

Stabilität und Variabilität von Zielwahlentscheidungen – Modellierung und Simulation am Beispiel des Freizeitverkehrs

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

Tim Wörle, M.Sc.

Tag der mündlichen Prüfung: 17.07.2025
Referent: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch
Korreferentin: Prof. Dr. Eva Heinen

Karlsruhe 2025

Kurzfassung

Personen bewegen sich in ihrem Alltag in Raum und Zeit und suchen dabei eine Vielzahl von Orten auf. Das räumliche Verhalten von Personen ist dabei von sich wiederholenden Mustern und Routine, aber auch vom Streben nach Abwechselung geprägt. Die Zielwahl ist eine der größten Herausforderungen bei der Abbildung des Verhaltens in Verkehrsnachfragemodellen, die zur Prognose von Wirkungen im Rahmen von Maßnahmen erstellt werden.

Die vorliegende Arbeit untersucht das Zielwahlverhalten im Rahmen von Freizeitaktivitäten mit einem Fokus auf dessen Stabilität und Variabilität. Die Arbeit nutzt eine Längsschnitterhebung von mehreren Wochen für die Beschreibung von stabilen und variablen Zielwahlverhalten mit geeigneten Indikatoren. Ergänzend wird eine Erhebungsmethode für Aktivitätenorte erstellt, welches neben dem räumlich-zeitlichen Verhalten den sozialen Kontext der Aktivitätenorte betrachtet. Das Erhebungskonzept wurde in einer Piloterhebung angewandt. Mit einem Zielwahlmodellkonzept werden stabile und variable Verhaltensweisen in ein Verkehrsnachfragemodell integriert. Das Modellkonzept betrachtet Zielwahlentscheidungen in einer langfristigen und kurzfristigen Perspektive, indem es zuerst das typische räumliche Verhalten von Personen bestimmt und die eigentliche Zielwahl dieses in ihren Entscheidungen berücksichtigt. Die Synthese von Ortsbeziehungen bestimmt die Orte des typischen Verhaltens und deren Präferenzen, die über die Analyse wiederkehrender Zielwahlentscheidungen im Längsschnitt ermittelt werden. Die Zielwahl nutzt diese verhaltensbasierten Präferenzen, um stabiles Verhalten von Personen besser erklären zu können. Die Methode baut in weiten Teilen auf diskreten Entscheidungsmodelle auf und spezifiziert diese entsprechend den Rahmenbedingungen der Zielwahl.

Die Ergebnisse zeigen, dass Freizeitverhalten heterogen ist und viele Unterschiede zwischen den verschiedenen betrachteten Freizeitzwecken bestehen.

In der Gesamtbetrachtung lässt sich Freizeit als mehrheitlich räumlich variabel charakterisieren. Stabile Verhaltensweisen existieren aber dennoch und einzelne Freizeitkategorien wie Vereins- und Gruppenaktivitäten sind in Summe deutlich stabiler als andere. Freizeitaktivitäten werden überwiegend selbstbestimmt durchgeführt und sind sowohl von Spontanität und Routine geprägt. Das Modellkonzept kann das typische räumliche Verhalten des Aktivitätentyps Freizeit im Wesentlichen erfassen und die Modellanwendung führt zu räumlich stabilerem Verhalten, welches näher an der Realität liegt. Es führt des Weiteren zu einer geringeren Maßnahmensensitivität. Räumliche Stabilität geht auf Basis der Simulationsergebnisse mit einem höheren Widerstand gegenüber Veränderungen einher. Die Arbeit ermöglicht ein besseres Verständnis des räumlich-zeitlichen Verhaltens der Freizeitmobilität im Längsschnitt und eine realistischere Gestaltung der Zielwahl in Verkehrsnachfragemodellen.

Abstract

People navigate through space and time in their daily lives, visiting a range of locations. Their spatial behavior is shaped by recurring patterns and routines, as well as a desire for variety. Destination choice, however, remains one of the most challenging aspects in representing behavior within travel demand models, which are used to predict the effects of interventions.

This study examines the destination choice behavior for leisure activities, focusing on its stability and variability. Using a longitudinal survey conducted over several weeks, the study describes stable and variable destination choice behaviors through suitable indicators. In addition, a survey method for leisure activity locations is developed, considering not only spatio-temporal behavior but also the social context of these activity locations. This survey approach was applied in a pilot study. A destination choice model integrates stable and variable behaviors into a travel demand model. The modeling approach considers destination choices from both long-term and short-term perspectives by first determining individuals' typical spatial behavior and incorporating these patterns into the decision-making processes. The synthesis of relationships identifies all travelers' typical places associated with behavior and preferences, based on the analysis of recurring destination choices in the longitudinal survey. The short-term destination choice uses these behavior-based preferences to better explain individuals' stable behavior. The method is largely based on discrete choice models, tailored to the specific conditions of destination choice.

The findings show that leisure behavior is heterogeneous, with significant differences across various leisure purposes. Overall, leisure activities can be characterized as predominantly spatially variable. However, stable behaviors do exist, with certain leisure purposes, such as club or group activities, being significantly more stable than others. Leisure activities are largely self-

determined and influenced by both spontaneity and routine. The modeling approach captures the typical spatial behavior associated with leisure purposes and leads to a more spatially stable representation of behavior, which aligns more closely with reality. It also results in reduced sensitivity to interventions. Spatial stability, based on simulation results, is associated with greater resistance to change. This work provides a better understanding of the spatio-temporal behavior of leisure mobility in a longitudinal context and contributes to a more realistic representation of destination choice in travel demand models.

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Verkehrswesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). In dieser Zeit bearbeitete ich eine Vielzahl von Forschungsprojekten im Bereich der Verkehrsplanung und der Verkehrsnachfragermodellierung. Die dort gewonnene inhaltliche und methodische Erfahrung bildete den Grundstein für diese Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meinem Hauptreferenten Prof. Dr.-Ing. Peter Vortsch für die Betreuung dieser Arbeit, die Unterstützung bei der Entwicklung des Themas, die kritische Hinterfragung meiner Ideen und die Anleitung innerhalb des wissenschaftlichen Betriebes. Mein Dank gilt ebenfalls Prof. Dr. Eva Heinen für die Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen, für die hilfreichen Diskussionen und die Einordnung der Arbeit. Ein besonderer Dank gilt des Weiteren Prof. Dr.-Ing. Martin Kagerbauer für die Anleitung und die Zusammenarbeit in vielen wissenschaftlichen Bereichen, für das kritische Feedback insbesondere zur Form meiner Arbeiten und nicht zuletzt für die Begleitung bis zum Ende als Teil der Kommission. Ich danke Maike Puhe für die vielen Gespräche zu unseren ähnlichen Themen, das Teilen ihrer Vorerfahrung und ihrer Begeisterung, und die hilfreichen Perspektivwechsel auf das Thema. Ich danke Jan Ellmers und Jelle Kübler für ihre tatkräftige Unterstützung durch die softwareseitige Umsetzung meiner Modelle in der Verkehrsnachfragermodellumgebung *mobiTopp*, wodurch die Anwendung meiner Modelle erst richtig möglich wurde.

Ich danke Sebastian Buck, Michael Heilig, Tim Hilgert, Lars Briem, Tamer Soylu und Sascha von Behren für die Möglichkeit, in der gemeinsamen Arbeit zu Beginn viel von euch zu lernen. Danke an Anna Reiffer, Miriam Magdolen, Lisa Ecke, Claude Weyland, Nadine Kostorz-Weiss und Lukas Barthelmes für das gemeinsame Meistern so vieler Herausforderungen über die Jahre, vom Schreiben der Doktorarbeit über das Irgendwie-Fertigstellen von Papern bis

hin zu zugleich spannenden und zähen Forschungsprojekten, für die wissenschaftliche Inspiration im Austausch mit euch, für das Hochhalten des Team-spirits und für das gemeinsame Durchhalten bis zum Ende. Danke an Gabriel Wilkes und Christian Klinkhardt für unsere Modellierungsexperimente, die kritischen Analysen unserer Verkehrswelt und die gemeinsamen Fahrradtouren. Danke an die gesamte Verkehrsplanungsgruppe für die konstruktive, wertschätzende und angenehme Zusammenarbeit über die Jahre und für eure Unterstützung, insbesondere in den letzten Monaten bis zur Abgabe. Danke allen Kolleginnen und Kollegen für die bunten philosophischen Gesprächsrunden in der Mittagspause, die erfrischenden Laufrunden, die guten Feiern und die gute gemeinsame und prägende Zeit, auf die ich gern und mit guten Gedanken zurückblicke. Danke an die Personen aus Wissenschaft und Praxis, mit denen ich über die Jahre zusammenarbeiten konnte, und von denen ich viel über die Branche, unsere Rollen und die Herausforderungen gelernt habe. Danke an das Institut für die vielen Möglichkeiten, wissenschaftlich Fuß zu fassen, auf Konferenzen unterwegs zu sein und die Flexibilität bei der Bearbeitung meines Themas. Zuletzt bedanke ich mich bei meiner gesamten Familie für den Rückhalt über viele Jahre, die mentale Unterstützung und die Vorfreude, die ihr mir auf das Danach gegeben habt. Ein explizit großes Danke geht an Madleen für das Starkmachen des gegangenen akademischen Weges, ihr wissenschaftliches Ideal, ihre hilfreiche wissenschaftliche Perspektive aus einer anderen Domäne, für ihr Durchhaltevermögen mit mir und für den besonderen Rückhalt über all die Jahre. Für all dies schätze ich mich sehr glücklich.

Karlsruhe, Dezember 2025

Tim Wörle

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract.....	iii
Vorwort und Danksagung.....	v
Inhaltsverzeichnis.....	vii
Abbildungsverzeichnis.....	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xix
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Aufbau der Arbeit	7
2 Analyse der Variation von Zielwahlentscheidungen.....	9
2.1 Gesamtverkehrliche Erkenntnisse	9
2.1.1 Variation von Freizeitaktivitäten	12
2.1.2 Räumliche Variation	17
2.1.3 Zeitliche Variation.....	20
2.1.4 Interpersonelle Variation	22
2.1.5 Synthese	24
2.2 Erklärungs- und Beschreibungsansätze	25
2.2.1 Potenzieller Aktionsraum	25
2.2.2 Wahrgenommener Aktionsraum.....	27
2.2.3 Realisierter Aktionsraum	28
2.2.4 Entfernung und Raumwiderstand	30
2.2.5 Routinen und Habitualisierung.....	31
2.2.6 Ortswahrnehmung und -bindung.....	34
2.2.7 Soziale Netzwerke	37

2.2.8	Synthese	38
2.3	Indikatoren für die Analyse des räumlichen Verhaltens.....	38
2.3.1	Allgemeine Kennwerte des räumlichen Verhaltens	39
2.3.2	Aktionsraummodellierung.....	41
2.3.3	Stabilitätsindikatoren	44
3	Verkehrsnachfragemodelle	51
3.1	Ziele und Anwendung	51
3.2	Aufbau und Funktion	52
3.3	Beispiele von mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen	55
3.4	Diskrete Entscheidungsmodelle	57
4	Modellierung von Zielwahlentscheidungen und deren Stabilität.....	61
4.1	Modellierung zeitgeographischer Prinzipien	62
4.2	Bestimmung der Auswahlmenge.....	65
4.3	Räumliche Verteilungsmodelle und diskrete Zielwahlentscheidungsmodelle	70
4.4	Modelle mit räumlicher Abhängigkeit der Alternativen.....	75
4.5	Tourenbasierte Zielwahlmodellierung.....	78
4.6	Längsschnittorientierte Zielwahlmodellierung.....	79
4.7	Charakterisierung von Ortspräferenzen	80
4.8	Synthese	84
5	Empirische Grundlagen des räumlich-zeitlichen Verhaltens	87
5.1	Aktivitäten- oder wegebasierte Erhebung des räumlich-zeitlichen Verhaltens im Längsschnitt.....	88
5.1.1	Bestehende Erhebungen des räumlich-zeitlichen Verhaltens im Längsschnitt.....	88
5.1.2	MOBIS-Erhebung	90
5.2	Erhebung von Ortsbeziehungen	94
5.2.1	Bestehende Arbeiten zu Ortserhebungen und der Charakterisierung von Orten	94
5.2.2	Erhebungskonzeption.....	99
5.2.3	Durchführung und Plausibilisierung einer Piloterhebung .	104

5.3	Kombination von wegebasierten und ortsbasierten Erhebungen	109
5.3.1	Grundlagen von Datenfusion und statistischen Matching-Methoden	110
5.3.2	Anwendungsfall Aktivitätenorte.....	115
5.4	Synthese	121
6	Analyse des räumlichen Verhaltens und der Zielwahlstabilität	123
6.1	Analyse des räumlichen Verhaltens.....	123
6.2	Charakterisierung der Ortsbeziehungen.....	137
6.3	Stabilitätsindikatoren.....	143
6.4	Synthese	151
7	Verhaltensmodelle und -simulation	153
7.1	Gesamtmodell	153
7.2	Aufbereitung der räumlichen Datengrundlage zur Schätzung von Zielwahlmodellen	159
7.3	Synthetisierung von Ortsbeziehungen	165
7.3.1	Anzahl der Ortsbeziehungen	166
7.3.2	Charakteristiken der Ortsbeziehungen.....	171
7.3.3	Orte der Ortsbeziehungen.....	173
7.4	Zielwahlmodellierung	181
7.5	Synthese	188
8	Anwendung der Modelle in der Verkehrsnachfragesimulation	191
8.1	Synthese der Ortsbeziehungen.....	192
8.2	Stabilität des Zielwahlverhaltens.....	197
8.3	Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens.....	200
8.4	Synthese	205
9	Schluss	209
9.1	Zusammenfassung und Fazit	209
9.2	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	211
Literaturverzeichnis	215	
Anhang	241	

Inhaltsverzeichnis

A Erhebungsgrundlagen.....	241
B Erweiterte Auswertungen des Zielwahlverhaltens.....	251
C Zielwahlmodellierung	255
D Verkehrsnachfragesimulation	256

