eigenschaften des jeweiligen Dienstes beziehen, gestellt werden, um die jeweilige Aufgabenstellung detailliert beantworten zu können. Oft ist es auch hilfreich, Daten der Anbieter, aus den Fahrzeugen oder von Informations- und Buchungsportalen über die Nutzung oder die Eigenschaften der Nutzenden, sofern diese zur Verfügung stehen, zu verwenden. Grundsätzlich ist jede Befragung auf den speziellen Untersuchungsgegenstand, die Rahmenbedingungen des Mobilitätsdienstes und die Forschungsfragen ausulegen. Dies ist detailliert jeweils nur in der Einzelfallbetrachtung möglich.

Die Ergebnisse der angepassten Erhebungswerkzeuge sind in die Modellierung der Verkehrsnachfrage unter Einbeziehung neuer Mobilitätsformen zu integrieren. Auch der Modellierungsprozess zur Integration neuer Mobilitätsformen ist zu modifizieren. Tabelle 6.3 zeigt einen Überblick über Anpassungen in der Modellierung, die durch neue Mobilitätsformen notwendig werden.

Tabelle 6.3: Anpassungen in der Modellierung durch die Integration neuer Mobilitätsformen

Neue Mobilitätsform	Berücksichtigung in Modellierung
Elektromobilität	Mit agentenbasierter Modellierung sehr gut abzubilden
	Abbildung von Besitz der E-Fahrzeuge
	Fahrzeuge als Agenten mit Eigenschaften (SOC, Größe)
	Abbildung von Laden (Ladevorgänge, Lage und Verfügbarkeit der LIS)
	Kombinierte Ziel- und Verkehrsmittelwahl
	Modellierung eines längeren Zeitraums
Fahrzeugsharing	Mit agentenbasierter Modellierung sehr gut abzubilden
	Fahrzeuge als Agenten mit Eigenschaften des Angebots
	(Individuelle) Verfügbarkeit der Sharing-Angebote
	Erweiterung der Verkehrsmittelwahl mit weiteren Verkehrsmitteln
	Berücksichtigung der Zugangs- und Abgangswege
	Modellierung eines längeren Zeitraums
Ridehailing/Ridepooling	Mit agentenbasierter Modellierung sehr gut abzubilden
	Fahrzeuge als Agenten mit Eigenschaften des Angebots
	(Individuelle) Verfügbarkeit der Angebote
	Erweiterung der Verkehrsmittelwahl mit weiteren Verkehrsmitteln
	Berücksichtigung der Zugangs-, Abgangs- und Umwege
	Hohe zeitliche und räumliche Auflösung für Zuordnung
	Fahrtwunsch/Fahrzeug notwendig
Modellierung eines längeren Zeitraums	
Automatisierung (Stufe 4/5)	Mit agentenbasierter Modellierung sehr gut abzubilden
	Fahrzeuge als Agenten mit Eigenschaften
	Abbildung von Besitz der Fahrzeuge
	Veränderte Aktivitäten (Verkürzung, Verlängerung, Verschiebung, Substitution)
	Veränderte Rahmenbedingungen in Ziel- und Verkehrsmittelwahl
	(z. B. Arbeiten während des Wegs oder Berücksichtigung neuer VoT-Werte)

Die Integration neuer Mobilitätsformen in Verkehrsnachfragemodelle eignet sich besonders gut bei agentenbasierten, mikroskopische Nachfragemodellen, da diese auf Individuumsebene arbeiten. In dieser Arbeit wird die

Integration neuer Mobilitätsformen am Beispiel des agentenbasierten Modellierungstools mobiTopp⁴⁰¹ dargestellt.

Durch die Betrachtung von Einzelpersonen in Form von Agenten mit Haushaltskontext und aktuellen Verkehrsmittelverfügbarkeiten ermöglicht diese Art der agentenbasierten Modellierung eine einfache Integration neuer Mobilitätsformen, da je nach spezieller Situation der Agenten die aktuell zur Verfügung stehenden Optionen in den Wahlmodellen Berücksichtigung finden können. Zudem werden neben den Personen-Agenten auch die Fahrzeuge der Mobilitätsdienstleistungen als Agenten modelliert, so dass hier jeweils auf Einzelebene Fahrtwünsche und Fahrtangebote kombiniert werden können. Somit ist es gut möglich, die Mobilitätsdienstleistungen selbst, aber auch die Verfügbarkeiten der Mobilitätsdienstleistungen abzubilden.

In der agentenbasierten Modellierung verfügen die Personen-Agenten über Mobilitätswerkzeuge in Form von Pkw-Besitz, ÖV-Zeitkarten oder Mitgliedschaft bei Carsharing-Organisationen. Außerdem besteht die Möglichkeit, Ridehailing- oder -pooling-Dienste zu nutzen. Dadurch können den Agenten, je nach Eigenschaften, verschiedene Verkehrsmittel-Optionen erlaubt bzw. diese in den Wahl-Algorithmen berücksichtigt werden. Kundenkreise oder die Charakterisierung der Nutzenden sind so gut abbildbar. Dies ermöglicht sowohl in der Ist-Situation die Nutzenden neuer Mobilitätsdienstleistungen spezifisch abzubilden, weil zum Beispiel eine Dienstleistung nur von bestimmten Personen genutzt wird, als auch künftige Szenarien zu modellieren, in denen weitere Agenten mit angepassten Spezifika die Mobilitätsdienste nutzen.

Die Modellierung in mobiTopp läuft chronologisch im Zeitraum einer Woche ab. Das bedeutet, dass die Simulation am Montag um 0:00 Uhr startet und am Sonntag um 24:00 Uhr endet. Immer wenn eine Aktivität eines Agenten endet und ein neuer Weg zu einer anderen Aktivität beginnt, wird eine Ziel- und eine Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Es können dann genau die

⁴⁰¹ Vgl. <http://www.mobitopp.de>. mobiTopp ist eine Open Source-Software: <https://github.com/ifv-mobitopp/mobitopp>

Verkehrsmittel-Optionen gewählt werden, die gerade im Umfeld des Agenten zur Verfügung stehen. Dadurch werden auch selten verwendete Verkehrsmittel, wie es bei neuen Mobilitätsformen oft der Fall ist, bei den Wahlentscheidungen berücksichtigt.

Je nach Art der neuen Mobilitätsform können Eingriffe in die Aktivitätenwahl sowie in die Ziel- und/oder die Verkehrsmittelwahl vorgenommen werden. In der Regel werden neue Mobilitätsformen als neues Verkehrsmittel in die Modelle integriert. Diese Verkehrsmittel haben Eigenschaften, die die Mobilitätsdienstleistungen in der Realität haben, so dass die Rahmenbedingungen möglichst realistisch abgebildet werden können. Beispielsweise werden bei der Elektromobilität die Ladeinfrastruktur und die Reichweiten der Fahrzeuge berücksichtigt oder beim autonomen bzw. vollautomatisierten Fahren veränderte Aktivitätenabfolgen, da während des Fahrvorgangs gegebenenfalls schon Aktivitäten durchgeführt werden können. So hat jede neue Mobilitätsform ihre eigenen Charakteristika, die in die agentenbasierte Modellierung integriert werden können.

Durch die Modellierung eines längeren Zeitraums können auch Aussagen zu multimodalem Verkehrsverhalten getroffen werden, da die Agenten mit ihren Aktivitäten- und Wegeabläufen über den gesamten Modellierungszeitraum analysiert werden können. Durch die Abbildung auf Einzelweg-Ebene ist es außerdem möglich, intermodales Verkehrsverhalten zu modellieren. Das bedeutet, dass sowohl Zugangs- als auch Abgangswege mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln in die Verkehrsmittelwahl integriert werden können. Gerade bei der Abbildung von neuen Mobilitätsformen ist dies wichtig, da diese sehr oft sowohl intermodales (z. B. beim Carsharing) als auch multimodales Verkehrsverhalten (Nutzung vieler verschiedener Modi) fördern.

Die bereits existierenden neuen Mobilitätsformen können mit den in dieser Arbeit dargestellten Anpassungen in den Erhebungen und Modellierungen gut abgebildet werden. Die Integration neuer Mobilitätsformen in die Verkehrsplanungswerkzeuge ist daher gut möglich. Dies wurde am Beispiel von Elektromobilität, Fahrzeugsharing und Ridesharing, Ridehailing und

Ridepooling sowie der Automatisierung dargestellt. Auch neue Mobilitätsdienstleistungen, die heute noch nicht absehbar sind, aber in Zukunft auf den Markt kommen, können analog dazu in die Verkehrsplanungswerkzeuge integriert werden. Durch die Erhebung und vor allem die Modellierung auf individueller Ebene können verschiedenste künftige Verkehrsangebote und Mobilitätsdienstleistungen modelliert und in ihren Wirkungen analysiert werden. Die aktuellen Forschungswerkzeuge in der Verkehrsplanung sind bereit, die Zukunft der Mobilität zu erheben und zu modellieren.

Literaturverzeichnis

11. *Internationale Energiewirtschaftstagung*. 2019.

2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS).
IEEE, 03.11.2020 - 05.11.2020.

Achleitner, Ann-Kristin, „Start-up-Unternehmen.“.
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/start-unternehmen-42136/version-265490> (letzter Zugriff: 26. März 2020).

ADAC, „Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte:
Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit.“.

—, „Aktuelle Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch.“.
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

Adler, Thomas und Moshe Ben-Akiva, „A theoretical and empirical model of trip chaining behavior.“ *Transportation Research Part B: Methodological* 13, Nr. 3 (1979): 243–257.