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Räumlich-zeitliche Stabilität und Variabilität.....	11
Abbildung 2: Übersicht Fragenbogen Aktivitätenorterhebung.....	100
Abbildung 3: Erhebungsraum und berichtete Aktivitätenorte.....	105
Abbildung 4: Vergleich von Erhebungscharakteristiken.....	108
Abbildung 5: Fusionsschritt 1: Standardisierte absolute mittlere Abweichung der Kovariate	119
Abbildung 6: Fusionsschritt 2: Standardisierte absolute mittlere Abweichung der Kovariate	121
Abbildung 7: Skalierte Verteilung der Aktivitäten je Ort nach Distanz vom Wohnort	126
Abbildung 8: Verteilung der Anzahl Aktivitäten je Ort nach Distanz von Wohn- und Arbeits-/ Ausbildungsort	127
Abbildung 9: Freizeitkategorie nach Distanz vom Wohnort.....	128
Abbildung 10: Mittlere Besuchshäufigkeit von Aktivitätenorten nach detaillierter Freizeitkategorie und Distanz vom Wohnort	129
Abbildung 11: Anzahl Aktivitäten je Ort nach mittlerer Aktivitätendauer ..	130
Abbildung 12: Mittlere Aktivitätendauer je Aktivitätenort nach Freizeitkategorie	131
Abbildung 13: Mittlere Aktivitätendauer je Aktivitätenort nach detaillierter Freizeitkategorie	132
Abbildung 14: Mittlere Aktivitätendauer an Freizeitaktivitätenorten nach Distanz vom Wohnort	133
Abbildung 15: Innovationsraten im Verlauf des Berichtszeitraumes	135

Abbildung 16: Innovationsraten von Freizeitaktivitäten im Verlauf des Berichtszeitraumes.....	136
Abbildung 17: Antworten zu Item Räumliche Flexibilität in Aktivitätenorterhebung nach Freizeitkategorie.....	138
Abbildung 18: Zustimmung zu Items Verbindlichkeit in Aktivitätenorterhebung nach Freizeitkategorie.....	139
Abbildung 19: Zustimmung zu Items Motivation in Aktivitätenorterhebung nach Freizeitkategorie.....	141
Abbildung 20: Zustimmung zu Items Motivation in Aktivitätenorterhebung nach Bildungsgrad	142
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Anzahl aufgesuchter Orte nach Freizeitkategorie	146
Abbildung 22: Zielwahlstabilität auf Basis unterschiedlicher Indikatoren nach Freizeitkategorie	148
Abbildung 23: Modellübersicht agentenbasierte Verkehrsnachfragesimulation	155
Abbildung 24: Übersicht Synthesierung von Ortsbeziehungen	158
Abbildung 25: Gelegenheiten nach Freizeitkategorie für Region nahe Sursee (Schweiz)	163
Abbildung 26: Verteilung der Anzahl an Ortsbeziehungen in MOBIS-Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie	193
Abbildung 27: Verteilung der Distanzen der Ortsbeziehungen zum Wohnort in MOBIS-Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie	196
Abbildung 28: Maßnahmen Orte Sport und Erholung	201
Abbildung 29: Maßnahmen Ort Kultur.....	202
Abbildung 30: Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens an ausgewählten Orten in Folge der Beispielmaßnahme.....	204

Abbildung 31: Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens an ausgewählten kulturellen Orten in Folge der Beispielmaßnahme nach Vorhandensein einer Ortsbeziehung	205
Abbildung 32: Tagesganglinien von Aktivitäten nach Wochentag und Zweck in MOBIS-Erhebung und mobitopp-Simulation.....	258

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteile von Vereins-, Gruppen- und Glaubensaktivitäten an allen Freizeitaktivitäten	13
Tabelle 2: Anteile von kulturellen Aktivitäten an allen Freizeitaktivitäten ...	15
Tabelle 3: Anteile von Sport- und Erholungsaktivitäten an allen Freizeitaktivitäten	15
Tabelle 4: Beispielberechnung des Herfindahl-Hirschman-Index	47
Tabelle 5: Übersicht von Verkehrserhebungen mit Dauer mehrerer Wochen	90
Tabelle 6: Charakterisierungsmöglichkeiten von Aktivitäten und -orten in der Literatur.....	97
Tabelle 7: Differenzierung der Freizeitkategorien im Erhebungskonzept...	101
Tabelle 8: Fragebogenkomponenten des sozialen Kontexts von Aktivitätenorten	103
Tabelle 9: Erhebungskennwerte der Pilotanwendung	106
Tabelle 10: Distanzermittlung von Matching-Verfahren.....	112
Tabelle 11: Kovariatauswahl für Matching	117
Tabelle 12: Validierung ausgewählter Aktivitätenortskenngrößen in fusionierter MOBIS-Erhebung und mobidrive-Erhebung (Fusionsschritt 1).....	120
Tabelle 13: Zentrale Kennwerte zu Aktivitätenorten von MOBIS und mobidrive	125
Tabelle 14: Pearson-Korrelation der Indikatoren über alle Freizeitkategorien	149
Tabelle 15: Datengrundlagen für Attraktivitätswerte der Rasterzellen	162
Tabelle 16: Datengrundlagen des Verkehrsangebotsmodells zur Bestimmung verkehrlicher Kenngrößen.....	165

Tabelle 17: Modellvergleich ZIPR und ZINB.....	168
Tabelle 18: Modellergebnisse Anzahl Ortsbeziehungen	170
Tabelle 19: Datengrundlage der Ortsbeziehungssätze für die Zuweisung in der Beziehungssynthese.....	173
Tabelle 20: Modellübersicht – Zielwahl der Ortsbeziehungen.....	177
Tabelle 21: Mixed-Logit-Modelle der Ortswahl von Ortsbeziehungen	179
Tabelle 22: Modellkennwerte kurzfristige Zielwahl	185
Tabelle 23: Zielwahlmodelle mit verhaltensbasierten Präferenzen (MNL 3B)	186
Tabelle 24: Maximale Auswahlmengen nach Freizeitkategorie in der Zielwahl	192
Tabelle 25: Anteil der Ortsbeziehungen mit positiver VBP nach Freizeitkategorie in mobiTopp-Simulation.....	194
Tabelle 26: Mittlere Distanzen der Ortsbeziehungen zum Wohnort in MOBIS- Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie	195
Tabelle 27: Stabilitätsindikatoren der Verkehrsnachfragesimulationen im Vergleich mit MOBIS-Erhebung.....	199
Tabelle 28: Anteil Personen mit einer gewählten Alternative je Freizeitzweck	199
Tabelle 29: Übereinstimmung der Stabilität der mobiTopp- Simulationsergebnisse mit der MOBIS-Erhebung	200
Tabelle 30: Charakteristiken ausgewählter Personengruppen der MOBIS- Erhebung	241
Tabelle 31: Stadt- und Landkreise des Erhebungsraum der Piloterhebung	242
Tabelle 32: Erhebungskonzept Übersicht Fragen.....	243
Tabelle 33: Charakteristiken ausgewählter Personen der Aktivitätenorterhebung	247
Tabelle 34: Balance-Kriterien Fusionsschritt 1: MOBIS-mobidrive	249

Tabelle 35: Balance-Kriterien Fusionsschritt 2: MOBIS-Aktivitätenorterhebung.....	250
Tabelle 36: Charakteristiken von Aktivitätenorten nach Personencharakteristiken der MOBIS-Erhebung	251
Tabelle 37: Innovationsraten nach Personencharakteristiken in MOBIS-Erhebung	253
Tabelle 38: Stabilitätsindikatoren nach Personencharakteristiken in MOBIS-Erhebung	254
Tabelle 39: POI-Kategorien zur Berechnung von Attraktivitätswerten von Freizeitkategorien	255
Tabelle 40: Tägliche Aktivitätenhäufigkeit nach Aktivitätentyp in MOBIS-Erhebung und mobitopp-Simulation.....	257

Abkürzungsverzeichnis

DAL	Dalton-Index
GEV	Generalized extreme value model
GI	Gini-Index
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
IIA	Independence from irrelevant alternatives
L	Likelihood
LL	Log-Likelihood
MiD	Mobilität in Deutschland (Verkehrserhebung)
MNL	Multinomiales Logit-Modell
MOBIS	Mobilitätsverhalten in der Schweiz (Verkehrserhebung)
MOP	Deutsches Mobilitätspanel (Verkehrserhebung)
PPA	Potential path area
VBP	Verhaltensbasierte Präferenzen
VNM	Verkehrsnachfragemodell
ZINB	Zero-inflated negative binomial regression
ZIPR	Zero-inflated poisson regression

Abkürzungsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Der Verkehrssektor ist einem stetigen Wandel unterlegen. Der Wandel ergibt sich u. a. aus Handlungsnotwendigkeiten verursacht durch die demografische Entwicklung und das Ziel eines umweltverträglicheren Verkehrssektors. Der Wandel ist zudem durch die Entwicklungen von Mobilitätstechnologien geprägt. Ein Wandel hin zu einem nachhaltigeren Verkehrssystem umfasst jedoch nicht nur die Verbreitung neuartiger Technologien und dem entsprechenden Umbau der Infrastruktur, sondern erfordert auch ein verändertes Verkehrsverhalten der Menschen. Das kann u. a. bedeuten, dass die Entfernung verringert, bestimmte Fahrten vermieden und somit andere Orte aufgesucht werden (Banister, 2008). Der angestrebte Wandel hin zu distanzeffizientem Verhalten findet sich in planerischen Leitbildern wie der Stadt der kurzen Wege (engl. *Compact city*) wieder (Dieleman & Wegener, 2004). Kurze Entfernung werden ebenfalls als von großer Bedeutung angesehen, um krisenfest in Bezug auf steigende Energiepreise und Mobilitätskosten zu sein (Gertz, 2013; Scheiner, 2013). Dem wirkt aktuell entgegen, dass die „Senkung von Raumwiderständen [...] bislang ein allgemein politisch akzeptiertes Ziel“ (Gertz, 2013) ist. Ein zeiteffizienteres Verkehrsangebot und sinkende Raumwiderstände ermöglichen aber Zielwahlentscheidungen, die zu wachsenden Entfernung im Verkehr führen.

Distanzeffizientes Verkehrsverhalten erfordert die Betrachtung der Verkehrsleistung – die gesamten Kilometer, die im Verkehr zurückgelegt werden. Sie ist eine zentrale Verkehrskenngröße und dient als Berechnungsgrundlage für eine Vielzahl von weiteren Kenngrößen wie verkehrsbedingten Emissionen und Mobilitätskosten. Deren Quantifizierung innerhalb des Verkehrssystems ist für eine ökologisch und sozial verträgliche Gestaltung des Verkehrssystems

unerlässlich, um Entwicklungen bewerten und über Maßnahmen und Politiken entscheiden zu können. Maßgeblich für die Verkehrsleistung der Bevölkerung oder einer Person ist dabei die Lage der Orte, die für unterschiedliche Aktivitäten innerhalb eines Zeitraumes aufgesucht werden. Nach einem langen Wachstum der Pro-Kopf-Verkehrsleistung zwischen 1970 und 1990 konnte in Deutschland ein relativ stabiler Wert von ca. 40 km pro Tag in den letzten Jahrzehnten beobachtet werden (Chlond et al., 2024; infas et al., 2025). Die einzige Ausnahme findet sich in den Jahren der Covid-19-Pandemie 2020 und 2021.

Freizeitaktivitäten sind unter Betrachtung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung ein wichtiger Bestandteil des Alltags. Mit 29 % der Wege und 37 % der Kilometer weisen Freizeitaktivitäten ähnlich hohe Anteile wie die gesamten Arbeits- und Dienstaktivitäten auf (infas et al., 2025). Die historische Betrachtung zeigt eine zunehmende Bedeutung von Freizeitaktivitäten über die Jahrzehnte bis zur Jahrtausendwende (Cordell et al., 2002). Damalige Entwicklungen hinzu reduzierter Wochenarbeitszeit, mehr Urlaubstage, höherer Technisierung des Haushalts, höherer Einkommen und besserer Erreichbarkeit von Freizeitgelegenheiten werden als Rahmenbedingungen für dieses Wachstum gesehen (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Seitdem ist der Anteil der Freizeitaktivitäten an Verkehrsaufkommen und -leistung in Deutschland konstant bis leicht rückläufig (Ecke, Vallee, et al., 2023).

Veränderungen der Verkehrsleistung im Gesamten geschehen nur langsam und können über einen kurzen Zeitraum als konstant angenommen werden. Dabei stellen sich aber Fragen auf der individuellen Ebene: Inwieweit ist diese Stabilität der Verkehrsleistung bei einzelnen Personen zu beobachten? Variiert die Verkehrsleistung bei Betrachtung unterschiedlicher Zeiträume? Unterscheiden sich aufgesuchten Orte eines Zweckes oder werden immer dieselben Orte aufgesucht? Sind diese Orte veränderbar im Falle von substantiellen Veränderungen der Rahmenbedingungen?

Bisherige Studien weisen darauf hin, dass in den zeitlichen Abläufen und dem räumlichen Kontext von Alltagsaktivitäten sowohl wiederkehrende Muster als

auch stetig neue Verhaltenskomponenten erkennbar sind. Stabile Verhaltensweisen finden sich in den Zeitpunkten und Orten bestimmter Aktivitäten, die kontinuierlich wiederkehren, wie z. B. Arbeits-, Einkaufs- und bestimmte Freizeitaktivitäten. Sowohl persönliche Beziehungen zu Personen, zu einem Arbeitgeber oder zu einem Verein als auch bestimmte Vorlieben für Eigenschaften der Ziele (Supermarkt mit bestimmtem Sortiment, Restaurants mit bestimmter Speisekarte) schaffen eine Stabilität in der Wahl der Orte. Gleichzeitig finden sich je nach Aktivitätszweck variable Verhaltensweisen, die keinen erkennbaren Mustern folgen und durch ein Streben nach Abwechslung geprägt sind. Es kann angenommen werden, dass die Veränderlichkeit von Zielwahlentscheidungen abhängig von diesen Dimensionen ist und eine größere Offenheit für andere Orte bei variablen Verhaltensweisen besteht.

Gesellschaftliche Dynamiken prägen Verhaltensweisen auf verschiedenen Ebenen. Der Individualisierung der Gesellschaft wird z. B. ein differenzierteres Wahlverhalten bei Einkaufs- und Freizeitgelegenheiten zugeschrieben. „Es wird nicht die nächste Schule oder der nächste Arzt gewählt, sondern der beste“ (Scheiner, 2013). Die Spezialisierung ist Einfluss und Treiber von räumlich dispersen sozialen und dienstlichen Verflechtungen, die gleichzeitig mit einer höheren Verhaltensvariabilität in Verbindung gebracht werden (Schönfelder & Axhausen, 2016). Die Ausdifferenzierung der Verhaltensweisen und größere Wahlmöglichkeiten führen aber nicht zwangsläufig dazu, dass mehr Freiheiten herrschen. Kopplungszwänge und Zeitdruck bleiben ein bestimmender Faktor individueller Verhaltensweisen.

Die Analyse individueller Verhaltensweisen von Personen in ihrer Alltagsmobilität ist Gegenstand der Verkehrsrecherche. Mittels Verkehrserhebungen wird bestimmt, zu welchem Zweck Personen zu konkreten Zeitpunkten an konkreten Orten unterwegs sind. Darin können stabile und variable Verhaltensweisen erkannt werden. Die Analyse der Zielwahlstabilität erfordert eine Betrachtung des Verkehrs über einen längeren zusammenhängenden Zeitraum, sodass wiederkehrende Entscheidungen sichtbar werden. Ein Großteil der bisherigen Verkehrserhebungen erfasst lediglich den Verkehr eines Tages

und eignet sich daher nicht für Stabilitätsanalysen. Die Erhebung des Verkehrs im Längsschnitt, etwa eine oder mehrere Wochen, geht mit einem erhöhten Erhebungsaufwand einher und geschieht daher nur zu bestimmten Fragestellungen. Neue Erhebungsmethoden ermöglichen aber eine Erhebung des Verkehrs bei geringerem Aufwand für Befragte, sodass auch über lange Zeiträume eine konstante Berichtsqualität erreicht werden kann. Um für die beobachteten Muster ebenfalls ein Verständnis der Hintergründe und Motivationen von Personen zu erlangen, ist eine stärkere Betrachtung des sozialen Kontextes von Orten notwendig. Dazu existieren jedoch nur vereinzelte Erhebungsansätze. In tagebuchbasierten Erhebungen dient der Aktivitätszweck als vereinfachende Approximation.

Neben der Analyse des Verkehrsverhaltens ist dessen Erfassung in Verkehrsnachfragemodellen von Bedeutung. Verkehrsnachfragemodelle haben sich als wichtiges Instrument zur Prognose des Verkehrs unter veränderten Rahmenbedingungen erwiesen. Diese beinhalten Verkehrsverteilungs- oder Zielwahlmodelle, die die Verkehrsrelationen entweder auf aggregierter Ebene oder für einzelne Personen bzw. Modellagenten festlegen. Die Modellierung der Zielwahl stellt allerdings eine der größten Herausforderungen im Rahmen der Analyse der Verkehrsnachfrage dar (E. J. Miller, 2019; Schönenfelder & Axhausen, 2016). Der Prozentsatz der korrekten Vorhersagen von Zielwahlmodellen wird auf 13 bis 22 % beziffert und ist damit deutlich geringer als in anderen Teilmustern (G. Parady et al., 2021). Raumstruktur, Erreichbarkeit, Angebot an Gelegenheiten zur Durchführung von Aktivitäten und der räumlich-zeitliche Kontext von Personen sind gängige Faktoren, die bei der Zielwahlmodellierung berücksichtigt werden. Die Erfahrungen, etablierten Routinen und Ortspräferenzen sind in den Modellen jedoch noch nicht ausreichend berücksichtigt (E. J. Miller, 2019). Zielwahlmodelle berücksichtigen in einzelnen Fällen, dass Zielwahlscheidungen räumlich und/oder zeitlich abhängig voneinander sind. Dabei werden entweder räumliche Korrelationen, zurückliegendes Verhalten oder detailliert erhobene Ortscharakteristiken für eine bessere Erklärung von Zielwahlscheidungen verwendet. Für einen Teil der Aktivitätstypen wird darüber hinaus

angenommen, dass eine Person immer denselben Ort aufsucht, und dementsprechend werden feste Orte in Modellen definiert. Eine der eigentlichen Zielwahl vorangehende Festlegung von Arbeits- oder Ausbildungsorten ist z. B. gängig.

Inwieweit Verkehrsnachfragemodelle mit diesen Zielwahlmodellen eine realistische Stabilität der Zielwahl erreichen, wird in der Forschung bisher nicht betrachtet. Mit geeigneten Stabilitätsindikatoren könnten Erhebungs- und Simulationswerte verglichen werden. Herausforderungen liegen hierbei in dem zu modellierenden Zeitraum und den entsprechenden Aktivitätenplänen, aus denen sich ein Großteil der zeitlichen Variation des Verhaltens ergibt (Raux et al., 2016). Neben der Reproduktion von stabilen und variablen Zielwahlmustern ist deren Widerstand gegen Veränderungen im Modell von großer Bedeutung. Aufgrund der vereinfachten Darstellung der Zielwahlentscheidungen reagieren die Verkehrsmodelle aktuell schnell auf Veränderungen der Rahmenbedingungen: Etwa führt kürzere Reisezeiten meist dazu, dass in der Prognose weitere Distanzen zurückgelegt werden und die Verkehrsleistung in Summe steigt. Ob Zielwahlentscheidungen unter solchen Umständen veränderlich sind und in welchem zeitlichen Kontext dies geschieht, bleibt dabei unberücksichtigt. Weitere Wege steigern aber nicht nur die Verkehrsleistung, sondern fördern auch die Nutzung von Verkehrsmitteln, die typischerweise auf langen Wegen verwendet werden. Eine realistische Zielwahl ist somit ein elementarer Bestandteil für realistische Prognosen dieser Modelle.

1.2 Zielsetzung

Der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist die Stabilität und Variabilität von Zielwahlentscheidungen des Alltagsverkehrs. Mit einer empirischen Beobachtung und einer Umsetzung in einem Verkehrsnachfragemodell wird das Thema dabei umfassend beleuchtet. Die Forschungsarbeit fokussiert den Aktivitätentyp Freizeit aufgrund dessen heterogenen Charakters. Die Analysen

und Modelle werden allerdings so aufgestellt, dass sie auf andere Aktivitätentypen übertragbar sind.

Das Ziel der Forschungsarbeit ist erstens die Quantifizierung der Zielwahlstabilität und -variabilität, das Erkennen von Einflussfaktoren und das Verstehen des sozialen Kontexts des Zielwahlverhaltens. Dazu werden Stabilitätsanalysen von beobachtetem Zielwahlverhalten durchgeführt. Die Arbeiten verwenden eine bestehende Längsschnitterhebung von mehreren Wochen. Die Analysen erfassen die Stabilität und Variabilität der Zielwahl mit geeigneten Indikatoren und ermöglichen deren Interpretation. Sie berücksichtigen individuelle Kontexte von Personen. Zusätzlich wird für ein besseres Verständnis der Hintergründe von Zielwahlentscheidungen eine ergänzende Erhebung durchgeführt, für welche ein Erhebungskonzept entwickelt wird, das den sozialen Kontext von aufgesuchten Orten erfasst. Die darauf aufbauenden Analysen untersuchen den Charakter von Ortsbeziehungen und damit die Motivation, Verbindlichkeit und Flexibilität, die mit einem Ort assoziiert werden.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit besteht zweitens in der Verbesserung der Zielwahlmodelle innerhalb von agentenbasierten VerkehrsfrageModellen. Die Verbesserungen zielen auf einen hohen Erklärungsgehalt der Zielwahlmodelle mit Blick auf die Einzelentscheidungen und auf realistische Verteilungen von räumlich stabilen und variablen Verhaltensweisen im Längsschnitt ab. Die Modellierung der Zielwahl umfasst aufbauend auf den vorigen Erkenntnissen eine Integration von Ortsbeziehungen in die Zielwahlmodelle. Sie macht sich das im Längsschnitt beobachtete Verhalten zu Nutze, übersetzt wiederkehrende Verhaltensmuster in Präferenzwerte und charakterisiert damit Beziehungen von Modellagenten zu bestimmten Orten. Die Ortsbeziehungen werden in einer Synthese für jeden Modellagenten bestimmt und entsprechend den persönlichen Charakteristiken und lokalen Gegebenheiten angeordnet. Die Präferenzen der Ortsbeziehungen werden im Zielwahlmodell der VerkehrsfrageSimulation berücksichtigt. Damit sollen die Wirkungszusammenhänge des Zielwahlverhaltens in das VerkehrsfrageModell integriert werden. Aufgrund der schon beobachteten

Unterschiede zwischen und insbesondere innerhalb von typischen Aktivitätstypen werden Freizeitaktivitäten in mehrere Freizeitkategorien eingeteilt und die Analysen und Modelle entsprechend differenziert. Durch die Anwendung dieser Verhaltensmodelle in agentenbasierten Verkehrsnachfragesimulationen werden die erzeugten Zielwahlmuster auf ihre Stabilität untersucht und mit der Erhebung validiert. Darüber hinaus wird die Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens bei verkehrlichen Maßnahmen mit einer Prognose analysiert. Dies dient einer Einordnung des entwickelten Modellansatzes in den Status quo der Verkehrsmodellierung und der Abschätzung der Anwendbarkeit in der Planungspraxis.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich gemäß der folgenden Beschreibung: Kapitel 2 legt die Grundlage für das Verständnis von Zielwahlvariabilität, indem es empirische Erkenntnisse zu räumlich-zeitlicher Variation von Aktivitäten mit einem Fokus auf Freizeitaktivitäten zusammenträgt, einen Einblick in ausgewählte Beschreibungs- und Erklärungsansätze der Zielwahl gibt und zuletzt Indikatoren beschreibt, die zur Analyse der Zielwahlstabilität genutzt werden können. Kapitel 3 gibt als zweites Grundlagenkapitel einen methodischen Überblick über Verkehrsnachfragemodelle und diskrete Entscheidungsmodelle. Kapitel 4 bringt als drittes Grundlagenkapitel die Themen der Zielwahl und der Verkehrsnachfragemodelle zusammen und beschreibt verschiedene Modellansätze und -komponenten, mit denen die Eigenheiten einer Zielwahl bestmöglich erfasst werden können. Kapitel 5 befasst sich als erstes Methodenkapitel mit den Datengrundlagen für die Analyse und Modellierung des Zielwahlverhaltens. Es beschreibt zum einen Längsschnitterhebungen des Verkehrsverhaltens, die für Erfassung Stabilitätsmustern des Verhaltens geeignet sind. Es beschreibt zum anderen Ortserhebungen, die sich mit den Charakteristiken von Orten und Mensch-Ort-Interaktionen auseinandersetzen. In diesem Rahmen wird ein eigenes Erhebungskonzept entwickelt. Kapitel 6 analysiert Freizeitaktivitäten hinsichtlich der räumlich-zeitlichen Eigenschaften ihrer

Aktivitätenorte, des sozialen Kontexts von Orten und der Stabilität des Zielwahlverhaltens. Kapitel 7 setzt mit dem Wissen über die Charakteristiken des Zielwahlverhaltens ein mehrstufiges Modellkonzept der Zielwahl um. Es beinhaltet mit der Synthese von Ortsbeziehungen eine langfristige und mit der eigentlichen Zielwahl in der Simulation eine kurzfristige Komponente, die miteinander verknüpft sind. Kapitel 8wendet das Modellkonzept in einem Verkehrs nachfragemodell an und analysiert die simulierte Zielwahlstabilität und untersucht die Wirkung des Modellkonzepts auf die Veränderlichkeit des Verhaltens. Kapitel 9 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung der Erkenntnisse und einem Ausblick auf weitere Forschungsfragestellungen ab.

2 Analyse der Variation von Zielwahlentscheidungen

Das folgende Kapitel dient der literaturbasierten Analyse von Zielwahlentscheidungen mit einem Fokus auf Stabilitäts- und Variabilitätsaspekte. Ein Fokus wird dabei auf den Freizeitverkehr gelegt und wo nötig bzw. möglich mit anderen Aktivitätenzwecken abgeglichen. Dazu werden im ersten Teilkapitel 2.1 empirische Erkenntnisse literaturbasiert zusammengetragen und hinsichtlich unterschiedlicher Freizeitzwecke, räumlicher, zeitlicher und interpersoneller Variation differenziert. Es schließen sich im zweiten Teilkapitel 2.2 Erklärungs- und Beschreibungsansätze an, die Verkehrswissenschaft, Psychologie, Sozialwissenschaft und Geografie für die beobachteten Verhaltensweisen bereithalten. Im letzten Teilkapitel 2.3 werden empirische Indikatoren zusammengestellt, die Stabilität und Variabilität des räumlich-zeitlichen Verhaltens erfassen können und teils auch für die empirischen Erkenntnisse verwendet wurden. Diese dienen später der Analyse und Validierung des modellierten Zielwahlverhaltens.

2.1 Gesamtverkehrliche Erkenntnisse

Die Analyse des Zielwahlverhaltens beinhaltet im Kern die Betrachtung von Aktivitätenorten. Diese ergeben sich aus Ortsveränderungen, deren Hauptgrund Bedürfnisse sind, die nicht am aktuellen bzw. am Referenzort befriedigt werden können (Pas, 1987). Dahinter stehen kulturelle, soziale und physiologische Bedürfnisse, die zur Ausführung von Aktivitäten an unterschiedlichen Orten und zu unterschiedlichen Zeitpunkten führen (Schönfelder & Axhausen, 2016). Erst der Fokus auf die Aktivitäten im Gegensatz zu den Wegen ermöglicht ein Verständnis der Bedürfnisse. Downs & Stea (1977) definieren diese

Situationen als räumliche Probleme, die durch die Fragen nach dem Was, Wo und Wann gekennzeichnet sind. Diese Entscheidungsdimensionen charakterisieren im Wesentlichen das räumlich-zeitliche Verhalten von Personen.

In der Literatur werden unterschiedliche Begriffe für die Beschreibung von Verhaltensvariation verwendet. Für diese Arbeit definieren die Begriffe Stabilität und Variabilität zwei gegenläufige Größen zur Beschreibung von Ereignissen einer Entität. Variabilität beschreibt das Variabelsein der Ereignisse und eine hohe Variation hinsichtlich einer oder mehrerer Eigenschaften. Stabilität als das Antonym beschreibt das Beständigsein und Konstantsein und eine geringe Variation der Ereignisse hinsichtlich einer oder mehrerer Eigenschaften. Mit Bezug auf Zielwahlentscheidungen bedeutet Variabilität eine Vielzahl unterschiedlicher Entscheidungen in unterschiedlichen Wiederholungsmustern und damit das Aufsuchen verschiedener Orte in unterschiedlichen Reihenfolgen, zu unterschiedlichen Zeitpunkten und in unterschiedlichen Abständen. Stabilität hingegen beschreibt gleiche oder ähnliche Entscheidungen hinsichtlich ihrer Orte, Zeitpunkte, Abstände und Reihenfolgen. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die in dieser Arbeit verwendeten Perspektiven: räumliche Stabilität als Konzentration von Aktivitäten einer Kategorie auf eine oder wenige Orte; räumliche Variabilität als gleichmäßige Verteilung von Aktivitäten auf mehrere Orte; räumlich-zeitliche Stabilität als Konzentration von Aktivitäten auf Orte und einzelne Zeiträume.