Agora Verkehrswende, „Städte in Bewegung: Zahlen, Daten, Fakten zur Mobilität in 35 deutschen Städten.“.

Ahlswede, Andreas, „Durchschnittliche Anzahl der täglichen Fahrten ausgewählter Ridesharing-Anbieter weltweit im Jahr 2019.“.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1049250/umfrage/anzahl-der-taeglichen-fahrten-ausgewaehlter-ridesharing-anbieter-weltweit/> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).

—, „Anzahl der E-Scooter in Deutschland nach ausgewählten Städten im Jahr 2019.“.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1031136/umfrage/anzahl-der-e-scooter-in-deutschland-nach-ausgewaehlten-staedten/> (letzter Zugriff: 5. Juli 2020).

- , „Haben Sie bereits einen Ride-Sharing-Dienst genutzt?“
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/985804/umfrage/umfrage-zur-nutzung-von-ride-sharing-diensten-in-staedten-weltweit/> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).
- Airbus S.A.S., „City Aribus.“. <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html> (letzter Zugriff: 18. September 2020).
- Albers, Sönke, Daniel Klapper, Udo Konradt, Joachim Wolf und Achim Walter, Hrsg., *Methodik der empirischen Forschung*, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag, 2009.
- Andreas Festag, Marco Rehme und Jan Krause, *Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive?* 2016.
https://www.researchgate.net/publication/301560673_Studie_Mobilitat_2025_Koexistenz_oder_Konvergenz_von_IKT_fur_Automotive.
- Armoogum, Jimmy, Hrsg., *Survey harmonisation with new technologies improvement, SHANTI*. Unter Mitarbeit von Jimmy Armoogum et al. Recherches / IFSTTAR R287. Bruxelles: IFSTTAR; COST, 2014.
- Axhausen, Kay W., „Nachfragemodelle für den ÖPNV auf der Grundlage von RP und SP-Daten: Vortrag auf der Heureka '99, Karlsruhe, März 1999.“.
- Axhausen, Kay W., T. Haupt, B. Fell und U. Heidl, „How much of a rail bonus is there? The Dresden experience.“.
- Axhausen, Kay W. und Gerd Sammer, „"Stated responses": Überblick, Grenzen, Möglichkeiten.“.
- Ayberk, Eva-Maria, Lisa Kratzer und Lars-Peter Linke, *Weil Führung sich ändern muss: Aufgaben und Selbstverständnis in der digitalisierten Welt*, 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017.
- Baedeker, Carolin, Kristin Leismann, Holger Rohn, Martina Schmitt und Indra Enterlein, *Nutzen statt Besitzen: Auf dem Weg zu einer ressourcenschonenden Konsumkultur ; eine Kurzstudie*. Schriften zur Ökologie 27. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 2012.
http://www.boell.de/downloads/Endf_NutzenStattBesitzen_web.pdf.

- Becker, Christoph und Stffen Fabian, „Herausragende Mobilität? Eine objektive Bewertungsheuristik für inter- und multimodale Mobilitätsplattformen.“ In *Journal für Mobilität und Verkehr*. 2/2019, 59–65.
- Beckmann, Klaus J., „Leitkonzept - Stadt und Region der kurzen Wege.“
- Ben-Akiva, Moshe E. und Steven R. Lerman, *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. MIT Press series in transportation studies 9. Cambridge: MIT Press, 1985.
- Bendel, Oliver, „Definition: Sharing Economy.“ *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*, 7. Januar 2019.
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/sharing-economy-53876/version-368822> (letzter Zugriff: 4. September 2020).
- blablaCar, „Kann ich mit BlaBlaCar auch pendeln?“
<https://www.blablaCar.de/faq/question/kann-ich-mit-blablaCar-auch-pendeln> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).
- Bliemer, Michiel C.J. und Andrew T. Collins, „On determining priors for the generation of efficient stated choice experimental designs.“ *Journal of Choice Modelling* 21 (2016): 10–14; *Journal of Choice Modelling*, 21, 10-14.
- BMU, „Fahrzeugkonzepte für Elektroautos.“
<https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/allgemeine-informationen/fahrzeugkonzepte-fuer-elektroautos/> (letzter Zugriff: 16. Juni 2020).
- BMU, Arbeitsgruppe IK III 1, „Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.“, 2. Aufl.
<https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/> (letzter Zugriff: 5. September 2020).
- Boes, Andreas, Tobias Kämpf, Barbara Langes und Thomas Lühr, „Informatisierung und neue Entwicklungstendenzen von Arbeit.“ *Arbeits- und Industriosozilogische Studien* Vol. 7 (1) Seite 5-23.
- Bogenberger, Klaus und Stefan Schmöller, „Sharing-Systeme als Teil einer nachhaltigen Mobilität.“ *Politische Studien* 2018, Nr. 478 (2018): 28–39.

- Bonnel, P., M. Lee-Gosselin, Zmud. J. und J. L. Madre, Hrsg., *Transport Survey Methods - Keeping Up With a Changing World*. 2009.
- Bowman, John und Moshe Ben-Akiva, „Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35, Nr. 1 (2000): 1–28.
- Brecht, Michael, „Mobility Startups.“. <https://emobilitaetblog.de/mobility-startups/> (letzter Zugriff: 26. März 2020).
- Breitkopf, A., „Entwicklung des weltweiten CO₂-Ausstoßes in den Jahren 1995 bis 2018.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/208750/umfrage/weltweiter-co2-ausstoss/> (letzter Zugriff: 2. April 2020).
- , „Höhe der CO₂-Emissionen nach ausgewählten Ländern weltweit im Jahresvergleich 1990 und 2018.“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167864/umfrage/co-emissionen-in-ausgewaehlten-laendern-weltweit/> (letzter Zugriff: 2. April 2020).
- Bundesamt für Justiz, „Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.“. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/ (letzter Zugriff: 3. April 2020).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin und Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumforschung - BBSR-, Bonn, Hrsg., *Innovative öffentliche Fahrradverleihsysteme. Modellprojekte am Start*. Sonderveröffentlichung. Deutschland, Berlin, 2012. <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/124912>.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Abkommen von Paris.“. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html> (letzter Zugriff: 2. April 2020).
- Bundesverband CarSharing e.V., „CarSharing-Städteranking 2019.“. <https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/carsharing-staedteranking-2019>.

- , „CarSharing in Deutschland.“
<https://www.carsharing.de/presse/fotos/zahlen-daten/anzahl-carsharing-fahrzeuge-carsharing-kunden> (letzter Zugriff: 3. Juli 2020).
- Burger, Bruno, „Stromerzeugung in Deutschland im ersten Quartal 2020.“.
https://www.energy-charts.de/energy_pie_de.htm?year=2019 (letzter Zugriff: 16. Juni 2020).
- Burgstaller, Stefan, Demian Flowers, David Tamberrino, Heath Terry und Yipeng Yang, „Rethink Mobility.“.
- Camarinha-Matos, Luis M. und Hamideh Afsarmanesh, Hrsg., *Collaborative Systems for Smart Networked Environments - 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014. Proceedings*. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-44745-1>.
- Chicco, Andrea, Marco Diana, Johannes Rodenbach, Jeffrey Matthijs, Gunnar Nehrke, Michael Ziesak und Marko Horvat, „Mobility scenarios of car sharing: gap analysis and impacts in the cities of tomorrow.“. STARS - Shared mobility opporTunities And challenges foR European cities Deliverable D5.1.
- Chlond, Bastian. „25 Jahre Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Ein Rückblick und eine Beschreibung im Überblick.“ Vortrag, Berlin, 28. November 2019. <https://doi.org/10.5445/IR/1000100754>.
- Chlond, Bastian, Martin Kagerbauer, P. Ottmann und Dirk Zumkeller, „Mobilitätspanel: Pkw-Fahrleistungen und Treibstoffverbrauch im Vergleich.“ *Internationales Verkehrswesen* 61, Nr. 3 (2009): 71–75.
- Chlond, Bastian, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Welche Anforderungen sollen Elektrofahrzeuge erfüllen? – Hinweise aus der Perspektive der Mobilitätsforschung.“ In *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*, hrsg. von Heike Proff und Schönharting, Jörg et al. (Hg.), 445–454. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012.