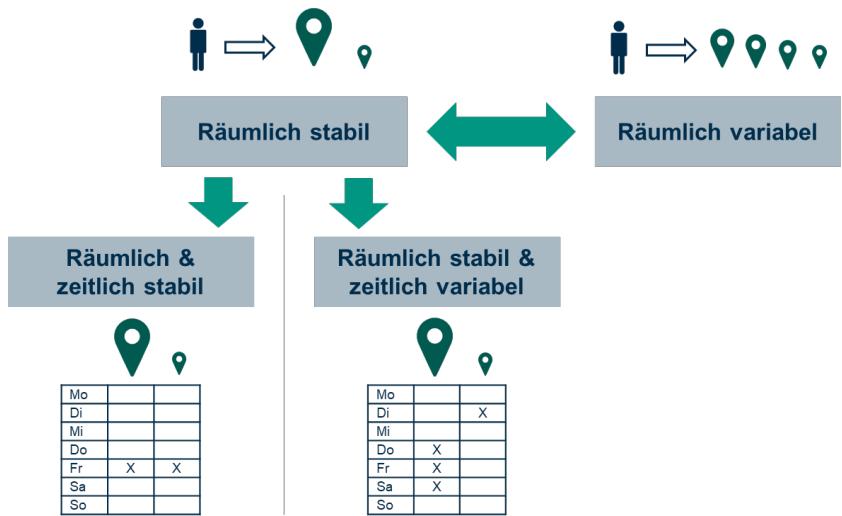


Abbildung 1: Räumlich-zeitliche Stabilität und Variabilität

Die Verhaltensvariabilität wird in zwei Dimensionen betrachtet. Unterschiede zwischen Individuen werden als interpersonelle Variabilität bezeichnet, Unterschiede im Verhalten einer Person werden als intrapersonelle Variabilität bezeichnet (Pas, 1987; Schönfelder & Axhausen, 2016). Die Betrachtung in Abbildung 1 geschieht auf intrapersoneller Ebene. Von entsprechender Bedeutung ist in beiden Fällen der betrachtete Zeitraum. Beide Formen der Variabilität teilen sich in eine systematische, d. h. erklärbare, und eine zufällige Komponente auf. Erstere umfasst Unterschiede, die mit Eigenschaften der Person oder den Rahmenbedingungen wie z. B. Wochentagen in Zusammenhang stehen und daher beobachtbar sind. Letztere kann lediglich über eine Verteilung erfasst, aber nicht erklärt werden. Hanson und Huff (1981) erweitern die Perspektive auf Variabilität, indem sie von einer systematischen, zyklischen und zeitlichen Variation des Verkehrsverhaltens ausgehen. Dabei unterscheiden auch sie zwischen systematischen und zufälligen Komponenten.

Erst die Verfügbarkeit von Verkehrsverhaltensdaten im Längsschnitt ermöglicht es, die Variabilität des Verkehrsverhaltens in ihren verschiedenen Facetten herauszuarbeiten. Das Verkehrsverhalten variiert überwiegend aufgrund von intrapersonellen Unterschieden (Hanson & Huff, 1986; T. Kuhnimhof, 2007; Pas, 1987; Raux et al., 2016). Dabei variieren die Werte in der Literatur von etwa 65 % intrapersoneller im Vergleich zu 35 % interpersoneller Varianz (T. Kuhnimhof, 2007) bis hin zu einer fast ausgeglichenen Verteilung (Pas, 1987). Eine mathematische Formulierung der Varianz findet sich in Kapitel 2.3.1. Diese Beobachtung legt nahe, das individuelle Verhalten von Personen im Längsschnitt zu betrachten, um die intrapersonellen Unterschiede herausarbeiten zu können. Auf inhaltlicher Ebene zeigen sich viele Rhythmen der Alltagsgestaltung erst bei längerer Betrachtung. Im Folgenden wird literaturbasiert auf Erkenntnisse zu vier Arten der Variation eingegangen:

1. Was? – Variation von Freizeitaktivitäten
2. Wo? – Räumliche Variation von Aktivitätenorten
3. Wann? – Zeitliche Variation von Aktivitätenorten
4. Wer? – Interpersonelle Variation des räumlich-zeitlichen Verhaltens

2.1.1 Variation von Freizeitaktivitäten

Freizeitaktivitäten stehen im Fokus dieser Forschungsarbeit. Auf den Aktivitätentyp Freizeit fallen laut der Erhebung *Mobilität in Deutschland 2017* 28 % der Wege und 34 % der Verkehrsleistung. Dies entspricht in etwa den Werten des arbeits- und dienstbezogenen Verkehrs (Nobis & Kuhnimhof, 2018). Der Anteil der Zeit, der für Freizeitaktivitäten aufgewendet wird, wuchs bis um die Jahrtausendwende deutlich an (Robinson & Godbey, 2005). Der Aktivitätentyp Freizeit wird im Gegensatz zu Arbeit, Ausbildung oder Einkaufen als variationsreich beschrieben (Buliumg et al., 2008; Susilo & Axhausen, 2014). Das hängt unter anderem mit der Vielzahl an Möglichkeiten zusammen, wie und wo sich Freizeit gestalten lässt. Darunter fallen beispielsweise kulturelle Aktivitäten wie Theater- und Restaurantbesuche, sportliche Aktivitäten wie Vereins- und Individualsport, andere Vereinsaktivitäten und Besuche von

Freunden und Verwandten. Unabhängig der Freizeitkategorie haben etwa 50 % der Freizeitaktivitäten eine soziale Interaktion zum Ziel (Schlich, Schönfelder, et al., 2004).

Die Unterschiede von Freizeitaktivitäten zeigen sich etwa bei einer Analyse verkehrlicher Kenngrößen verschiedener Verkehrserhebungen. Es empfiehlt sich, wo möglich, eine differenzierte Betrachtung von unterschiedlichen Freizeitkategorien. Im Folgenden werden unterschiedliche Freizeitkategorien im Einzelnen detaillierter charakterisiert.

Vereins-, Gruppen- und Glaubensaktivitäten

Zu Vereins-, Gruppen- und Glaubensaktivitäten werden ehrenamtliche Aktivitäten, Hobbies, die innerhalb von Gruppen durchgeführt werden (z. B. eine Band-Probe) sowie die Teilnahme an Angeboten und Veranstaltungen von Vereinen, Kirchen oder Organisationen (z. B. Chorprobe, Gottesdienst oder Kurse) gezählt. Die Abgrenzung dieses Freizeitzwecks variiert von Studie zu Studie, was vergleichbare Angaben erschwert. Die Anzahl an Aktivitätenarten dieses Freizeitzwecks ist unter allen hier betrachteten Zwecken am niedrigsten. Durchschnittlich suchten Befragte 0,5 soziale und religiöse Orten auf, die sie in einer Befragung retrospektiv berichteten (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b). Der Anteil an Vereins- und Gruppenaktivitäten wird auf knapp 10 % aller Freizeitaktivitäten beziffert (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Die Erhebung *Mobilität in Deutschland 2017* weist für Baden-Württemberg folgende Anteile an allen Freizeitaktivitäten aus (Follmer, 2018):

Tabelle 1: Anteile von Vereins-, Gruppen- und Glaubensaktivitäten an allen Freizeitaktivitäten

Kategorie	Anteil
Hobby (z. B. Musizieren)	4 %
Kirche, Friedhof	3 %
Ehrenamt, Verein, politische Aktivitäten	2 %
Weiterbildung (z. B. Sprachkurs, Volkshochschule etc.)	1 %

Vereins-, Gruppen- und Glaubensaktivitäten weisen je nach Erhebung mit Mittel eine Dauer von 2-2,5 h auf und finden im Mittel in 7 km Entfernung statt (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Auf ehrenamtliche Aktivitäten wird im Folgenden genauer eingegangen. Erkenntnisse aus dem Ehrenamtsatlas Nordrhein-Westfalen beziffern den Anteil der dort ehrenamtlich tätigen Personen auf 54 % (forsa, 2024). Dabei erhöhen ein höherer Bildungsgrad und das Wohnen in kleineren Gemeinden die Wahrscheinlichkeit, ehrenamtlich tätig zu sein. Die häufigsten Bereiche des Engagements sind Sport/Bewegung (26 %), Religion/Kirche (21 %) gefolgt von Nachbarschaft (18 %), Kunst/Kultur (16 %), Jugendarbeit (15 %), Schule/Kindergarten (12 %), (Kommunal-)Politik (11 %) und Umweltschutz (10 %). Dabei wird deutlich, dass sich ein Teil der Personen in mehreren Bereichen ehrenamtlich betätigt. Im Mittel werden für die Tätigkeiten vier Stunden pro Wochen aufgewandt, wobei Nichtberufstätige, ältere Menschen und Frauen im Mittel länger tätig sind. Eine über mehrere deutsche Landkreise verteilte Befragung von Erwachsenen unter 25 Jahren zeigt zusätzlich auf, dass es sich in etwa zwei Dritteln der Fälle um kontinuierliches Engagement handelt, das ein bis mehrmals die Woche stattfindet (Neu et al., 2024). Das Engagement findet mehrheitlich innerhalb von Vereinen statt (52 %). Dieser Anteil ist aber seit 20 Jahren rückläufig, wobei insbesondere individuell organisierte Gruppen (z. B. Projektgruppen oder Initiativen) dabei an Anteil gewinnen (17 %) (Karnick et al., 2022).

Kulturelle Aktivitäten

Kulturelle Aktivitäten reichen von Restaurants, Cafés und anderen Gaststätten über den Besuch von kulturellen Einrichtungen wie Kino, Museum und Theater bis hin zur Teilnahme an Großveranstaltungen wie Sportevents und Konzerten (Nobis & Kuhnimhof, 2018). Die Anzahl der Aktivitätenorte ist in dieser Kategorie mit im Mittel etwa 3,5 Orten am Höchsten unter allen Freizeitkategorien (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b). Der größte Anteil entfällt dabei auf Restaurants und Cafés. Der Anteil der kulturellen Aktivitäten an allen Freizeitaktivitäten liegt damit zwischen 15 und 20 % (Schlich, Schönfelder,

et al., 2004). Die Erhebung *Mobilität in Deutschland 2017* weist für Baden-Württemberg folgende Anteile an allen Freizeitaktivitäten aus (Follmer, 2018):

Tabelle 2: Anteile von kulturellen Aktivitäten an allen Freizeitaktivitäten

Kategorie	Anteil
Restaurant, Gaststätte, Kneipe, Disco	10 %
Besuch einer Veranstaltung (z. B. Fußballspiel, Markt, Konzert)	5 %
Besuch kultureller Einrichtung (z. B. Kino, Theater, Museum)	3 %

Kulturelle Aktivitäten weisen im Mittel eine Dauer von 2 h auf und finden je nach Erhebung im Mittel in 6-7 km Entfernung statt (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Sport- und Erholungsaktivitäten

Die Anzahl der Aktivitätenorte liegt im Mittel bei knapp über zwei Orten und liegt damit im Mittelfeld (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b). Der größte Anteil entfällt dabei auf Orte der Erholung wie Parks oder Wälder. Sport- und Naherholungsaktivitäten nehmen ca. 25 % der Freizeitaktivitäten ein (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Im Laufe der Jahrzehnte vor der Jahrtausendwende wuchs der Anteil der sportlichen Aktivitäten immer weiter an (Robinson & Godbey, 2005). Die Erhebung *Mobilität in Deutschland 2017* weist für Baden-Württemberg folgende Anteile an allen Freizeitaktivitäten aus (Follmer, 2018):

Tabelle 3: Anteile von Sport- und Erholungsaktivitäten an allen Freizeitaktivitäten

Kategorie	Anteil
Sport (selbst aktiv), Sportverein (z. B. Fußball, Tennis)	13 %
Spaziergang, Spazierfahrt	13 %
Hund ausführen	6 %
Spielplatz, Spielen auf der Straße etc.	3 %
Schrebergarten, Wochenendhaus	1 %
Joggen, Inlineskating etc.	1 %

Sport- und Erholungsaktivitäten weisen je nach Erhebung mit Mittel eine Dauer von 2,5-3 h auf und finden im Mittel in 6-7 km Entfernung statt (Schönfelder & Axhausen, 2016). Die berichteten Spaziergänge weichen in ihrer Dauer dabei mit im Mittel 6-8 h deutlich ab und werden deutlich häufiger von Besitzenden von Hunden durchgeführt (Schönfelder & Axhausen, 2016). Aufgrund der langen Dauer ist davon auszugehen, dass ein größerer Anteil an Tagesausflügen, Wanderungen und ähnliches in dieser Kategorie vorhanden ist.

Privater Besuch

Der Anteil von Aktivitäten zum Besuch von Familie, Freunden oder anderen Bekannten beträgt je nach Studie 19 % bis 35 % aller Freizeitaktivitäten (Follmer, 2018; Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Damit sind sie die Freizeitkategorie mit der größten Anzahl Aktivitäten und aufgrund der langen Entfernungen mit der größten Verkehrsleistung. Private Besuche weisen je nach Erhebung im Mittel eine Dauer von 3,5-4,5 h auf und finden im Mittel in 16 km Entfernung statt (Schönfelder & Axhausen, 2016). Die durchschnittliche Anzahl der sozialen Kontakte pro Person wird je nach Studie zwischen 8 und 22 Kontakten angegeben (Frei & Ohnmacht, 2016). Jüngere Altersgruppen, Berufstätigkeit, ÖPNV-Zeitkartenbesitz, häufige Umzüge, hoher Bildungsgrad oder Studierendenstatus gehen mit einer größeren Anzahl an sozialen Kontakten einher (Frei & Ohnmacht, 2016), was auch mit häufigeren Aktivitäten und einer größeren Zahl an besuchten Freizeitaktivitätenorten einhergeht (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024a).