- Chlond, Bastian, Martin Kagerbauer, Peter Vortisch und Johannes Wirges, „Market Potential for Electric Vehicles from a Travel Behavior Perspective.“ In *TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2012.
- Christensen, Linda, Tobias Kuhnimhof, Jean-Paul Hubert, Angelika Schulz, Martin Kagerbauer und Natalia Sobrino, „Improving Comparability of Survey Results Through Ex-post Harmonization - a Case Study with Twelve European National Travel Surveys.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2014.
- Clewlou, Regina und Gouri Shankar Mishra, „Shared Mobility: Current Adoption, Use, and Potential Impacts on Travel Behavior.“ In *TRB 96th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2017. <http://docs.trb.org/prp/17-05729.pdf>.
- Correia, Gonçalo Homem de Almeida, Erwin Loeff, Sander van Cranenburgh, Maaïke Snelder und Bart van Arem, „On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 119 (2019): 359–382.
- Dąbrowska, Anna und Anna Gutkowska, „Collaborative Consumption as a New Trend of Sustainable Consumption.“ *Acta Scientiarum Polonorum Oeconomia*, 14 (2) (2015): 39–49.
- Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., Hrsg., *Ansprüche einer mobilen Gesellschaft an ein verlässliches Verkehrssystem*. Berlin, 2011; Jahresband 2009/2010.
- , Hrsg., *Perspektive Mobilität - Herausforderungen im Gesellschaftlichen Wandel*. Berlin, 2013; Jahresband 2011/2012.
- , Hrsg., *Journal für Mobilität und Verkehr - Neue Formen der Mobilität*. 2019.
- Die Bundesregierung, „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung.“ <https://www.bmu.de/download/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

- Donges, Edmund, „Fahrerverhaltensmodelle.“ In *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort ; mit 45 Tabellen*, hrsg. von Hermann Winner, Stephan Hakuli und Gabriele Wolf. 1. Aufl., 15–23, PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.
- door2door, „Ridepooling: Die wichtigsten Begriffe erklärt.“
<https://blog.door2door.io/ridepooling-die-wichtigsten-begriffe-erkl%C3%A4rt-e5a74f36c4f7> (letzter Zugriff: 15. Juli 2020).
- Doppelmayr, „La Paz - Das weltgrößte urbane Seilbahnnetz.“
<https://lapaz.doppelmayr.com/> (letzter Zugriff: 19. September 2020).
- Ecke, Lisa, Bastian Chlond, Miriam Magdolen, Tim Hilgert und Peter Vortisch, „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2018/2019: Alltagsmobilität und Fahrleistung.“
- e-mobil BW GmbH, „Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch: Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg.“
- Engelhardt, Roman, Florian Dandl, Aledia Bilali und Klaus Bogenberger, „Quantifying the Benefits of Autonomous On-Demand Ride-Pooling: A Simulation Study for Munich, Germany.“ In *The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC: Auckland, New Zealand, 27-30 October 2019*, 2992–2997. [Piscataway, New Jersey]: IEEE, 2019.
- Eryilmaz, E., Martin Kagerbauer, Thomas Schuster und Oliver Wolf, „Collaborative Management of Intermodal Mobility.“ In *Collaborative Systems for Smart Networked Environments - 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014. Proceedings*, hrsg. von Luis M. Camarinha-Matos und Hamideh Afsarmanesh, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- European Platform on Mobility Management (EPOMM), „Mobilitätsbudget.“
http://www.epomm.eu/newsletter/electronic/0312_EPOMM_enews_D E.html (letzter Zugriff: 8. April 2020).

- European Survey Research Association, Hrsg., *ERSA Conference Papers*. 2011.
- EVS30, Hrsg., *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*. 2017.
- Feld, Brad, *Startup communities: Building an entrepreneurial ecosystem in your city*. Startup revolution. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2012.
<http://www.esmt.ebib.com/patron/FullRecord.espx?p=1022348>.
- FGSV, „Elektromobilität - Systembedingungen, Einsatzbedingungen und Systemintegration.“.
- , *Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2020.
- Follmer, Robert und Johannes Eggs, „Personenverkehr in Stadt und Land: Befragungsergebnisse Mobilitätsverhalten 2017.“. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/personenverkehr-in-stadt-und-land/> (letzter Zugriff: 8. September 2020).
- Forschungsgemeinschaft Urlaub und Reisen e.V. (FUR), „ReiseAnalyse 2019 - Erste ausgewählte Ergebnisse der 49. Reiseanalyse zur ITB 2019.“.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen - EVE*, Ausg. 2012. FGSV R2, Regelwerke 125. Köln: FGSV-Verl., 2012.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Hrsg., *HEUREKA '02. Optimierung in Verkehr und Transport*. Köln: FGSV, 2002.
- , Hrsg., *HEUREKA '11. Optimierung in Verkehr und Transport*. Köln: FGSV, 2011.
- , Hrsg., *HEUREKA '14. Optimierung in Verkehr und Transport*. Köln: FGSV, 2014.
- , Hrsg., *HEUREKA '17. Optimierung in Verkehr und Transport*. Köln: FGSV, 2017.
- Forschungs-Informationssystem FIS, „Stufen des automatisierten Fahrens.“. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/471276/> (letzter Zugriff: 16. Juli 2020).

- Fraedrich, Eva, Lars Kröger, Francisco Bahamonde-Birke, Ina Frenzel, Gernot Liedtke, Stefan Trommer, Barbara Lenz und Dirk Heinrichs, „Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr: Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen.“
- Fraunhofer Institute for Systems and Innovation, Hrsg., *Urbane Mobilität der Zukunft*. Unter Mitarbeit von Martin Wietschel und Simon Funke. 2015. <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-345183.html>.
- Friedrich, Markus, „Wie viele? Wohin? Womit? Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen?“ In *HEUREKA '11. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2011.
- Friedrich, Markus, Fabien Leurent, Irina Jackiva, Valentina Fini und Sebastián Raveau, „From Transit Systems to Models: Purpose of Modelling.“ In *Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems: COST Action TU1004 (TransITS)*, hrsg. von Guido Gentile, Klaus Noekel und Klaus Nökel. 1st ed. 2016, 131–234, Springer Tracts on Transportation and Traffic. s.l.: Springer-Verlag, 2016.
- Friedrich, Markus, Eric Pestel, Udo Heidl, Juliane Pillat, Christian Schiller und Robert Simon, „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle.“
- Galler, Dominik, Christoph Becker, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Fostering Change of Individual Travel Behavior with Customized Mobility Services.“ In *COLLA 2016 - The Sixth International Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications*, hrsg. von Thomas Schuster und Lasse Berntzen, 49–54. ThinkMind, 2016.
- Geiser, Christian, *Latent-Class-Analyse in: Datenanalyse mit Mplus: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2010.
- Gentile, Guido, Klaus Noekel und Klaus Nökel, Hrsg., *Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems: COST Action TU1004 (TransITS)*, 1st ed. 2016. Springer Tracts on Transportation and Traffic. s.l.: Springer-Verlag, 2016.
- Geweke, Stefan und Claudia Schultz. „How Far Individual Travel Behavior will be Influenced by Transport Information.“ Vortrag, Maastricht, 2004.

- Gnann, Till, Patrick Plötz, Joachim Globisch, Uta Schneider, Elisabeth Dütschke, Simon Funke und Martin Wietschel et al., „Öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: Ergebnisse der Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe.“
<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-474648.html>.
- Guerreiro, Cristina, Frank de Leeuw, Valentin Foltescu, Alberto González Ortiz und Jan Horálek, *Air quality in Europe: 2015 report*. EEA report. Luxembourg: Publications Office, 2015.
- Hageböiling, Lothar und Neven Josipovic, Hrsg., *Herausforderung Mobilitätswende: Ansätze in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft*, 1. Auflage. Mobilitätsrecht-Schriften. Berlin: BWV Berliner Wissenschafts-Verlag, 2018.
- Hartwig, Karl-Hans, Henrik Armbrrecht, Marian Rückert, Henning Tegner, Heike Ehrmann, Thomas Franke und Karen Wanner, „Verkehrsinfrastruktur-Benchmarking Europa: Verkehrsinfrastrukturausstattung und verkehrspolitische Rahmenbedingungen in ausgewählten europäischen Staaten.“. ifmo.de.
- Heggie, Ian G., „Putting Behaviour into Behavioural Models of Travel Choice.“ *The Journal of the Operational Research Society* 29, Nr. 6 (1978): 541–550.
- Heilig, Michael, Till Gnann, Patrick Plötz, Nicolai Mallig, Lars Briem, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Do plug-in electric vehicles cause a change in travel behavior?“ In *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, hrsg. von EVS30. 2017.
- Heilig, Michael, Tim Hilgert, Nicolai Mallig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region.“ *Transportation Research Procedia* 26 (2017): 13–21.
- Heilig, Michael und Martin Kagerbauer, „Längsschnittanalyse der Nutzung von stationsbasiertem Carsharing.“ In *DVWG-Jahresband 2016/2017*, hrsg. von Kerstin Rosenberger, Martin Kagerbauer und Jan Ninnemann. 2018.

- Heilig, Michael, Martin Kagerbauer, Charles-Elie Allier und Peter Vortisch, „Recruiting participants for user-behavior surveys of free-floating carsharing using Facebook – a case-study.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2014.
- Heilig, Michael, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch. „Indicators of Station-Based Carsharing Usage: Longitudinal and Spatial Analyses.“ Vortrag, Shanghai, 2016.
- Heilig, Michael, Nicolai Mallig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Entwicklung eines kombinierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ In *HEUREKA '17. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2017.
- , „Large-Scale Application of a Combined Destination and Mode Choice Model Estimated with Mixed Stated and Revealed Preference Data.“ *Transportation Research Record*, Nr. 2669 (2017): 31–40.
- Heilig, Michael, Nicolai Mallig, Ole Schroeder, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Multiple-day Agent-based Modeling Approach of Station-based and Free-floating Carsharing.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2015.
- , „Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model.“ *Travel Behaviour and Society* (2018).
- Heilig, Michael, Patrick Plötz, Tamer Soylu, Lars Briem, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Assessment of fast charging station locations - an integrated model based approach.“ In *15th International Conference on Travel Behavior Research*, hrsg. von International Association for Travel Behaviour Research (IATBR). 2018.
- Henninger, Annette, „Kleemann, Frank: Die Wirklichkeit der Teleheimarbeit. Eine arbeitssoziologische Untersuchung. Berlin: edition sigma 2005, ISBN 3-89404-525-6, 374 Seiten, 24,90 Euro.“
- Hensher, David A., „How do respondents process stated choice experiments? Attribute consideration under varying information load.“ *Journal of Applied Econometrics* 21, Nr. 6 (2006): 861–878.

- Hensher, David A. und William H. Greene, „The mixed logit model: the state of practice.“ *Transportation* 30, Nr. 2 (2003): 133–176; *Transportation*, 30(2), 133-176.
- Hilgert, Tim. „Erstellung von Wochenaktivitätenplänen für Verkehrsnachfragemodelle.“ Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2019.
- Hilgert, Tim, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modeling Week Activity Schedules for Travel Demand Models.“ *Transportation Research Record*, Nr. 2666 (2017): 69–77.
- Hilgert, Tim, Martin Kagerbauer, Michael Heilig und Peter Vortisch, „Modellierung von Wochenaktivitätenplänen für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ *Straßenverkehrstechnik*, Nr. 6 (2017): 371–380.
- , „Modellierung von Wochenaktivitätenplänen für das Multi-Agenten-Modell mobiTopp.“ In *HEUREKA '17. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2017.
- Hilgert, Tim, Martin Kagerbauer, Thomas Schuster und Christoph Becker, „Optimization of Individual Travel Behavior through Customized Mobility Services and their Effects on Travel Demand and Transportation Systems.“ *Transportation Research Procedia*, Nr. 19 (2016): 58–69.
- Hilgert, Tim, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Considering joint trips and activities in week activity schedules.“ In *TRB 97th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2018.
- Hilgert, Tim, Martin Kagerbauer, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Integrating BEV into daily travel behaviour.“ In *Cross-border Mobility for Electric Vehicles - Selected results from one of the first cross-border field tests in Europe*, hrsg. von Johannes Schäuble, Patrick Jochem und Wolf Fichtner, 195–207. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2016.
- Hilgert, Tim, Sascha von Behren, Nadine Kostorz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Does Travel Behavior of People using Mobility-Apps differ? Findings from a Market Analysis in Germany.“ In *11th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2017.

- Hilgert, Tim, Christine Weiss, Martin Kagerbauer, Bastian Chlond und Peter Vortisch, „Stability and Flexibility in Commuting Behavior – Analyses of Mode Choice Patterns in Germany.“ In *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2016.
- Hilgert, Tim, Kerstin Westermann, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Nutzung von Mobilitäts-Apps in Deutschland.“ *Internationales Verkehrswesen* 69, Nr. 1 (2017): 38–41.
- Hubert, Jean-Paul, Linda Christensen, Tuuli Järvi, Martin Kagerbauer, Natalia Sobrino und Christine Weiss, „Comparison of travel behaviour in 11 European Countries by use of post-harmonized European national travel surveys.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2014.
- Hüglin, Christoph, Matthias Gianini und Robert Gehring, „Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub: Untersuchungen an ausgewählten NABEL-Standorten.“ Schlussbericht.
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/chemische_zusammensetzungundquellenvonfeinstaub.pdf.download.pdf/chemische_zusammensetzungundquellenvonfeinstaub.pdf (letzter Zugriff: 3. April 2020).
- Hülsmann, Friederike, Julia Wiepking und Wibke Zimmer, „share – Wissenschaftliche Begleitforschung zu car2go mit batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen: Forschung zum free-floating Carsharing.“
- Hunecke, Marcel, Claus J. Tully und Doris Bäumer, *Mobilität von Jugendlichen: Psychologische, soziologische und umweltbezogene Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2002.
- ICoMaaS – 2nd International Conference on Mobility as a Service*. 2019.
- infas und DIW, „Mobilität in Deutschland 2002 Ergebnisbericht.“
- infas und DLR, „Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends.“

- , „Mobilität in Deutschland: Multimodalität und Carsharing der Verkehrsmittelmix ist entscheidend.“.
- , „Mobilität in Deutschland Etappenkonzept: Auswertung eines Methoden-Zusatzes in der MiD 2017 und Exkurs zur Nahmobilität.“.
- infas, DLR, IVT Research und infas 360, „Mobilität in Deutschland - Analyse zum Radverkehr und Fußverkehr.“.
- Institut für Verkehrswesen, Hrsg., *Mobiles Leben - Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller*. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009.
- International Association for Travel Behaviour Research (IATBR), Hrsg., *15th International Conference on Travel Behavior Research*. 2018.
- International Scientific Conference on Mobility and Transport: Urban Mobility - Shaping the Future Together*. 2018.
- International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC), Hrsg., *10th International Conference on Transport Survey Methods*. 2014.
- , Hrsg., *11th International Conference on Transport Survey Methods*. 2017.
- , Hrsg., *12th International Conference on Transport Survey Methods*. 2021.
- Jakobsson, Cecilia, Erika Ramos, Andrea Chicco, Marco Diana, Stefano Beccaria, Massimiliano Melis, Johannes Rondenbach, Jeffrey Matthis, Gunnar Nehrke und Willi Loose, „The influence of socioeconomic factors in the diffusion of car sharing.“.
- Janczura, Sarah, „Mit der Röhre durch München: Was Studenten mit dem Hyperloop von Elon Musk vorhaben.“.
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verkehr/hyperloop-geht-in-die-naechste-runde/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).
- Journal für Mobilität und Verkehr*.
- Kagerbauer, Martin, *Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen 70. Karlsruhe: KIT Scientific Publ., 2010.

- , „Elektromobilität: Integration von Elektromobilität in die Verkehrsplanung – Welche Anpassungen unserer Werkzeuge brauchen wir?“ (2021).
- Kagerbauer, Martin und Klaus Bogenberger. „MOIA Begleitforschung: Pressefrühstück.“ Vortrag, Hamburg, 24. Juli 2019.
- Kagerbauer, Martin und Stacey Bricka, „Panel, Continuous, and Cross-Sectional Travel Surveys – Germany's Experience.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2015.
- Kagerbauer, Martin und et al., „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr: Teilpapier 1: Definitionen.“
<https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).
- , „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr: Teilpapier 2: Erheben, Beschreiben und Erklären.“
<https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).
- , „Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr - Teilpapier 3: Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte.“
<https://www.fgsv.de/gremien/verkehrsplanung/erhebung/128-multi-und-intermodalitaet.html> (letzter Zugriff: 6. September 2020).
- Kagerbauer, Martin und Michael Heilig, „Projekt eVerkehrsraum Stuttgart.“ *Internationales Verkehrswesen*, 3/2013 (2013): 68.
- , „Carsharing - ein neues Verkehrssystem.“ *Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft*, 04/2015 (2015): 20–26.
- , „Abschlussbericht „eVerkehrsraum Stuttgart“.“.

- Kagerbauer, Martin, Michael Heilig, Nicolai Mallig und Peter Vortisch, „Wirkungen zukünftiger Mobilität: mobiTopp - Simulationswerkzeug zur Integration von Carsharing und Elektromobilität in die Mobilitätslandschaft.“ In *Urbane Mobilität der Zukunft*, hrsg. von Fraunhofer Institute for Systems and Innovation. 2015.
- , „Carsharing - ein neues Verkehrssystem!“ In *Nationale und internationale Trends in der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, hrsg. von Heike Proff und Thomas Martin Fojcik, 385–402. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016.
- Kagerbauer, Martin, Michael Heilig, Jonathan Slason, Tom Adler, Tudor Mocanu und Christian Winkler, „Pilot Somerville.“
- Kagerbauer, Martin, Tim Hilgert, Ole Schroeder und Peter Vortisch, „Household Travel Survey of Intermodal Trips – Approach, Challenges and Comparison.“ *Transportation Research Procedia* 11 (2015): 330–339.
- Kagerbauer, Martin, Nadine Kostorz, Gabriel Wilkes, Klaus Bogenberger, Ulrich Glöckl, Florian Dandl und Roman Engelhardt, „MOIA Begleitforschung: Status report No. 1: Empirical investigations.“
- Kagerbauer, Martin, Tobias Kuhnimhof und Falco Nordenholz, „Raumstrukturdaten als Input für Verkehrsnachfragemodelle: Grundlage für verlässliche Ergebnisse.“ *Straßenverkehrstechnik*, Nr. 10 (2016): 650–657.
- Kagerbauer, Martin, Nicolai Mallig, Peter Vortisch und Manfred Pfeiffer, „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp.“ In *HEUREKA '14. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2014.
- , „Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mit Hilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp.“ *Straßenverkehrstechnik* 2015, Nr. 6 (2015): 375–384.
- , „Modeling Variability and Stability of Travel Behavior in a Longitudinal View Using the Agent Based Model mobiTopp.“ In *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2016.

- Kagerbauer, Martin und Wilko Manz, „Anforderungen an Mobilitätsdaten aufgrund heterogener Entwicklung der Verkehrsnachfrage.“ In *Mobiles Leben - Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller*, hrsg. von Institut für Verkehrswesen, 84–101. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009.
- , „Answer Young People Just Like Old People? – Impacts and Consequences of Different Household Travel Survey Methods.“ In *NTTS 2013*, hrsg. von New Techniques and Technologies for Statistics. 2013.
- Kagerbauer, Martin, Wilko Manz und Dirk Zumkeller, „Analysis of PAPI, CATI, and CAWI Methods for a Multiday Household Travel Survey.“ In *Transport Survey Methods - Best Practice for Decision Making*, hrsg. von Johanna Zmud et al., 289–304. Emerald Group Publishing, 2013.
- Kagerbauer, Martin, Claudia Nobis, Carsten Sommer, Carsten Gertz, Till Ackermann und Willi Loose, „Definitionen zu Multi- und Intermodalität.“ *Straßenverkehrstechnik* 5 (2018): 366–372.
- Kagerbauer, Martin, Ole Schroeder, Christine Weiss und Peter Vortisch, „Intermodale Mobilität – Elektromobile Fahrzeugkonzepte als Zubringer zum Öffentlichen Verkehr.“ In *6th Wissenschaftsforum Mobilität - Decisions on the Path of Future Mobility*. Bd. 2014, hrsg. von Universität Duisburg-Essen. 2014.
- , „Intermodale Mobilität – Elektromobile Fahrzeugkonzepte als Zubringer zum Öffentlichen Verkehr.“ In *Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität*, hrsg. von Heike Proff, 567–583. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015.
- Kagerbauer, Martin, Angelika Schulz und Heidrun Reuter. „National Travel Survey and Mobility Panel: Collecting and Updating Passenger Mobility Information in Germany.“ Vortrag, Luxemburg, 7. März 2013.
- Kagerbauer, Martin, Thomas Schuster, Georg Hertweck und Oliver Wolf, „Mobilitätsmanagement im Wandel.“ In *Leichtbau-Technologien im Automobilbau: Werkstoffe - Fertigung - Konzepte*, hrsg. von Wolfgang Siebenpfeiffer, ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg, 2014.
- Kagerbauer, Martin und Juliane Stark, „Does supervision in multi-day travel surveys lead to higher quality? A comparison of two independent surveys.“ *Transportation Research Procedia* 32 (2018): 229–241.