Es bestehen weitere Erkenntnisse zur Art der Kontakte. Allerdings wurde die entsprechende Studie in einem anderen kulturellen Kontext (Japan) durchgeführt. Die Studie beziffert den Anteil an Kontakten zu Familie auf im Mittel 25 %, arbeits- oder ausbildungsbezogene Kontakte auf 22 % und andere Freunde auf 41 %. Der Großteil der Kontakte besteht innerhalb derselben Alterskohorte und zum selben Geschlecht. Obwohl viele Kontakte zu Personen ähnlichen Alters oder Geschlechts bestehen, konnte kein Einfluss auf eine höhere Kontakthäufigkeit in Präsenz beobachtet werden, was in der Studie auf

häufige Kontakte zu Familienmitgliedern oder Arbeitskolleginnen und -kollegen zurückgeführt wird. (G. T. Parady et al., 2019)

Die Häufigkeit von Präsenzinteraktionen mit persönlichen Kontakten steht im Zusammenhang mit der Distanz. Desto weiter Freunde, Familienmitglieder oder Bekannte entfernt wohnen, desto seltener finden persönliche Treffen statt (Frei & Ohnmacht, 2016; Larsen et al., 2006). Etwa zwei Drittel aller privaten Kontakte wohnen im Umkreis von 25 km (Frei & Ohnmacht, 2016). Gleichzeitig nimmt der persönliche Austausch über Informations- und Kommunikationstechnologie bei steigender Distanz weniger stark ab, sodass dieser anteilig bei weiteren Distanzen dominiert (G. T. Parady et al., 2019). Beide Formen der Interaktion werden aber als komplementär angesehen (Carrasco & Miller, 2006). Teilweise wird davon ausgegangen, dass virtueller Austausch an einem bestimmten Punkt den Wunsch weckt, sich in Präsenz zu sehen. So zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von privaten Besuchen oder Personeninteraktionen in Präsenz und der Häufigkeit von Interaktion über Informations- und Kommunikationstechnologien. Höhere Einkommen, Pkw-Verfügbarkeit und Führerscheinbesitz, das Wohnen in einem Einpersonenhaushalt oder eine Vereinsmitgliedschaft machen dabei eine häufige Präsenzinteraktion wahrscheinlicher (Frei & Ohnmacht, 2016; Sharneen et al., 2014). Ebenfalls werden auch in beiden Fällen generell mehr Freizeitaktivitäten mit sozialen Interaktionen (z. B. Restaurantbesuch, freizeitbezogene Einkäufe) durchgeführt. Personen eines Haushaltes mit Kindern wiesen geringere Häufigkeiten von Freizeitaktivitäten auf, dafür aber höhere Präsenz- und IKT-Interaktionen mit anderen Personen (Frei & Ohnmacht, 2016; G. T. Parady et al., 2019; Schlich, Schönfelder, et al., 2004).

2.1.2 Räumliche Variation

Die räumliche Variation betrachtet sowohl die Anzahl der aufgesuchten Orte einer Person, die Verteilung der Aktivitäten über diese Orte als auch deren Entfernung zum Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsort. Häufig wird zudem die geografische Ausdehnung der Aktivitätenorte analysiert.

Es gibt bis dato eine Reihe von Studien, die aufzeigen, dass der Alltag von Menschen sowohl von wiederkehrenden Aktivitäten und Zielen als auch von Abschnitten mit größerer Variation geprägt ist (Axhausen et al., 2002; Hanson & Huff, 1981; Schlich & Axhausen, 2003). Mit Hilfe von mehrwöchigen Erhebungen ist es möglich, periodisch wiederkehrende Aktivitäten und Orte zu bestimmten Zeitpunkten zu beobachten. Längsschnittstudien ermöglichen so einen Blick auf wöchentliche oder auch tageszeitliche Rhythmen, die in den verbreiteten Querschnittserhebungen nicht sichtbar wären. Marble und Bowley (1968a) untersuchten auf Basis von verkehrlichen Längsschnitterhebungen die Zielwahl von Befragten. Ihre Analysen basierten auf der 30-tägigen Erhebung aus Cedar Rapids, USA, und zeigten, dass etwa drei Viertel aller Wege zu wiederholt auftretenden Orten durchgeführt werden. Darunter waren u. a. 25-50 % Einkaufswege.

Sogenannte Kernorte (engl. *Core stops*) definieren ebenfalls wiederholt auftretende Aktivitätenorte, die je nach spezifischer Definition entweder an repräsentativen Tagen oder zu bestimmten Zwecken mit einer gewissen Häufigkeit auftreten und damit den Kern des räumlich-zeitlichen Verhaltens bilden (Hanson, 1980; Hanson & Huff, 1988; J. Huff & Hanson, 1990). In ihren Analysen hatten 67 % bzw. 75 % der Individuen mindestens einen Kernort für Freizeitaktivitäten bzw. Einkaufsaktivitäten, was einem hohen Anteil wiederholt aufgesuchter Orte entspricht (J. Huff & Hanson, 1990). Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn die Verteilung über mögliche Kombinationen von Zweck und Ort betrachtet werden. Mehrere Studien beobachteten lediglich einen kleinen Anteil an auftretenden Kombinationen in einer sechswöchigen Erhebung, was das Vorhandensein von typischen Orten für bestimmte Aktivitätentypen unterstützt (Hanson & Huff, 1981; Schlich & Axhausen, 2003). Die Definition des Variationsmaßes und dessen Analysedimensionen hat dabei einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Zielwahlstabilität (J. Huff & Hanson, 1990).

Auf Basis unterschiedlicher Verkehrserhebungen aus unterschiedlichen geografischen Kontexten beziffern Schönenfelder & Axhausen (2016), dass im

Mittel ca. 80 % aller Aktivitäten an den zehn häufigsten Aktivitätsorten durchgeführt werden. Damit konzentriert sich auch hier ein Großteil der Außer-Haus-Aktivitäten auf nur wenige unterschiedliche Orte. Bei einer reinen Betrachtung von Freizeitaktivitätsorten stellen die Autoren fest, dass sich 80 % der Aktivitäten auf nur acht Orte konzentrieren (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Dennoch werden selbst nach mehreren Wochen Beobachtung immer noch neue Orte besucht, was aus Sicht der Autoren für ein beständiges Bedürfnis nach Abwechslung spricht (Schönfelder & Axhausen, 2003). Aus einer Befragung im Thurgau in der Schweiz ging hervor, dass selbst nach mehreren Wochen noch 0,3 nie zuvor aufgesuchte Orte pro Tag beobachtet wurden, darunter ein überwiegender Anteil an Freizeitorten (53 %) (Schönfelder & Axhausen, 2016). Besonders hohe Werte zeigten sich dabei an Samstagen mit durchschnittlich 0,42 neuen Orten pro Tag. Der Anteil der Aktivitäten, die innerhalb einer Woche an mehrfach auftretenden Orten durchgeführt werden, ist über alle Aktivitätentypen mit 72 % hoch, wobei Freizeitaktivitäten auf geringere Werte kommen (Buliung et al., 2008). Soziale Freizeitaktivitäten unterliegen dabei einer geringeren räumlichen Variation als Sport- und Erholungsaktivitäten. Ob eine Aktivität spontan oder in routinierten zeitlichen Abständen ausgeführt wird, scheint nur einen geringen Einfluss auf die räumliche Variation zu haben. Beide Kategorien sind in mittlerem Maße variabel, wobei Aktivitäten mit einem Planungshorizont von Wochen oder Monaten eine hohe räumliche Stabilität und Aktivitäten, die ein bis mehrere Tage im Voraus geplant werden, eine geringe Stabilität aufweisen (Buliung et al., 2008).

Zum Vergleich können Werte des Aktivitätentyps Einkaufen herangezogen werden. Cyganski (2020) untersuchte auf Basis eines Berliner Datensatzes die räumliche Verteilung von aufgesuchten Einkaufsorten. Die Befragten wurden in dieser Studie nach allen Einkaufsorten einer Person ohne Angabe eines Referenzzeitraumes gefragt. Die Autorin stellt fest, dass für Lebensmitteleinkäufe durchschnittlich knapp drei unterschiedliche Geschäfte aufgesucht werden, für Textilien 2,5 und für Unterhaltungselektronik lediglich 1,7 Geschäfte. Die Variation der aufgesuchten Einkaufsgelegenheiten ist bei

Textileinkäufen allerdings größer als bei den beiden anderen Kategorien. Beispielsweise fallen 57 % der Nahrungsmittelleinkäufe auf das am häufigsten aufgesuchte Geschäft dieser Kategorie, wobei dieser Anteil bei Textileinkäufen nur bei 47 % liegt. Damit einher geht auch ein häufigeres Aufsuchen der Einkaufsgelegenheiten: 30 % der Nahrungsmittelgeschäfte werden von Personen mehrmals die Woche aufgesucht, wohingegen dieser Anteil für beiden anderen Kategorien deutlich geringer ist.

Es fällt deutlich auf, dass sich die am häufigsten aufgesuchten Aktivitätenorte meist in der Nähe des Wohnortes befinden und die selteneren Orte am Rande des Aktionsraumes zu finden sind. Als Aktionsraum wird der kleinstmögliche Raum definiert, der alle Aktivitätsorte einer Person beinhaltet (vgl. Kapitel 2.2.3). Dennoch wird für die entfernter gelegenen Orte in Summe eine höhere Verkehrsleistung erbracht. Insbesondere für Freizeitaktivitäten konnte ein großer Aktionsraum beobachtet werden, der hinsichtlich der Fläche dem arbeitsbezogenen gleicht (Schönfelder & Axhausen, 2016). Es konnte beobachtet werden, dass mit zunehmender Anzahl an Wegen und zunehmender Anzahl an Aktivitätsorten der realisierte Aktionsraum wächst (Schönfelder & Axhausen, 2003).

2.1.3 Zeitliche Variation

Bei der Betrachtung der zeitlichen Variation sind insbesondere die Verteilung der Aktivitäten über den Tag und die Woche und ortsspezifische Muster des Aufsuchens von Interesse.

Freizeitaktivitäten finden im Allgemeinen vermehrt am Wochenende und an den Nachmittagen und Abenden von Werktagen statt (Nobis & Kuhnimhof, 2018). Empirische Studien legen zudem nahe, dass unabhängig des Aktivitätstyps variableres Verhalten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an Wochenenden auftritt (Buliung et al., 2008; Schlich, 2001; Susilo & Kitamura, 2005). Dabei unterscheidet sich auch der Freitag leicht von anderen Werktagen (Schlich & Axhausen, 2003; Susilo & Kitamura, 2005). Der Effekt, dass in

der Längsschnittbetrachtung der Erhebungen neue Aktivitätenorte hinzukommen, kann etwa bei Freizeitwegen vor allem am Wochenende beobachtet werden, was wiederum die höhere Variabilität unterstützt (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Gleichzeitig ist aber auch die Menge an wiederholt auftretenden Kernorten von Freizeitaktivitäten am Wochenende deutlich höher, was für eine gewissen Anteil an Routinen spricht (J. Huff & Hanson, 1990). Eine urbane Stichprobe aus Deutschland unterstreicht, dass an Freitagen und am Wochenende eine weitere räumliche Ausdehnung von Aktivitäten als an anderen Tagen besteht (Schönfelder & Axhausen, 2001). Im Gegensatz dazu wurden in Kanada umgekehrte Effekte festgestellt: Hier wurde eine größere räumliche Ausdehnung an Werktagen beobachtet (Bulung et al., 2008). Letzteres wurde aber mit dem hohen Anteil an Arbeitswegen in Verbindung gebracht. All diese Aspekte sprechen für eine besondere Berücksichtigung der Woche bei der Betrachtung des Verkehrsverhaltens.

Die Regelmäßigkeit von Aktivitäten kann über die Betrachtung von Intervallen zwischen den Aktivitäten analysiert werden. Mit der Analyse können u. a. mehrheitlich täglich auftretende (z. B. Spaziergänge) und regelmäßig wöchentlich stattfindende Aktivitätenmuster (z. B. Vereinstreffen) differenziert werden. Auffallend ist, dass in allen Freizeitkategorien jeweils zwischen 20 und 40 % der Intervalle kürzer als ein Tag sind, was für sehr geringe Abstände zwischen den Aktivitäten spricht. Auffällig sind zudem häufige Sieben- und Vierzehn-Tages-Intervalle bei Vereins-, Gruppen- und Sportaktivitäten. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine Hazard-Modellierung, die die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Aktivitäten im Abstand zur jeweils letzten untersucht. Die Erkenntnisse sprechen für eine zeitliche und örtliche Regelmäßigkeit unter der Annahme, dass Vereins-, Gruppen- und Sportaktivitäten immer am jeweils selben Ort getätigten werden. (Schönfelder & Axhausen, 2016)

Diese ortspezifischen zeitlichen Muster werden auch in anderen Studien deutlich. Es besteht eine substantielle Korrelation zwischen der räumlichen Stabilität von Aktivitäten einer Person und der Stabilität der Tageszeit der

Aktivitäten (Susilo & Axhausen, 2014). So werden wiederholt aufgesuchte Orte häufig auch zu denselben Zeitpunkten aufgesucht. Ein Beispiel findet sich etwa in dem immer zum selben Zeitpunkt aufgesuchten Sportverein, dessen Training in derselben Sporthalle stattfindet.

Eine weitere zeitliche Komponente von Aktivitäten liegt in ihrem Planungshorizont. Studien untersuchten in diesem Zusammenhang, wie lange im Voraus eine Aktivität geplant wurde oder ob die Aktivität in einer definierten Regelmäßigkeit als Routine geplant ist. Eine kanadischen Studie beziffert den Anteil der Aktivitäten, deren Planungshorizont kürzer als einen Tag ist, auf 46 % (Doherty, 2005). Der Anteil eines Planungshorizontes von mindestens einem Tag liegt bei 32 %, der Anteil routiniert geplanter Aktivitäten bei 9 % und zu 12 % der Aktivitäten konnte keine Angabe gemacht werden. Die länger im Voraus geplanten Aktivitäten haben mit Mittel eine längere Aktivitätendauer als die kurzfristig geplanten Aktivitäten. Eine Schweizer Studie fand lediglich, dass 21 % der Aktivitäten innerhalb eines Tages, 19 % der Aktivitäten mehr als ein Tag im Voraus und 60 % routiniert geplant wurden (Axhausen et al., 2007). Aktivitäten an noch nie zuvor besuchten Orten werden überwiegend länger im Voraus geplant. Sobald der Ort allerdings bekannt ist, werden kurzfristige Entscheidungen wahrscheinlicher oder sogar routinierte Verhaltensweisen etabliert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse stark von der Art der Erhebung und der Fähigkeit der Befragten abhängig sind, sich an den Zeitpunkt des Beginns der Planung zu erinnern.

2.1.4 Interpersonelle Variation

Interpersonelle Unterschiede finden sich sowohl auf räumlicher als auch auf zeitlicher Ebene. Die Ergebnisse der interpersonellen Variation sind daher immer im Gesamtzusammenhang mit der räumlich-zeitlichen Variation zu sehen.

Die Zahl der Aktivitätenorte wird über alle Freizeitkategorien hinweg von individuellen Charakteristiken beeinflusst. Frauen, Personen mit einem

höheren Einkommen und Jüngere besuchen im Mittel eine höhere Anzahl an Aktivitätenorten für ihre Freizeitgestaltung (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2023).