- Kagerbauer, Martin und Peter Vortisch, „Mobilität heute und Morgen?“ In *Perspektive Mobilität - Herausforderungen im Gesellschaftlichen Wandel*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 138–145. Berlin, 2013.
- Kagerbauer, Martin, Christine Weiss, Tatjana Streit und Peter Vortisch, „Do People Really Act the Way they Think? – Differences between Perceptions and Reality in Mode Choice Behavior.“ In *10th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2014.
- Kagerbauer, Martin, Gabriel Wilkes, Sascha von Behren und Juliane Stark, „Time Use during Activities and Trips – Potentials for Analyzing Future Travel and Activity Behavior.“ In *12th International Conference on Transport Survey Methods*, hrsg. von International Steering Committee for Travel Survey Conferences (ISCTSC). 2021.
- Kagermann, Henning, „Das große Ganze denken.“
<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/die-mobilitaet-der-zukunft-das-grosse-ganze-denken/21150326.html> (letzter Zugriff: 24. März 2020).
- Kim, Jinhee, Soora Rasouli und Harry Timmermans, „Hybrid Choice Models: Principles and Recent Progress Incorporating Social Influence and Nonlinear Utility Functions.“ *Procedia Environmental Sciences* 22 (2014): 20–34.
- Köffer, Sebastian und Nils Urbach, „Die Digitalisierung der Wissensarbeit – Handlungsempfehlungen aus der Wirtschaftsinformatik-Forschung.“ *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 53, Nr. 1 (2016): 5–15.
- Kolarova, Viktoriya, Felix Steck und Francisco J. Bahamonde-Birke, „Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 129 (2019): 155–169.
- König, Marc, Moritz Stahl, Meier, Valerie, Rupprecht, Michael, Detlef Schumann und Reha Tözün, „Digitale Mobilität in Kommunen: Analyse für die Gestaltung von Innovationspartnerschaften zwischen Kommunen und Mobilitätswirtschaft 4.0 (InKoMo 4.0).“ https://www.staedtetag-bw.de/media/custom/2295_90297_1.PDF?1549441659 (letzter Zugriff: 3. April 2020).

- Konstantin Krauß, Aline Scherrer, Uta Schneider, Johannes Schuler und Claus Doll, *Sharing Economy in der Mobilität - Potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland: Working paper*. 2020.
- Kopp, Johanna, Regine Gerike und Kay W. Axhausen, „Do sharing people behave differently? An empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing members.“ *Transportation* 42, Nr. 3 (2015): 449–469.
- Kostorz, Nadine, Eva Fraedrich und Martin Kagerbauer, „Not Only for Young Urbanites: The Case of MOIA Ridepooling in Hamburg.“ In *TRB 100th Annual Meeting 2021 - eingereicht*.
- , „Ridepooling als Mobilitätsoption für alle?- Erkenntnisse aus der Moia-Begleitforschung zu Nutzerinnen und Nutzern.“ *Internationales Verkehrswesen* 73, Nr. 1 (2021): 67–71.
- , „Usage and User Characteristics—Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service.“ *Sustainability* 13, Nr. 2 (2021): 958.
- Kostorz, Nadine, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Automatisierte Kleinbusse im Öffentlichen Personennahverkehr - Akzeptanz und Nutzungsintentionen in Deutschland.“ In *Journal für Mobilität und Verkehr - Neue Formen der Mobilität*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 23–32. 2019.
- Kraftfahrt-Bundesamt, „Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2020 gegenüber dem 1. Januar 2019.“
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/b_jahresbilanz_inhalt.html?nn=2601598 (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).
- Krcmar, Helmut, „Mobilität. Erfüllung. System: Zur Zukunft der Mobilität 2025+.“.
- Kuhnimhof, Tobias und Martin Kagerbauer, „Infrastruktur für weniger Menschen - Verkehrsmodelle zwischen Erwartungen und Ergebnisplausibilität.“ In *Ansprüche einer mobilen Gesellschaft an ein verlässliches Verkehrssystem*, hrsg. von Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V., 220–225. Berlin, 2011.

- Kuhnimhof, Tobias, Matthias Wirtz und Wilko Manz, „Decomposing Young Germans' Altered Car Use Patterns: Lower Incomes, More Students, Decrease in Car Travel by Men, and More Multimodality.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nr. 2320 (2012): 64–71. <http://dx.doi.org/10.3141/2320-08>.
- Kunert, Uwe, Marcus Bäumer, Bastian Chlond, Sylvia Diederichsmeier, Martina Dörnemann, Robert Follmer und Günther Haag et al., *Hinweise zu Panel- und Mehrtageserhebungen zum Mobilitätsverhalten - Methoden und Anwendungen*, Ausg. 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV 160. Köln: FGSV-Verlag, 2012.
- Kunert, Uwe, Sabine Radke, Bastian Chlond und Martin Kagerbauer, „Auto-Mobilität: Fahrleistungen steigen 2011 weiter.“ *DIW Wochenbericht*, Nr. 47 (2012): 3–148.
- , „Automobility in Flux: More Women and Older Drivers at the Wheel.“ *DIW Economic Bulletin*, Nr. 8 (2013): 18–28.
- Kunst, Alexander, „Welche dieser Ridesharing-Anbieter haben Sie in den letzten 12 Monaten genutzt?“. <https://de.statista.com/prognosen/999758/umfrage-in-deutschland-zu-beliebten-ridesharing-anbietern> (letzter Zugriff: 14. Juli 2020).
- Landeshauptstadt München, „Seilbahn über den Frankfurter Ring.“ <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Verkehrsplanung/Oeffentlicher-Personennahverkehr/Seilbahn.html> (letzter Zugriff: 18. September 2020).
- Lenz, Barbara und Eva Fraedrich, „Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens.“ In *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, hrsg. von Markus Maurer et al., 639–658. s.l.: Springer, 2015. <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=18942>.
- Louviere, Jordan J., David A. Hensher, Joffre Swait und Wiktor L. Adamowicz, *Stated choice methods: Analysis and applications*, 7. printing. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2010.

- Luchmann, Inga, Christian Reuter, Martin Kagerbauer, Nadine Kostorz und Tim Hilgert, „Fahrerlose Kleinbusse im ÖPNV: Chancen und Herausforderungen: Erste Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA(Klein-)Bus.“ *Der Nahverkehr* 37, Nr. 4 (2019): 52–56.
- Luchmann, Inga, Christian Reuter, Daniel Karthaus, Petra Strauß, Eva-Maria Knoch, Nadine Kostorz und Tim Hilgert et al., „Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV: Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-) Bus.“
- Ludwig-Mayerhofer, Wolfgang, „ILMES: Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung.“
http://wlm.userweb.mwn.de/Ilmes/ilm_m12.htm.
- Mallig, Nicolai. „Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell.“ Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2019.
- Mallig, Nicolai, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „mobiTopp – A Modular Agent-based Travel Demand Modelling Framework.“ *Procedia Computer Science* 19 (2013): 854–859.
- Maurer, Markus, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner, Hrsg., *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.: Springer, 2015.
- McFadden, Daniel, „Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.“ In *Frontiers in econometrics*, hrsg. von Paul Zarembka, 105–142, Economic theory and mathematical economics. New York: Academic Press, 1974.
- McNally, Michael G., *The Four-Step Model* 1. Emerald Group Publishing Limited, 2007.
- Melinda Matyas und Maria Kamargianni, „Survey design for exploring demand for Mobility as a Service plans.“ In *Transportation 2019*. Bd. 46, 1525–1558. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9938-8>.

- Michiel C.J. Bliemer und John M. Rose, „Experimental design influences on stated choice outputs: An empirical study in air travel choice.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 45, Nr. 1 (2011): 63–79.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856410001394>.
- Mock, David, „Loud & proud: Die neue Story der Alten.“
<https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/loud-proud-die-neue-story-der-alten/> (letzter Zugriff: 17. Juli 2020).
- Moeckel, Rolf, Michael Heilig, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer, „Benefits of Integrating Microscopic Land Use and Travel Demand Models: Location Choice, Time Use & Stability of Travel Behavior.“ In *Transport Research Procedia*. 48 (2020), 1956–1967. www.sciencedirect.com.
- MOIA-Pressemitteilung, „Erste umfassende Langzeituntersuchung zu Ridesharing in Europa startet.“. <https://www.moia.io/de-DE/presse/Erste-umfassende-Langzeituntersuchung-zu-Ridesharing-in-Europa-startet> (letzter Zugriff: 15. Juli 2020).
- Morozova, Inna, Christian Körner, Martin Kagerbauer, Markus Blesl und et al. „Analysis and prediction of electromobility and energy supply by the example of Stuttgart.“ Vortrag, Portland, Oregon, 2020.
- Mueller, Kirill und Kay W. Axhausen, „Hierarchical IPF: Generating a synthetic population for Switzerland.“ In *ERSA Conference Papers*, hrsg. von European Survey Research Association. 2011.
- New Techniques and Technologies for Statistics, Hrsg., *NTTS 2013*. 2013.
- Nitsche, Nicole, „Mobility Start ups – ein Überblick.“
<https://paymentandbanking.com/mobility-start-ups-ein-ueberblick/>.
- Nobis, Claudia und Tobias Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht.“. FE-Nr. 70.904/15.
- Nuhn, Helmut und Markus Hesse, *Verkehrsgeographie*, 1. Aufl. Grundriss allgemeine Geographie 2687. Paderborn: Schöningh, 2006.
<http://www.utb-studi-e-book.de/9783838526874>.
- Ochmann, Richard, Uwe Kunert, Manfred Horn, Dominika Kalinowska, Jutta Kloas und Erika Schulz, „Mobilität 2025: Der Einfluss von Einkommen, Mobilitätskosten und Demographie.“.

- Ortúzar, Juan de Dios und Luis G. Willumsen, *Modelling Transport*, 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
<http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10510502>.
- Pang, Shanqi, „Construction of a New Class of Orthogonal Arrays.“ *Journal of Systems Science and Complexity* 20, Nr. 3 (2007): 429–436.
- Pirath, Carl, Hrsg., *Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft*, Zweite erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1949.
- Plötz, Patrick, Till Gnann, Martin Kagerbauer und Michael Heilig, „Can Models Predict Electric Vehicle Users?“ In *International Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, hrsg. von EVS30. 2017.
- Plötz, Patrick, Till Gnann, André Kühn und Wietschel. Martin, „Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge - Langfassung.“ Studie im Auftrag der acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE).
- Plötz, Patrick, Martin Kagerbauer und Tamer Soylu, „Öffentliche Ladeinfrastruktur in Baden-Württemberg.“ Gutachten im Auftrag der e-mobil BW GmbH.
- Poetschke, Felix, „Treibhausgasemissionen 2015 im zweiten Jahr in Folge leicht gesunken.“
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-2015-im-zweiten-jahr-in> (letzter Zugriff: 2. April 2020).
- Pons Online-Wörterbuch. <https://de.pons.com/%C3%BCbersetzung/lateindeutsch> (letzter Zugriff: 7. Februar 2020).
- Proff, Heike, Hrsg., *Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015.
- Proff, Heike und Thomas Martin Fojcik, Hrsg., *Nationale und internationale Trends in der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016.
- Proff, Heike und Schönharting, Jörg et al. (Hg.), Hrsg., *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012.

- Randelhoff, Martin, „Stadt formt Mobilität formt Stadt.“
<https://www.zukunft-mobilitaet.net/163387/analyse/mobilitaet-stadt-siedlungsstruktur-autogerechte-stadt-techniklaeubigkeit/> (letzter Zugriff: 5. September 2020).
- Rauch, Christian, „Die Evolution der Mobilität.“
<https://www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/mobilitaets-trends/mobilitaet-2040/> (letzter Zugriff: 6. September 2020).
- Rayle, Lisa, Susan Shaheen, Nelson Chan, Danielle Dai und Robert Cervero, „App-Based, On-Demand Ride Services: Comparing Taxi and Ridesourcing Trips and User Characteristics in San Francisco.“ In *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2015.
- Reiffer, Anna, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Microscopic Demand Modeling of Urban and Regional Commercial Transport.“ *Procedia Computer Science* 130 (2018): 667–674.
- Reiffer, Anna, Tim Wörle, Lars Briem, Tamer Soylu, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying Usage Profiles of Station-Based Car-Sharing Members Using Cluster Analyses.“ In *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*, hrsg. von Transportation Research Board. 2019.
- Reiffer, Anna, Tim Wörle, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch. „Design of a Stated Preference Survey to Analyse Intermodal Choice Behaviour of Carsharing Users.“ Vortrag, München, 11. September 2019.
- , „Mode Choice Behavior on Access Trips to Carsharing Vehicles.“ In *2020 Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*, 353–358. IEEE, 03.11.2020 - 05.11.2020.
- Reiffer, Anna, Tim Wörle, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch. „Usage Patterns of Free-floating Carsharing Members.“ Vortrag, 7. April 2021.
- Rogers, Everett M., *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster, 2010.
- Rose, John M. und Stephane Hess, „Dual-Response Choices in Pivoted Stated Choice Experiments.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nr. 2135 (2009): 25–33.
<http://dx.doi.org/10.3141/2135-04>.

- Rosenberger, Kerstin, Martin Kagerbauer und Jan Ninnemann, Hrsg., *DVWG-Jahresband 2016/2017*. 2018.
- Ruhrort, Lisa, *Transformation im Verkehr: Erfolgsbedingungen für verkehrspolitische Schlüsselmaßnahmen*. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung Band 44. Wiesbaden: Springer VS, 2019.
- sae.org, „Levels of Driving Automation.“. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles> (letzter Zugriff: 16. Juli 2020).
- Schaller Consulting, „Unsustainable? The Growth of App-Based Ride Services and Traffic, Travel and the Future of New York City.“.
- Schäuble, Johannes, Patrick Jochem und Wolf Fichtner, Hrsg., *Cross-border Mobility for Electric Vehicles - Selected results from one of the first cross-border field tests in Europe*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2016.
- Schemioneck, C. „New urbanism in US-amerikanischen Stadtregionen: ein effektives Planungskonzept gegen urban sprawl?“ Dissertation, Bayerischen Julius-Maximilians-Universität, 2005.
- Schneider, Anja, *Sharing Economy: Leihen, teilen, tauschen anstatt besitzen gilt als Megatrend*. München: GBI-GENIOS Verlag, 2013.
- Schneider, Uta, Claus Doll, Axel Ensslen, Wolf Fichtner, Martin Gießler, Tim Hilgert und Martin Kagerbauer et al., „Wie wir in Zukunft unterwegs sein werden.“ *energiezukunft*, Nr. 22 (2017): 20–22.
http://energiezukunft.eu/fileadmin/user_upload/pdf/energiezukunft/energiezukunft_2017-22.pdf.
- Schnell, Rainer, Paul B. Hill und Elke Esser, *Methoden der empirischen Sozialforschung*, 3., überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg, 1992.
- Schnittger, Stephan und Dirk Wittowsky, „mobiTopp - ein verhaltensorientiertes Verkehrsplanungsinstrumentarium.“ In *HEUREKA '02. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2002.

- Schnittger, Stephan und Dirk Zumkeller. „Longitudinal microsimulation as a tool to merge transport planning and traffic engineering models - the mobiTopp model.“ Vortrag, Straßburg, 2004.
- Scholl, Gerd, Maike Gossen, Magnus Grubbe und Tanja Brumbauer, „Alternative Nutzungskonzepte – Sharing, Leasing und Wiederverwendung.“.
- Schöngrundner, W., „Stickstoffoxide.“ *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 2, Nr. 2 (1990): 111–115.
- Schroeder, Ole, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modellierung intermodaler Wege in einem mikroskopischen Verkehrsmodell: HEUREKA ´14 - Optimierung in Verkehr und Transport.“ In *HEUREKA ´14. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2014; Poster-Session.
- Schroeder, Ole, Christine Weiss, Martin Kagerbauer, Nicolas Reiss, Christian Reuter, Rimbart Schürmann und Steven Pfisterer, „Developing and Evaluating Intermodal E-Sharing Services – A Multi-method Approach.“ *Transportation Research Procedia* 4 (2014): 199–212.
- Schuster, Thomas und Lasse Berntzen, Hrsg., *COLLA 2016 - The Sixth International Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications*. ThinkMind, 2016.
<https://www.thinkmind.org/index.php?view=instance&instance=COLLA+2016>.
- Siebenpfeiffer, Wolfgang, Hrsg., *Leichtbau-Technologien im Automobilbau: Werkstoffe - Fertigung - Konzepte*. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg, 2014.
- Sieber, M., T. Stoiber, U. Haefeli, D. Matti und Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten, *Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Initialprojekt*. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, 2015.
<https://books.google.de/books?id=R7T\jwEACAAJ>.

- Siepermann, Martkus, „Smart City.“
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-city-54505/version-277534>.
- Sommer, Michael, „Das Auto: Nicht mehr der Deutschen liebstes Kind.“
https://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/AWA/AWA_Praesentationen/2016/AWA_2016_Sommer_Auto.pdf (letzter Zugriff: 7. April 2020).
- Soylu, Tamer, Michael Heilig, Lars Briem, Patrick Plötz, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „GIS-based modelling of fast-charging infrastructure at the city-regional level.“ In *International Scientific Conference on Mobility and Transport: Urban Mobility - Shaping the Future Together*. 2018.
- Soylu, Tamer, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs in den Gemeinden der Metropolregion Rhein-Neckar.“ Gutachten im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar GmbH.
- Sparmann, Udo, *ORIENT: Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe 20. Karlsruhe: Inst. für Verkehrswesen der Univ, 1980.
- Springer Fachmedien Wiesbaden, „„Es droht die Gefahr der EnT-Emotionalisierung des Autos.““ *ATZelektronik* 6, Nr. 2 (2011): 18–21.
- Statista, „Absatz von E-Bikes in Deutschland von 2009 bis 2019.“
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152721/umfrage/absatz-von-e-bikes-in-deutschland/>.
- , „Bestand an Elektro-Pkw in Deutschland nach Segmenten in den Jahren 2015 bis 2019.“
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1097903/umfrage/bestand-an-elektro-pkw-in-deutschland-nach-segmenten/>.
- , „Weltweite Bestandsentwicklung von Elektroautos in den Jahren 2012 bis 2019.“
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168350/umfrage/bestand-sentwicklung-von-elektrofahrzeugen/> (letzter Zugriff: 1. Juli 2020).