Die räumliche Verteilung der Aktivitätenorte ist ebenfalls abhängig von individuellen Charakteristiken. So konnte für Toronto gezeigt werden, dass ÖV-Nutzende sich räumlich stabiler verhalten (Buliumg et al., 2008). Für Karlsruhe, Halle und das Kanton Thurgau wurde festgestellt, dass sich Studierende, Berufstätige, Verheiratete und Personen mit Führerschein räumlich stabiler verhalten, insbesondere aufgrund von verbindlichen Aktivitätenorten wie Arbeit oder Ausbildung (Susilo & Axhausen, 2014). Unter Betrachtung des Wochenverlaufes trifft die Stabilität der räumlichen Verteilung von Berufstätigen und Studierenden vor allem auf Werktagen zu, wohingegen die Wochenenden deutlich räumlich variabler sind (Susilo & Kitamura, 2005). Andere Personengruppen wie Rentnerinnen und Rentner oder Hausmänner und Hausfrauen weisen ähnlich variable Aktionsräume über die gesamte Woche auf (Susilo & Kitamura, 2005). In Toronto fiel zudem auf, dass Frauen über die Tage hinweg einen konstanteren Aktionsraum als Männer haben (Buliumg et al., 2008). Mit Fokus auf Freizeitaktivitäten konnte bei einem Vergleich dieser Erhebungen in der ländlicheren Region eine größere räumliche Variabilität festgestellt werden (Susilo & Axhausen, 2014).

Der Aktionsraum und die Distanz zu Aktivitätenorten vergrößert sich u. a. mit steigendem Pkw-Besitz oder Pkw-Verfügbarkeit (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2023; Schönfelder & Axhausen, 2016). Alter, Raumtyp des Wohnortes sind dabei ebenso wichtige Einflussfaktoren (Schönfelder & Axhausen, 2016). Zudem verringert eine hohe bauliche Dichte im Mittel die Distanz zu den Aktivitätenorten (Duan et al., 2023). Eine weite Pendeldistanz, Teilzeittätigkeit, ein hohes Einkommen und ein Zugang zum Pkw vergrößern im Mittel den realisierten Aktionsraum einer Person (Schönfelder & Axhausen, 2003; Susilo & Kitamura, 2005). Allerdings variieren die Ergebnisse je nach methodischer Konzeptualisierung: Andere Studien kommen beispielsweise zu der

Erkenntnis, dass Vollzeitberufstätige im Vergleich zu Teilzeitberufstätigen im Mittel einen größeren realisierten Aktionsraum besitzen (Dijst, 1999).

Ebenfalls lassen sich Unterschiede in der räumlichen Ausdehnung sozialer Netzwerke zwischen Personengruppen identifizieren. Räumlich ausgedehntere Netzwerke haben etwa jüngere, höher gebildete Personen mit Pkw-Besitz, einer ÖPNV-Zeitkarte und häufigeren Ortswechseln von Arbeits- oder Ausbildungsplatz (Frei & Axhausen, 2007; Frei & Ohnmacht, 2016).

2.1.5 Synthese

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen auf, dass das Zielwahlverhalten in starker Interaktion zu den Aktivitätenmustern, den persönlichen Eigenschaften und damit Möglichkeiten und Bedürfnissen und den räumlich-infrastrukturellen Gegebenheiten steht. Sowohl die inter- als auch die intrapersonelle Betrachtung ist von hoher Relevanz, um die verhaltensspezifischen Details zu erkennen und die Stabilität und ihre Rahmenbedingungen zu verstehen. Stabilität und Variabilität zeigen sich dabei auf vielen Ebenen und die Verwendung von einzelnen Kennwerten reicht nicht aus, um die Variation umfänglich zu erfassen. Eine reine Zählung der besuchten Aktivitätenorte betrachtet etwas anderes als die Bestimmung von Kernorten und Intervalle offenbaren andere Erkenntnisse als die Variabilität der Zeitpunkte von Aktivitäten. In jedem Fall ist eine Erhebungsgrundlage mit Längsschnitt erforderlich, um die beschriebenen Varianten von Variation zu erfassen. Die meisten vorgestellten Ergebnisse basieren auf Mobilitätstagebucherhebungen. Diese stellen umfangreiche Informationen bereit und eignen sich gut für kürzere Erhebungszeiträume von bis zu zwei Wochen. Mit zunehmender Dauer steigt jedoch der Aufwand des Berichtens, weshalb andere Erhebungsmethoden wie ein passives Erfassen der Wege oder ein retrospektives Berichten der besuchten Orte zunehmend Vorteile bringen.

Die individuelle Betrachtungsebene und die räumlich-zeitlichen Charakteristiken im Längsschnitt werden auch für die Modellierung als relevant

angesehen. Neben der interpersonellen Unterscheidung kann zusätzlich ein intrapersoneller Fokus auf die räumliche Persistenz gelegt werden, die in den Analysen auftritt. Eine bessere Berücksichtigung von räumlicher Stabilität in den Verhaltensmodellen wird empfohlen (J. Huff & Hanson, 1990).

2.2 Erklärungs- und Beschreibungsansätze

Zur Erklärung der Variation des räumlich-zeitlichen Verhaltens von Personen existieren verschiedene Beschreibungs- und Erklärungsansätze, die bei der Analyse und Interpretation der Variation behilflich sein können. Diese reichen von der Beschreibung der räumlichen Möglichkeiten und Wahrnehmung bis hin zur Erklärung von menschlichen Interaktionen mit Orten und anderen Personen. Ausgangspunkt vieler Erklärungsansätze ist die Aktionsraumforschung. Dieser Methodenbereich untersucht Bewegungen und Aufenthaltsorte von Personen, welcher in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen Anwendung findet. Zu Beginn wird auf unterschiedliche Ebenen des Aktionsraumes und damit auf die Rahmenbedingungen des räumlich-zeitlichen Verhaltens eingegangen.

2.2.1 Potenzieller Aktionsraum

Personen haben in Raum und Zeit begrenzte Möglichkeiten. Die Zeitgeographie ist ein Denkkonzept, welches diese Möglichkeiten beschreibt (Hägerstrand, 1970). Das Konzept beinhaltet, dass das (räumlich-zeitliche) Verhalten von Personen von internen und externen Restriktionen geprägt ist. Die Restriktionen gliedern sich in drei Bereiche: Fähigkeit (engl. *capability*), Koppelung (engl. *coupling*) und Autorität (engl. *authority*). Ersteres beinhaltet die Möglichkeiten einer Person, die Zeit für Aktivitäten außerhalb der Grundbedürfnisse wie z. B. Schlaf und Mahlzeiten zu nutzen. Weiteres bezieht sich auf Interaktionsnotwendigkeiten mit Orten aufgrund einer Arbeitstätigkeit oder einer sozialen Rolle, die Verbindlichkeiten mit sich bringen und die

Rahmenbedingungen der Mobilität beeinflussen. Letzteres umfasst alle Reglementierungen, die durch die (soziale) Umwelt gegeben sind und sich auf die Möglichkeiten einer Ortsveränderung auswirken. Hierzu zählen die Verfügbarkeit eines Verkehrsangebotes und die Lage und Öffnungsduer von Gelegenheiten. Damit bestimmen diese Restriktionen auch den potenziellen Aktionsraum einer Person. Raum- und Zeitaspekte von Aktivitäten werden hierbei vollständig zusammen gedacht. Der zweidimensionale Raum wird dabei um die Dimension der Zeit erweitert, sodass Handlungsspielräume einer Person, die sich aus den Restriktionen ergeben, im Verlauf der Zeit dargestellt werden können. Räumlich und/oder zeitlich fixe Aktivitäten spielen eine Rolle, aber auch die insgesamt zur Verfügung stehende Zeit und die Fähigkeiten einer Person wie z. B. Reisegeschwindigkeit und Mobilitätswerkzeuge (Schönenfelder & Axhausen, 2016).

Ein ähnliches Konzept stellt der *Socio-ecological approach* von Heidemann (1981) dar, welcher das räumlich-zeitliche Verhalten als Interaktion von Personen mit der Umgebung bzw. von Angebot und Nachfrage sieht. Das Angebot wird von Regimen (z. B. Regeln, Gesetze) und die Nachfrage von Budgets beeinflusst, die beide zeit-, mittel- und informationsbezogene Komponenten haben. Mobilitätsbezogene Entscheidungen sind darauf aufbauend Wechselwirkungen zwischen den Wahlmöglichkeiten und Absichten.

Der Beschreibungsansatz der Möglichkeitsräume arbeitet auf einer langfristigeren Ebene und trägt dem Bedarf der Anpassung der Lebensentwürfe an die physische Realität Rechnung (Canzler & Knie, 1998). Er differenziert eine horizontale physische Dimension mit geographischen Widerständen und eine vertikale Dimension mit geistigen und materiellen Ressourcen zur Erarbeitung und Durchsetzung eigener Lebensentwürfe. Durch hohe Zwänge aufgrund räumlich-infrastrukturellen Situationen und geringer Ressourcen kann erzwungene Mobilität entstehen, die von geringen Wahlmöglichkeiten geprägt ist.

Die bisherigen Konzepte und Modelle sind stark auf die räumlichen und zeitlichen Zwänge fixiert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Personen eine

gewisse Entscheidungsfreiheit bei der Organisation ihrer Aktivitäten sowohl in Bezug auf die Zielwahl als auch auf die zeitliche Dauer besitzen. Dijst & Vidakovic (2000) beschreiben verschiedene Möglichkeiten, Aktivitätenketten flexibel zu gestalten. Dazu gehört beispielsweise die Wahl eines anderen Ortes, einer anderen Aktivität oder eines schnelleren Verkehrsmittels sowie die Verschiebung einer Aktivität auf eine andere Uhrzeit.

2.2.2 Wahrgenommener Aktionsraum

Neben dem durch die Restriktionen eingegrenzten Aktionsraum beeinflusst auch die Wahrnehmung von Personen das räumliche Verhalten. In vielen Forschungsarbeiten wird die Idee behandelt, dass Personen mentale Karten (engl. *Mental maps, Cognitive maps*) ihrer Umgebung aufbauen, in denen sie die für sie wichtigsten Orte festhalten (Downs & Stea, 1977; Gould & White, 1968). Diese mentalen Karten sind die Grundlage für Bewegungen im Raum. In diesem Konzept ist die Raumwahrnehmung ein subjektiver Prozess, der ein großes Maß an Verzerrung, Vereinfachung und gruppenspezifischer Wahrnehmung beinhaltet, jedoch auch mit Erfahrungen stetig aktualisiert wird (Weston & Handy, 2004). Damit ist eine mentale Karte das Ergebnis eines fortlaufenden Erfahrungs- und Lernprozesses innerhalb der räumlichen Umgebung einer Person (Downs & Stea, 1977), bei dem die mentalen Karten regelmäßig mit den Erfahrungen des Alltags aktualisiert werden (Jakle et al., 1976).

Die mentalen Karten und damit die Raumwahrnehmung setzen sich je nach Beschreibung aus Wegen, Grenzen, Bereichen, Fokussen und Landmarken (Lynch, 1964) oder Orten bzw. Objekten, Distanzen und direktionalen Beziehungen (Jakle et al., 1976) zusammen. Sie dienen vorwiegend der Orientierung und beinhalten typische Orte des Alltags und die mit ihnen verbundenen Assoziationen (Downs & Stea, 1977). Damit steht eine begrenzte Anzahl an bekannten und wahrgenommenen Alternativen für eine Aktivität zur Verfügung, die nicht eins-zu-eins mit den potenziellen Möglichkeiten übereinstimmen muss. Diese Perspektive deckt sich mit sozialpsychologischen Studien,

die schon seit langem auf die begrenzten mentalen Kapazitäten von Personen hinweisen (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Die Vielseitigkeit in der empirischen Anwendung, seine fehlende eindeutige Definition und damit seine Unklarheit werden trotz der allgemeinen Verbreitung des Konzeptes als Problem gesehen (Hannes et al., 2012). Darüber hinaus wird als Problem gesehen, dass der wahrgenommene Aktionsraum auf Basis dieser Konzepte auf einer quantitativen Ebene schwer zu erheben ist (Susilo & Kitamura, 2005). Er wurde zwar mit verschiedenen Methoden auf Basis von Erinnerungsprotokollen, skizzierten Karten und Befragungen untersucht (Downs & Stea, 1977; Jakle et al., 1976; Couclelis et al., 1987). Die Ergebnisse sind allerdings immer von den Fähigkeiten der Befragten abhängig, das mentale Konstrukt zu reproduzieren.

2.2.3 Realisierter Aktionsraum

Unter Berücksichtigung der räumlich-zeitlichen Möglichkeiten und der individuellen Wahrnehmung einer Person formt sich das Verhalten einer Person. Der realisierte Aktionsraum oder Aktivitätenraum umfasst die Orte, die eine Person innerhalb einer bestimmten Zeitspanne tatsächlich aufsucht, und den dazwischenliegenden Raum (Rai et al., 2007). Der Raum formt sich nach den Präferenzen einer Person und als Reaktion auf Gegebenheiten wie die Raumstruktur und das Verkehrsangebot. Es entsteht ein zweidimensionaler Raum, der sich aus der Verteilung aller Orte ergibt, mit der eine Person persönliche Erfahrung hat (Schönfelder & Axhausen, 2003). Der realisierte Aktionsraum liegt damit sowohl innerhalb des potenziellen Aktionsraumes, da dieser durch die räumlich-zeitlichen Restriktionen eingegrenzt wird, als auch innerhalb des wahrgenommenen Aktionsraumes, wobei nicht alle möglichen Aktivitätenorte auch tatsächlich aufgesucht werden (Dijst, 1999). Je nach Fragestellungen können neben den persönlichen Erfahrungen auch die anderer Haushaltsmitglieder in die Analyse des Aktionsraumes mit einbezogen werden (Horton & Reynolds, 1970). Das Individuum wird bei der Analyse des Aktionsraumes als

soziales Wesen verstanden, welches in eine soziale Welt eingebettet ist (Scheiner, 1998).

Es werden eine Vielzahl vergleichbarer Begriffe in der Literatur verwendet, zu denen Dijst (1999a) eine Übersicht bietet: Handlungsraum, Aktivitätenraum, *activity space*, *travel field*, *spatial usage fields*, um nur einige zu nennen. Das Konstrukt eines Habitats oder Territoriums als Gebiet mit bestehenden Kontakten einer Person wird häufig als Vergleich herangezogen (Jakle et al., 1976).