- Steindl, Alina und Wolfgang Inninger, „CarSharing und Mobilitätsbudget statt Dienstwagen?“ *Internationales Verkehrswesen*, 04.2016.
- Streit, Tatjana, Bastian Chlond, Peter Vortisch, Martin Kagerbauer, Christine Weiss und Dirk Zumkeller, „Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen, Bericht 2012/13: Alltagsmobilität und Fahrleistungen.“
- The 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference - ITSC: Auckland, New Zealand, 27-30 October 2019*. [Piscataway, New Jersey]: IEEE, 2019.
- Train, Kenneth und Wesley W. Wilson, „Estimation on stated-preference experiments Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices.“ In *Transportation Research Part B: Methodological*. 42(3), 191–203.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261507000483>
(letzter Zugriff: 9. September 2020).
- Transport Research Procedia*.
- Transportation 2019*.
- Transportation Research Board, Hrsg., *TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers*. 2012.
- , Hrsg., *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*. 2015.
- , Hrsg., *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*. 2016.
- , Hrsg., *TRB 96th Annual Meeting Compendium of Papers*. 2017.
- , Hrsg., *TRB 97th Annual Meeting Compendium of Papers*. 2018.
- , Hrsg., *TRB 98th Annual Meeting Compendium of Papers*. 2019.
- , Hrsg., *TRB 100th Annual Meeting*. 2021.
- Transportation Research Part B: Methodological*.
- TRB 100th Annual Meeting 2021 - eingereicht*.
- Treiber, Martin. „Verkehrsökonomie: Vorlesungsskript.“ Technische Universität Dresden, 2019. https://mtreiber.de/Vkoek_Ma/ (letzter Zugriff: 2. Juni 2020).

- Tully, Claus J. und Dirk Baier, *Mobiler Alltag: Mobilität zwischen Option und Zwang - vom Zusammenspiel biographischer Motive und sozialer Vorgaben*, 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss, 2006.
- „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage.“.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umweltbewusstsein_in_deutschland.pdf (letzter Zugriff: 24. Januar 2015).
- Umweltbundesamt, „Feinstaub-Belastung.“.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaub-belastung#uberschreitungssituation> (letzter Zugriff: 3. April 2020).
- , „Die Treibhausgase.“.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> (letzter Zugriff: 3. September 2020).
- Umweltbundesamt (Hrsg.), „Liste der Städte mit NO₂-Grenzwertüberschreitung.“.
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/liste-der-staedte-no2-grenzwertueberschreitung> (letzter Zugriff: 3. April 2020).
- , „Stickstoffoxid-Emissionen.“.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990> (letzter Zugriff: 2. April 2020).
- Universität Duisburg-Essen, Hrsg., *6th Wissenschaftsforum Mobilität - Decisions on the Path of Future Mobility*. 2014.
- Virgin Hyperloop LAHQ, „Our Mission.“. <https://virginhyperloop.com/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).
- Vogl, Gerlinde und Gerd Nies, *Mobile Arbeit. Betriebs- und Dienstvereinbarungen*. Frankfurt am Main: Bund-Verl., 2013.
- Volocopter, „Urban Air Mobility.“. <https://www.volocopter.com/en/urban-mobility/> (letzter Zugriff: 18. September 2020).

- von Behren, Sascha, Richard Schubert und Bastian Chlond, „International comparison of psychological factors and their influence on travel behavior in hybrid cities.“ *Research in Transportation Business & Management* (2020): 100497.
- Vrtic, Milenko und Kay W. Axhausen, „Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage.“ In *HEUREKA '02. Optimierung in Verkehr und Transport*, hrsg. von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV, 2002.
- Wagner, Patrick, „Bike-Sharing legt einen Zahn zu.“
<https://de.statista.com/infografik/14552/anzahl-der-bike-sharer/> (letzter Zugriff: 5. Juli 2020).
- Wahler-Žak, Bastian, Hrsg., *Die Entwicklung der Gartenstadt und ihre heutige Relevanz*, Stand Februar 2017. Gartenstadt 21. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2017. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201704191712>.
- Weichbrodt, Johann, Martial Berset und Michael Schläppi, „FlexWork Survey 2016: Befragung von Erwerbstätigen und Unternehmen in der Schweiz zur Verbreitung mobiler Arbeit.“
- Weitzman, Martin L., „The share economy symposium: A reply.“ *Journal of Comparative Economics* 10, Nr. 4 (1986): 469–473.
- Wilde, Mathias, Matthias Gather, Cordula Neiberger und Joachim Scheiner, Hrsg., *Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie: Ökologische und soziale Perspektiven*. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Wiesbaden: Springer VS, 2017.
- Wilkes, Gabriel, Lars Briem, Michael Heilig, Tim Hilgert, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Identifying service provider and transport system related effects of different ridesourcing service schemes through simulation within the travel demand model mobiTopp.“ In *ICoMaaS – 2nd International Conference on Mobility as a Service*. 2019.

- Wilkes, Gabriel, Roman Engelhardt, Lars Briem, Florian Dandl, Peter Vortisch, Klaus Bogenberger und Martin Kagerbauer, „Self-Regulating Demand and Supply Equilibrium in Joint Simulation of Travel Demand and a Ride-Pooling Service.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2021).
- , „Self-Regulating Demand and Supply Equilibrium in Joint Simulation of Travel Demand and a Ride-Pooling Service.“ In *TRB 100th Annual Meeting*, hrsg. von Transportation Research Board. 2021.
- Winner, Hermann, Stephan Hakuli und Gabriele Wolf, Hrsg., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort ; mit 45 Tabellen*, 1. Aufl. PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.
- Wolf, Gerhard und Guido Zimmermann, „Urbanisierung und Neue Mobilität: Wie passen diese Megatrends zusammen?“. https://www.lbbw.de/konzern/research/2020/weitere-studien/20200127_lbbw_research_urbanisierung_und_neue_mobilitaet_aap9r8x7w7_m.pdf (letzter Zugriff: 26. März 2020).
- Wörle, Tim, Lars Briem, Michael Heilig, Martin Kagerbauer und Peter Vortisch, „Modeling intermodal travel behavior in an agent-based travel demand model.“ *Procedia Computer Science* 184 (2021): 202–209.
- Wörner, Ralf, Inna Morozova, Daniela Schneider, Mario Oncken, Patrick Bauer, Markus Blesl und Michael Wiesmeth et al., „Prognosen einer elektromobilen Offensive im urbanen Raum am Beispiel des Großraums Stuttgart - Konsequenzen und Handlungsoptionen.“ In *11. Internationale Energiewirtschaftstagung*. 2019.
- Zarembka, Paul, Hrsg., *Frontiers in econometrics. Economic theory and mathematical economics*. New York: Academic Press, 1974.
- Zmud, Johanna, Martin Lee-Gosselin, Marcela Munizaga und Juan Antonio Carrasco, Hrsg., *Transport Survey Methods - Best Practice for Decision Making*. Emerald Group Publishing, 2013.
- Zumkeller, Dirk. „Ein sozial-ökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Verkehrsnachfragewirkungen.“ Dissertation, TU Braunschweig, 1989.

Zumkeller, Dirk und P. Ottmann, „Moving from Cross-sectional to Continuous Surveying - Synthesis of a Workshop.“ In *Transport Survey Methods - Keeping Up With a Changing World*, hrsg. von P. Bonnel et al., 533–540. 2009.

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen

ISSN 0341-5503

Die Hefte 1 bis 68 der Schriftenreihe können über das Institut für Verkehrswesen zum Preis von 11,00 Euro sowie über den Buchhandel bestellt werden (<https://www.ifv.kit.edu/schriftenreihe.php>).

Mit * gekennzeichnete Hefte sind leider vergriffen.

- Heft 1*** **Paul Stephan Baron**
Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen.
- Heft 2*** **Karl Eugen Stoffers**
Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen.
- Heft 3*** **Reinhard Köhler**
Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen - Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung.
- Heft 4*** **Rolf Böttger**
Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an signalgesteuerten Straßenkreuzungen.
- Heft 5** **Manfred Droste**
Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des ruhenden Verkehrs.
- Heft 6*** 10 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN.
- Heft 7*** **Ingward Bey**
Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung.

- Heft 8*** **Rainer Wiedemann**
Simulation des Straßenverkehrsflusses.
- Heft 9*** **Uwe Köhler**
Stabilität von Fahrzeugkolonnen.
- Heft 10** **Wolf Thomas**
Sensitivitätsanalyse eines Verkehrs-planungsmodells.
- Heft 11** **Peter Pape**
Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch flexible Vorfeldpositionierung.
- Heft 12** **Theo Koffler**
Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg.
- Heft 13*** **Walter Hänicke**
Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsorientierten Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit.
- Heft 14*** **Gerd Bahm**
Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme.
- Heft 15** **Wolf Laubert**
Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von Kleinkabinenbahnstationen.
- Heft 16*** **Bernd-Michael Sahling**
Verkehrsablauf in Netzen ein graphentheoretisches Optimierungsverfahren.
- Heft 17*** **Erich Michael Zahn**
Berechnung gesamtkostenminimaler außerbetrieblicher Transportnetze.
- Heft 18*** **Wolfgang Handschmann**
Sicherheit und Leistungsfähigkeit städtischer Straßenkreuzungen unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung des Kraftfahrzeugführers.