Für die räumliche Strukturierung des Aktionsraumes sind das Prinzip des Entfernungsabfalls (engl. *distance decay*) und das der Richtungsvoreingenommenheit (engl. *directional bias*) prägend (Golledge & Stimson, 1997; Jakle et al., 1976). Ersteres beschreibt die sinkende Wahrscheinlichkeit, dass Aktivitäten an Orten stattfinden, die weiter vom Zentrum des Alltages entfernt sind. Letzteres beschreibt, dass manche Orte anderen Orten vorgezogen werden, obgleich sie ähnlich weit entfernt liegen, weil die wahrgenommene Qualität bzw. Attraktivität überwiegt. Unterschiedliche Formen von Aktionsräumen wurden von Dijst (1999) typologisiert. In der Studie ergaben sich u. a. kreisförmige, elliptische und geradlinige Aktivitätenräume. Um den Aktionsraum zu bestimmen, nutzte die Studie neben der Häufigkeit, mit der Personen einer Aktivität nachgehen, auch die Zeit, die für die Aktivität aufgebracht wurde. Reichweite und Form der realisierten Aktionsräume sind entsprechend abhängig von deren methodischer Konzeptualisierung (Rai et al., 2007). Die Analysen des realisierten Aktionsraumes können sich hinsichtlich ihrer Indikatoren und ihrer Berechnungsmethoden unterscheiden, wobei diese den Fragestellungen anzupassen sind (Patterson & Farber, 2015). Eine methodische Übersicht wird in Kapitel 2.3.2 gegeben. Dabei wird auch die Diskussion geführt, inwiefern diese Indikatoren zu interpretieren sind: Ist ein größerer Aktionsraum automatisch ein Zeichen für eine bessere Erreichbarkeit in Form geringerer Reisewiderstände oder nur ein Anzeichen für die (soziale oder persönliche) Notwendigkeit, größere Distanzen zurücklegen zu müssen (Patterson & Farber, 2015; Susilo & Kitamura, 2005).

Die Untersuchung von potenziellen und realisierten Aktionsräumen kann u. a. der Analyse des Verkehrsverhaltens, der Identifikation von Einflussfaktoren des räumlich-zeitlichen Verhaltens, Erreichbarkeitsanalysen und der Identifikation benachteiligter Gruppen dienen (Patterson & Farber, 2015). So unterscheiden die Analysen des realisierten Aktionsraumes z. B. Einkaufszweck in Kombination mit Alter, Berufsstatus, Lage und Erreichbarkeit nahe gelegener Attraktivitäten, um gruppenspezifische Effekte zu beobachten (Cyganski, 2020). Andere Studien zielten auf eine Identifikation der sozialen Exklusion von Personengruppen ab (Schönfelder & Axhausen, 2003).

2.2.4 Entfernung und Raumwiderstand

In den vorangegangenen Teilkapiteln wurde bereits deutlich, dass die Entfernung, deren persönliche (und soziale) Wahrnehmung und die individuellen Möglichkeiten, Entfernungen zu überwinden, eine stark prägende Rolle in der Strukturierung des räumlich-zeitlichen Verhaltens übernehmen. Personen bewegen sich im Raum und überwinden dabei Raumwiderstände. Eine wichtige Fragestellung ist dabei, wie dieser Raumwiderstand gemessen wird. Es kann zwischen absoluten und relativen Maßen differenziert werden: Absolute Maße sind allgemeingültig und in bekannten Einheiten wie Meter messbar, relative Maße hängen von den Fähigkeiten einer Person ab und werden z. B. durch die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln beeinflusst (Downs & Stea, 1977). Die Maße sind durch das Verkehrsangebot geprägt. Dessen raumstruktureller Einfluss wird daher meist als Proxy für die Variation der Entfernung im Raum verwendet. Als Maße existieren in erster Linie die Distanz und die Reisezeit zwischen zwei Orten. Die Messung kann entweder über die Luftlinie oder über ein Netz erfolgen, wodurch sich verkehrsmittelabhängige Umwege ergeben. Darüber hinaus haben die Kosten und Faktoren der Angebotsqualität wie Taktung, Auslastung und Verlässlichkeit einen Einfluss auf den Raumwiderstand. Die Genauigkeit der Maße ist dabei abhängig vom Maße der Disaggregation (Pirie, 1979). Etwa kann die Aggregation von Orten zu

Verkehrszellen zu Verzerrungen in den Maßen des Raumwiderstandes führen.

Entfernung und Reisezeit werden allerdings in hohem Maße subjektiv wahrgenommen. Dies bedeutet zum einen, dass unterschiedliche Personen einen Raum und dortige Entfernungen unterschiedlich wahrnehmen, weil Erfahrung, Vertrautheit und Assoziation mit der Umgebung einen Einfluss auf die subjektive Einschätzung der Entfernung haben (Jakle et al., 1976; Menzl, 2013). Zum anderen werden Raumwiderstände nicht linear wahrgenommen. In den meisten Studien wird der Zusammenhang von wahrgenommener und physischer Distanz als beschränkt beschrieben (Golledge & Stimson, 1997). Mit zunehmender Distanz wird jedem weitere Kilometer eine geringere Bedeutung zugemessen.

Die Entfernung oder der Raumwiderstand werden häufig als maßgeblicher Einflussfaktor auf die Zielwahl von Personen beschrieben. Über die letzten Jahrzehnte wurde jedoch durch ein immer besseres Verkehrsangebot eine immer größere Verkehrsleistung bei in etwa gleichbleibendem Verkehrsaufkommen und gleichbleibender Verkehrs dauer zurückgelegt (Ecke, Vallee, et al., 2023). Aufgrund stärkerer Beziehungen von Personen und Organisationen zu anderen Orten, die soziale, kulturelle und ökonomische Strukturen stark prägen, ist in diesem Netzwerk physische Distanz von geringerer Bedeutung (Dijst, 1999). Es liegt die Interpretation nahe, dass in der heutigen Gesellschaft eine geringere Entfernungssensitivität besteht und anstelle der Distanz die verfügbare Zeit der begrenzende Faktor ist.

2.2.5 Routinen und Habitualisierung

Die bisherigen Beschreibungsansätze haben eine stark räumlich geprägte Perspektive eingenommen – dabei ging es meist um die verschiedenen Alternativen, die den Verkehrsteilnehmenden zur Verfügung stehen. Dem Menschen als mobiles Individuum kommt aber ebenfalls eine große Bedeutung zu, wenn es um Verhaltensstabilität geht. Die bisherigen Beobachtungen von

Verhaltensmustern zeigen, dass diese teils sich wiederholende Episoden auf täglicher, wöchentlicher und jährlicher Ebene beinhalten. In mehreren Studien wird dabei von routinierten oder habitualisierten Verhaltensweisen gesprochen (Ronis et al., 1989; Schönfelder & Axhausen, 2016; Verplanken & Orbell, 2003). Ausgangslage für viele verkehrswissenschaftliche Ausführungen zu habitualisiertem Verhalten oder Gewohnheiten ist das Konzept der eingeschränkten Rationalität (engl. *bounded rationality*) (Simon, 1957; Selten, 1990). Es beschreibt, dass Menschen nur über begrenzte Kapazitäten zur Lösung von komplexen Problemen verfügen und deswegen nicht immer rational agieren, sondern in bestimmten Situationen kognitive Abkürzungen wählen. Damit steht das Konzept der Annahme entgegen, dass Entscheidende ausschließlich rationale Nutzenmaximierer sind. Habitualisiertes Verhalten zeichnet sich durch eine Wiederverwendung von vergangenem Verhalten unter ähnlichen oder gleichen Rahmenbedingungen aus. Im Kontext des Konzeptes der eingeschränkten Rationalität sind Gewohnheiten eine Anpassungsstrategie, um die Kosten der Informationsgewinnung, die eine neue Entscheidung mit sich bringt, zu reduzieren (Schönfelder & Axhausen, 2016). Laut Cullen (1978) sind bewusste Entscheidungen im heutigen Alltag ein unmögliches Luxus. Dennoch lassen sich immer wieder Ausnahmen beobachten, in denen viele Informationen verarbeitet werden und Verhalten trotzdem wiederholt stattfindet (Hanson & Huff, 1988). Einen weiteren Erklärungsansatz bietet die Betrachtung der Sicherheit einer bestehenden bzw. des Risikos einer abweichen- den Entscheidung (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Im allgemeinen Sprachgebrauch liegt eine Routine vor, wenn eine bestimmte Verhaltensweise wiederholt durchgeführt wird und automatisiert stattfindet (Ronis et al., 1989). Aarts and Dijksterhuis (2000) bezeichnen sie als starke Assoziationen zwischen Zielen (z. B. Erreichen eines Supermarktes) und Handlungen (z. B. Nutzung eines Fahrrades). Routinen sind teils durch vereinfachende Entscheidungsstrategien geprägt, die beobachtete Regelmäßigkeiten von wiederholten Entscheidungssituationen ausnutzen (J. Huff & Hanson, 1990). In Bezug auf kurzfristige verkehrsrelevante Entscheidungen wird häufig eine Unterscheidung zwischen bewusster und fehlender Abwägung

getroffen. Aarts and Dijksterhuis (2000) wiesen beispielsweise nach, dass regelmäßiger und routiniertere Entscheidungen in der Verkehrsmittelwahl im Falle von mentaler Anstrengung schwieriger zu unterdrücken sind und damit in entsprechenden Situationen automatisiert abgerufen werden. Im Gegensatz dazu beinhaltet eine bewusste Entscheidung ein explizites Inbetrachtziehen mehrerer Optionen (Ronis et al., 1989).

Sich regelmäßig wiederholendes Verhalten kann dennoch als rational beschrieben werden, wenn die ursprüngliche oder initiale Entscheidung bewusst getroffen wurde. Sofern sich die Umstände der Entscheidung nicht geändert haben, bleibt dieser Zustand bestehen. Erst wenn sich die Umstände unbemerkt ändern und der/die Entscheidende keine Anpassungen vornimmt, kann die Entscheidung als nicht-rational eingestuft werden. (Gärling et al., 2001; Gärling & Axhausen, 2003)

Verschiedene Konstrukte versuchen beschriebene Routinen zu quantifizieren. Ein Ansatz stellt dabei die Betrachtung des historischen Verhaltens und der (möglichen) zurückliegenden Wiederholungen. Eine größere Anzahl von bisherigen Ereignissen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass man mit dem vergangenen Verhalten das weitere erklären kann und damit die Wahrscheinlichkeit eines automatisierten kognitiven Prozesses (Aarts et al., 1998). Eine konkrete Berücksichtigung der automatisierten Entscheidungsdimension geschah in der Studie von Verplanken and Orbell (2003), indem die Determinanten mangelnde Kontrolle, mangelndes Bewusstsein und Effizienz der Entscheidung operationalisiert wurden.

Im Kontext von Gewohnheiten wird die Frage nach der Veränderbarkeit von Verhalten gestellt. Eine Entscheidung ist mitunter nicht durch rationale Argumente wie gestiegene Reisekosten beeinflussbar, wenn sie nicht bewusst getroffen wird (Gärling & Axhausen, 2003). Es zeigen sich allerdings Möglichkeiten für Veränderungen. Es konnte in Studien z. B. eine Veränderung der kognitiven Grundlage für Verkehrsmittelwahlentscheidungen aufgrund der Änderung des eigenen Wohnortes oder einer Intervention wie dem Angebot einer ÖV-Zeitkarte beobachtet werden (Bamberg, 2002; Bamberg et al.,

2003). Der Prozess einer Veränderung einer Gewohnheit aufgrund einer Umfeldveränderung beinhaltet das Erhalten der Information, den Suchprozess der besseren Alternativen und das Experimentieren mit und Adaptieren der Alternativen (Goodwin et al., 1990). Dabei werden die Kosten des Aufbrechens der Routine mit dem Nutzen der Verhaltensanpassung abgewogen. Der gesamte Prozess führt in den meisten Fällen zu verzögerten Reaktionen auf verkehrliche Maßnahmen (Goodwin et al., 1990). Dass die Beeinflussung des Verhaltens mit einer Änderung der verkehrlichen Rahmenbedingungen möglich ist, ist nur ein Teil des Diskurses. Dieser umfasst z. B. auch, dass Veränderlichkeit des Verkehrsverhaltens im Rahmen von biographischen Schlüsseleignissen und sich verändernden sozialen Strukturen besteht.

2.2.6 Ortswahrnehmung und -bindung

Verhaltensstabilität kann sich auch durch eine emotionale oder rationale Assoziation zu konkreten Orten oder den dahinterstehenden Aktivitäten etablieren. In der Psychologie, Soziologie und Geografie gibt es dazu mehrere Beschreibungsansätze. Personen begeben sich bei der Durchführung von Aktivitäten an Orten in Verhaltenssituationen, die mit einem konkreten Ortsbewusstsein in Verbindung stehen (Barker, 1968). Daraus ergibt sich eine synomorphe Beziehung zu Orten, in welcher Handeln und Umgebung aufeinander abgestimmt sind. Mit den Verhaltenssituationen geht eine Bedürfnisbefriedigung einher, die die Bedeutung der Situation definiert.

Das Konzept des Ortssinns (engl. *Sense of place*) beschreibt die affektive Bindung einer Person an die materielle Umwelt (Tuan, 1975). Es geht sowohl auf die persönlichen Erfahrungen mit Orten als auch auf Gestaltung von Orten durch eine Person ein, die den Ortssinn prägen. Psychologische Konzepte wie Identität, Verbundenheit und Abhängigkeit können verwendet werden, um die Einstellungen gegenüber einem räumlichen Setting zu betrachten (Jorgensen & Stedman, 2001).

Gemäß der Ankerpunkttheorie (engl. *Anchor point theory*) gibt es Orte, Knoten oder Bereiche, die auf der Ebene von Personen die Informationen einer Region und das räumliche Wissen in sich verankern (Coulcelis et al., 1987). Damit stellen Ankerpunkte Orte dar, die gemäß dem Konzept der mentalen Karten eine wichtige Funktion für die Raumwahrnehmung haben (vgl. Kapitel 2.2.2). Sie repräsentieren aber auch die wichtigsten Elemente in einer mentalen Karte und werden mit dem Konzept der Familiarität in Verbindung gebracht. Folgende Aspekte können Orte zu einem Ankerpunkt machen:

- Mit dem Objekt verbundene Eigenschaften wie z. B. Wahrnehmungswert oder symbolische Bedeutung
- Relational-räumliche Eigenschaften wie Lage im täglich realisierten Aktionsraum, Häufigkeit der Interaktion etc.
- Relationale, nicht-räumliche Eigenschaften wie die tatsächliche bzw. potenzielle Bedeutung im Leben einer Person

Typische primäre Ankerpunkte sind der Wohn- und Arbeitsort, wobei eine Vielzahl von weiteren Punkten bestehen können.

In Bezug auf den Wohnort beschreibt die Ortsbindung beispielsweise die gefühlte Nähe zu einem Ort in Form von, u. a., Heimatverbundenheit, sozialer Identität und Territorialität (Menzl, 2013). Ortsbindungen bestehen in unterschiedlichen Konstellationen von sozialen Netzwerken und können sich im Verlauf des Vor-Ort-Wohnens verändern. Beispielsweise kann ein soziales Netzwerk trotz Umzuges aufgrund immer noch bestehender Erreichbarkeit fortgeführt werden. Die Dauer des Vor-Ort-Wohnens kann vor Ort bestehende Kontakte und Aktivitäten wahrscheinlicher machen, je nachdem wie sich Alltagsarrangements gestalten (Reuber, 1993).

Eine Ortsbindung zum Arbeitsort wird dagegen vielmehr durch das Arbeitsverhältnis und dessen Verbindlichkeit geprägt. Allerdings zeigen sich hier Entwicklungen. Die Vermischung von Arbeit und Freizeit wird im Rahmen des Arbeitsalltages zunehmend als relevantes Thema betrachtet (Smith et al., 2022). Gleichzeitig beeinflussen zunehmende Möglichkeiten des Homeoffice die

Regelmäßigkeit der Außer-Haus-Arbeitsaktivitäten. Dem Arbeitsort wurde stets mit der Regelmäßigkeit seiner Aktivitäten und der hohen Verbindlichkeit ein bedeutender Einfluss auf das sonstige räumliche Verhalten von Personen zugesprochen (Holzapfel, 1980). Aktuellere Studien nehmen allerdings einen geringer werdenden Einfluss wahr (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Andere Aktivitäten wie zu Freizeit-, Einkaufs- und Erledigungszwecken variieren stärker in der Verbindlichkeit. Ausgehend von Ås (1978) kann die Zeit, die mit Aktivitäten verbracht wird, in vier verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Die Aktivitäten gruppieren sich in notwendige, vertragliche, vereinbarte und freie Zeiten. Während Arbeitsaktivitäten überwiegend dem Bereich der vertraglichen Zeiten und z. B. Einkaufsaktivitäten des täglichen Bedarfs dem Bereich der notwendigen Zeiten zugeordnet werden können, sind Freizeitaktivitäten in dieser Klassifizierung fast ausschließlich in vereinbarter und freier Zeit zu finden. Eine Vereinbarung bedeutet eine örtliche und/oder zeitliche Bindung, die aber angepasst werden kann, worin sie sich zu vertraglich vereinbarter Zeit unterscheidet. Insbesondere freie Zeiten werden dabei als am wenigsten zeit- und ortsgebunden betrachtet (An et al., 2023). Eine weitere Einteilung erfolgte für Aktivitäten unter der Annahmen, dass alle Aktivitäten zu einem bestimmten Maß räumlich und/oder zeitlich festgesetzt sind (I. Cullen & Godson, 1975). Diese teilen sich in vereinbarte, routinierte, geplante und unerwartete Aktivitäten ein, wobei der Verbindlichkeit von Aktivitäten eine besondere Bedeutung zukommt.

Wichtige Aktivitätenorte und damit die sozialen Beziehungen zu Orten werden in der Arbeit von Puhe (2023) als Teil eines sozialen Netzwerkes betrachtet. Damit besteht dieses aus „individuellen, korporativen und kollektiven Akteuren“ (S. 6). Die Beziehungen sind durch ihren räumlich-zeitlichen und emotiv-affektiven Kontext charakterisiert, der die Stabilität und Variabilität des Verhaltens und dessen Freiheitsgrade beeinflusst. Der räumlich-zeitliche Kontext differenziert dabei, ob Interaktionen an unterschiedlichen oder nur an einem Ort durchgeführt werden, und ob sich Interaktionen situativ zeitlich anpassen lassen. Bei freizeitzbezogenen Beziehungen ergab sich, dass diese

überwiegend zeitlich flexibel und spontan anpassbar sind und gleichzeitig in vielen Fällen mit ganz bestimmten Orten verknüpft sind. Im Vergleich zu anderen stellt Freizeit den heterogensten Aktivitätentyp dar. Der emotiv-affektive Kontext betrachtet zum einen formelle und informelle Vereinbarungen, die die Verbindlichkeit einer Beziehung beschreiben, und zum anderen die Motivation hinter der Beziehung, die angibt, ob diese eher selbst- oder fremdbestimmt ist. Bei freizeitzbezogenen Beziehungen fällt auf, dass ein Teil dieser Beziehungen sich sowohl kurzfristig aktivieren lässt – also eher unverbindlich ist – als auch ein beträchtlicher Anteil von Freizeitbeziehungen einer langfristigen Planung bedarf, damit es überhaupt zu Interaktionen kommt. Der Großteil der Freizeitbeziehungen ist selbstbestimmt und aufgrund der hohen intrinsischen Motivation nicht einfach substituierbar. Es zeigt sich, dass der emotiv-affektive Kontext der Beziehung einen deutlichen Einfluss auf den Freiheitsgrad und die Persistenz des Verhaltens hat.

Ein Teil dieser Ortsbeziehungen besteht explizit zu anderen Individuen. Diese werden in dem angrenzenden und dabei viel verbreiteren Forschungsreich der sozialen Netzwerke untersucht.

2.2.7 Soziale Netzwerke

Der Ansatz von sozialen Netzwerken betrachtet Personen als eingebettet in ein Netzwerk von Kontakten zu anderen Personen (Larsen et al., 2006). Dabei besteht die Annahme, dass die sozialen Beziehungen sowohl die Handlungsmöglichkeiten als auch die Wahrnehmung von Personen teilweise vereinfachen, teilweise aber auch erschweren (Tindall & Wellman, 2001). Von Interesse kann dabei die Konfiguration, d. h. die geografische Ausdehnung und die Fokussierung des Netzwerkes, im Zusammenhang mit z. B. der Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen und Kommunikationswerkzeugen wie Briefen oder Onlinediensten sein (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Der Ansatz liefert im Kontext der Analyse und Prognose von Verkehrsnachfrage Antworten auf die Fragen, warum Ortsveränderungen durchgeführt

werden, und sieht darin eine abgeleitete Nachfrage aufgrund des Bedürfnisses, Aktivitäten mit anderen Personen durchzuführen (Carrasco & Miller, 2006). Darin wird eine Verbesserung der modellierten Verhaltensweisen in aktivitätenbasierten Modellen in Bezug auf soziale Aktivitäten gesehen (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024a). Studien beziffern, dass zwischen 10 und 30 % des Verhaltens mit dem sozialen Netzwerk erklärt werden kann (Axhausen, 2008; Cho et al., 2011). Soziale Netzwerke können z. B. mit Namensgeneratoren erhoben werden (G. T. Parady et al., 2019).

2.2.8 Synthese

Die vorigen Kapitel zeigen auf, dass sowohl äußere Rahmenbedingungen wie Entfernung, Raumstruktur, Angebot an Gelegenheiten und Verkehrsinfrastruktur und innere Rahmenbedingungen wie die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln oder die räumliche Lage der primären Aktivitätenorte das räumlich-zeitliche Verhalten stark beeinflussen. Gleichzeitig wird die persönliche und soziale Komponente als starker Einfluss deutlich, die zum einen Subjektivität und Verzerrung in der Wahrnehmung in das System bringt und die zum anderen Interaktion mit dem Raum als sozialen Prozess betrachten lässt. Der Aktivitätentyp Freizeit wird in diesem Zusammenhang stets mit Heterogenität und Flexibilität in Verbindung gebracht.

2.3 Indikatoren für die Analyse des räumlichen Verhaltens

Die quantitative Beschreibung des räumlich-zeitlichen Verhaltens und dessen Stabilität bzw. Variabilität erfordert die Verwendung geeigneter Maße, um Vergleiche zwischen unterschiedlichen Erhebungen, Regionen und Personengruppen durchzuführen. Das folgende Unterkapitel gibt eine Übersicht über in der Literatur verwendete Indikatoren. Es beschreibt zuerst Kennwerte des räumlichen Verhaltens, darauffolgend Methoden zur Analyse des realisierten

Aktionsraumes und zuletzt Stabilitätsindikatoren bei der Auswahl diskreter Alternativen aus verschiedenen Disziplinen, die auf die Zielwahl angewendet werden können.

2.3.1 Allgemeine Kennwerte des räumlichen Verhaltens

Die folgenden Kennwerte beschreiben das räumliche Verhalten von Personen, wobei die Analyse von der Betrachtungsdauer abhängig ist. Beispielsweise können im Mittel meist mehr Orte bei einer längeren Betrachtungsdauer des Verhaltens beobachtet werden. Daher ist insbesondere bei Längsschnittdaten auf eine einheitliche Dauer zu achten, wenn die Werte zwischen Erhebungen verglichen werden sollen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass eine hohe Korrelation zwischen der Anzahl der beobachteten Wegen, der Anzahl an Aktivitätenorten, der Größe des realisierten Aktionsraumes und der Dauer der Beobachtung besteht (Schönfelder & Axhausen, 2016).

Aktivitätenorte und deren Verhältnis zu Aktivitäten

Die Anzahl verschiedener Aktivitätenorte ist ein Kennwert der räumlichen Verteilung des Verhaltens. Über das Verhältnis der Anzahl der Aktivitätenorte und die Gesamtanzahl der Aktivitäten bzw. Wege kann eine Aussage über das Maß an räumlicher Konzentration von Aktivitäten bzw. Wiederholung des Verhaltens gegeben werden. (Schönfelder & Axhausen, 2016)

Spatial/Temporal Repetition Index

Die beiden Indikatoren Spatial Repetition Index (SRI) und Temporal Repetition Index (TRI) weisen den Anteil der Aktivitäten, die an wiederholt aufgesuchten Orten durchgeführt werden, an der gesamten Menge an Aktivitäten in einem Zeitraum t für Person p aus (Buliung et al., 2008; Chowdhury et al., 2020). Der SRI betrachtet die Wiederholung von Aktivitäten zeitunabhängig innerhalb des Zeitraums t . Der TRI berücksichtigt Wiederholungen von Aktivitäten innerhalb definierter Zeitintervalle. Die Indikatoren werden aktivitätstypspezifisch berechnet und sind wie folgt definiert:

$$SRI_{pt} = \frac{RL_{pt}}{TA_{pt}} \quad (1)$$

$$TRI_{pt} = \frac{RT_{pt}}{TA_{pt}} \quad (2)$$

Wobei bedeutet:

RL_{pt} Anzahl Aktivitäten an wiederholt ausgesuchten Orten

RT_{pt} Anzahl Aktivitäten an wiederholt ausgesuchten Orten zu definierten Zeitpunkten

TA_{pt} Anzahl aller Aktivitäten

Hohe Werte der beiden Indikatoren weisen daher auf eine hohe Stabilität der Zielwahl und sich stark wiederholende räumliche bzw. zeitliche Verhaltensmuster hin.

Anteil der Aktivitäten innerhalb eines Umkreises

Schlich et al. (2004) verwenden in ihrer Untersuchung den Anteil der Aktivitäten, die innerhalb von 1.000 m um den Wohnort entfernt durchgeführt wurden. Die Entfernung kann variiert werden. Damit kann ein Maß für die Ausdehnung des Aktionsraumes und die Dispersion, d. h. die räumliche Streuung, von Aktivitäten berechnet werden.

Innovationsraten

Der Kennwert gibt die Anzahl der Aktivitätenorte an, die täglich neu von einer Person aufgesucht werden. Erfahrungen zeigen, dass die Werte bei längerer Betrachtung abnehmen und sich einem konstanten Wert annähern. Diese Werte können über verschiedene Aktivitätentypen hinweg und interpersonell verglichen werden. (Schlich, Schönfelder, et al., 2004; Schönfelder & Axhausen, 2016)

Inter- und intrapersonelle Varianz

Die Gesamtvarianz SSE (engl. *Sum of squares error*) kann als Maß für die Stabilität bzw. Variabilität des Verkehrsverhaltens einer Bevölkerung verwendet werden (T. Kuhnimhof, 2007; Pas, 1987). Dabei kann die inter- und intrapersonelle Varianz differenziert werden.

$$\begin{aligned} SSE_{Total} &= SSE_{intrap} + SSE_{interp} \\ &= \sum_P \sum_T (X_{pt} - \bar{X}_P)^2 + \sum_P (\bar{X}_p - \bar{X})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Wobei bedeutet:

P Person

T Tag

X Kennwert des Verkehrs (z. B. Aufkommen, Leistung, Zeit)

Die Verkehrsleistung kann als Proxy für die räumliche Ausdehnung des Verhaltens gesehen werden. Daher kann die Analyse der intrapersonellen Varianz der Verkehrsleistung Erkenntnisse über die Stabilität des räumlichen Verhaltens einer Person geben. Sie unterscheidet sich allerdings von den später in Kapitel 2.3.3 betrachteten Stabilitätsindikatoren dahingehend, dass sie anstelle der Verteilung über diskrete Alternativen die Variation eines kontinuierlichen Wertes betrachtet.

2.3.2 Aktionsraummodellierung

Der realisierte Aktionsraum von Personen kann auf empirischer Grundlage mit verschiedenen Methoden dargestellt und quantifiziert werden. Dabei unterscheiden sich die Zielkenngrößen zur Beschreibung der Aktionsräume. Die am häufigsten verwendete Kenngröße ist die Fläche des Aktionsraumes (Pat-terson & Farber, 2015). Einige Studien kritisieren die fehlende Berücksichtigung der Form und erweitern die berücksichtigten Kenngrößen um Streuungskennwerte (Harding et al., 2013; Manaugh & El-Geneidy, 2012).

Die folgende Übersicht orientiert sich an der Zusammenstellung von Patterson und Farber (2015).

Konfidenzgeometrien

Konfidenzgeometrien geben analog zu Konfidenzintervallen einen Raum an, in welchem sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Beobachtung befindet. Damit eignen sie sich für die Erfassung des realisierten Aktionsraumes. Die Anwendung kann etwa auf die Aktivitätenorte von Personen und deren Aktivitätenhäufigkeit erfolgen (Raine, 1978). Die Idee, einen realisierten Aktionsraum geometrisch darzustellen, hat ihren Ursprung im Konzept der *Travel probability fields* (Beckmann et al., 1983a, 1983b). Sie wurden entwickelt, um das Zusammenspiel von Verkehrsnachfrage, Netzstruktur und Gelegenheiten zur Durchführung einer Aktivität räumlich abzubilden. Es ergeben sich in der Analyse der aufgesuchten Orte entsprechend geformte Ellipsen auf Basis einer bivariaten Normalverteilung mit einer Standardabweichung (Beckmann et al., 1983a). Die Verteilung der Orte wurde in empirischen Analysen untersucht (Beckmann et al., 1983b). Es zeigten sich Verteilungen, die in Richtung von urbanen Zentren orientiert waren und deren Länge mit steigender Entfernung zum Zentrum anwuchs. Ein deutlicher Einfluss des Verkehrsangebotes auf die Ausrichtung der Ellipsen konnte nachgewiesen werden.

Unter den verwendeten Geometrien finden Konfidenzellipsen am häufigsten Anwendung. Sie bilden eine bivariate Verteilung mit zwei Standardabweichungen ab (Schönenfelder & Axhausen, 2