- Heft 19*** **Gottfried Willmann**
Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen.
- Heft 20*** **Udo Sparmann**
ORIENT – Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose.
- Heft 21*** **Richard E. Allsop**
Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen. (1980)
- Heft 22*** **Udo-Michael Adolph**
Systemsimulation des Güterschwerverkehrs auf Straßen.
- Heft 23*** **Claus-Dieter Jahnke**
Kolonnenverhalten von Fahrzeugen mit autarken Abstandswarnsystemen.
- Heft 24*** **Wilhelm Leutzbach**
Verkehr auf Binnenwasserstraßen.
- Heft 25*** 20 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN –
Ein Institut stellt sich vor.
- Heft 26*** **Hans Hubschneider**
Mikroskopisches Simulationssystem für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr.
- Heft 27*** **Peter Mott**
Signalsteuerungsverfahren zur Priorisierung des Öffentlichen Personennahverkehrs.
- Heft 28** **Adolf D. May**
Traffic Management Research at the University of California.
- Heft 29** **Michael Haas**
LAERM – Mikroskopisches Modell zur Berechnung des Straßenverkehrslärms.

- Heft 30** **Dietmar Bosserhoff**
Statistische Verfahren zur Ermittlung von Quelle-Ziel-Matrizen
im Öffentlichen Personennahverkehr – Ein Vergleich.
- Heft 31*** **Karsten Baass**
Ermittlung eines optimalen Grünbandes auf
Hauptverkehrsstraßen.
- Heft 32** **Thomas Benz**
Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und
Abgasemission im Straßenverkehr (MISEVA).
- Heft 33** **Gerd Stucke**
Bestimmung der städtischen Fahrtenmatrix durch
Verkehrszählungen.
- Heft 34** **William Young**
Modelling the Circulation of Parking Vehicles –
A Feasibility Study.
- Heft 35** **Peter G. Gipps**
Simulation of Pedestrian Traffic in Buildings.
- Heft 36*** 25 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN.
- Heft 37*** **Klaus Möller**
Signalgruppenorientiertes Modell zur Optimierung von
Festzeitprogrammen an Einzelknotenpunkten.
- Heft 38** **Wolfgang G. Bleher**
Messung des Verkehrsablaufs aus einem fahrenden Fahrzeug –
Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation.)
- Heft 39** **Walter Maier**
Bemessungsverfahren für Befragungszählstellen mit Hilfe eines
Warteschlangenmodells.

- Heft 40** **Kay W. Axhausen**
Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandwahl.
- Heft 41** **Udo J. Becker**
Beobachtung des Straßenverkehrs vom Flugzeug aus: Eigenschaften, Berechnung und Verwendung von Verkehrsgrößen.
- Heft 42** **Dirk Heidemann**
Ein mathematisches Modell des Verkehrsflusses.
- Heft 43** **Mostafa Sabry Aly**
Headway Distribution Model and Interrelationship between Headway and Fundamental Traffic Flow Characteristics.
- Heft 44** **Jürgen Zoellmer**
Ein Planungsverfahren für den ÖPNV in der Fläche.
- Heft 45** **Stephan Schnittger**
Einfluß von Sicherheitsanforderungen auf die Leistungsfähigkeit von Schnellstraßen.
- Heft 46** **Tien-Pen Hsu**
Optimierung der Detektorlage bei verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung.
- Heft 47** **Reiner Grigo**
Zur Addition spektraler Anteile des Verkehrslärms.
- Heft 48** 30 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN.
- Heft 49** **Yuntong Liu**
Eine auf FUZZY basierende Methode zur mehrdimensionalen Beurteilung der Straßenverkehrssicherheit.
- Heft 50** **Frank Höfler**
Leistungsfähigkeit von Ortsdurchfahrten bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen – untersucht mit Hilfe der Simulation.

- Heft 51** **Andreas Rekersbrink**
Verkehrsflußsimulation mit Hilfe der Fuzzy-Logic und einem Konzept potentieller Kollisionszeiten.
- Heft 52** **Frank Nickel**
Stationsmanagement von Luftverkehrsgesellschaften – Eine systemanalytische Betrachtung und empirische Untersuchung der Stationsmanagement-Systeme internationaler Luftverkehrsgesellschaften.
- Heft 53** **Uwe Reiter**
Simulation des Verkehrsablaufs mit individuellen Fahrbeeinflussungssystemen.
- Heft 54** **Rainer Schwarzmann**
Der Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage.
- Heft 55** **Bastian Chlond**
Zeitverwendung und Verkehrsgeschehen – Zur Abschätzung des Verkehrsumfangs bei Änderungen der Freizeitdauer.
- Heft 56** **Susanne Kickner**
Kognition, Einstellung und Verhalten – Eine Untersuchung des individuellen Verkehrsverhaltens in Karlsruhe.
- Heft 57** **Seonha Lee**
Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Telekommunikation in einer asiatischen Stadtumgebung.
- Heft 58*** **Oliver Lipps**
Modellierung der individuellen Verhaltensvariationen bei der Verkehrsentstehung.
- Heft 59** **Timothy Oketch**
A Model for Heterogeneous Traffic Containing Non-Motorised Vehicles.

- Heft 60** **Volker Waßmuth**
Modellierung der Wirkungen verkehrsreduzierender Siedlungskonzepte.
- Heft 61** **Olaf Eberhard**
Wirkungsanalyse individuell-dynamischer Zielführungssysteme im Straßenverkehr.
- Heft 62** **Wilko Manz**
Mikroskopische längsschnittorientierte Abbildung des Personenverkehrs.
- Heft 63** **Torsten Heine-Nims**
Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage.
- Heft 64** **Peter Vortisch**
Modellunterstützte Messwertpropagierung zur Verkehrslageschätzung in Stadtstraßennetzen.
- Heft 65** **Jörg Last**
Barrieren und Potenziale intermodaler Angebotskonzepte im Personenfernverkehr.
- Heft 66** **Tobias Kuhnimhof**
Längsschnittmodellierung der Verkehrsnachfrage zur Abbildung multimodalen Verhaltens.
- Heft 67** **Stefan Geweke**
Wirksamkeit von Verkehrsinformationen und belastungsabhängigen Preisen zur Nutzung von Kapazitätsreserven im Straßennetz.
- Heft 68** **Dirk Wittowsky**
Dynamische Informationen im ÖPNV – Nutzerakzeptanz und Modellierung.

Ab Band 69 erscheint die Reihe bei KIT Scientific Publishing.

- Band 69** **Peter Ottmann**
Abbildung demographischer Prozesse in Verkehrsentstehungsmodellen mit Hilfe von Längsschnittdaten.
ISBN 978-3-86644-555-0
- Band 70** **Martin Kagerbauer**
Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums.
ISBN 978-3-86644-553-6
- Band 71** **Matthias Wirtz**
Flexible Tarife in elektronischen Fahrgeldmanagementsystemen und ihre Wirkung auf das Mobilitätsverhalten.
ISBN 978-3-7315-0206-7
- Band 72** **Ulrike Leyn**
Einfluss von Instationarität auf die Wartezeit an Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage.
ISBN 978-3-7315-0675-1
- Band 73** **Martin Hartmann**
Modellunterstützte Beurteilung der Verkehrsqualität auf Netzabschnitten von Bundesautobahnen.
ISBN 978-3-7315-0868-7
- Band 74** **Christine Eisenmann**
Mikroskopische Abbildung von Pkw-Nutzungsprofilen im Längsschnitt.
ISBN 978-3-7315-0841-0
- Band 75** **Tim Hilgert**
Erstellung von Wochenaktivitätenplänen für Verkehrsnachfragemodelle.
ISBN 978-3-7315-0973-8

Band 76 **Sven-Eric Molzahn**

Verkehrsphasenbasierte Datenanalyse von zeitlich-räumlichen
Strukturen der Staufronten.

ISBN 978-3-7315-1116-8

Band 77 **Martin Kagerbauer**

Integration von neuen Mobilitätsformen in Verkehrserhebungen
und Verkehrsmodellierung.

ISBN 978-3-7315-1179-3

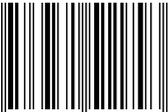


Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch · Band 77

Neue Mobilitätsformen, wie Car- oder Bikesharing, aber auch Ridesharing, -hailing und -pooling, oder neue Technologien, wie Elektromobilität oder Automatisierung, sind schon heute Teil des Verkehrsangebots. Für eine nachhaltige Verkehrsplanung ist es erforderlich, die Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt in Verkehrsangebot und -nachfrage sowohl für den Ist-Zustand als auch für Prognosefälle adäquat abbilden zu können. Die in der Verkehrsplanung verwendeten Werkzeuge sind im Wesentlichen Datenerhebung und Modellierung. Neue Mobilitätsformen sind je nach Art derzeit (noch) wenig verbreitet. Sie erfordern spezielle Rahmenbedingungen in der Verfügbarkeit auf Verkehrsangebots- und Nutzendenseite. Es ist folgerichtig, Erhebungen und Modelle so anzupassen, dass künftig auch neue Mobilitätsformen in der Verkehrsplanung berücksichtigt werden können.

ISBN 978-3-7315-1179-3



9 783731 511793 >

ISSN 0341-5503

ISSN 978-3-7315-1179-3

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier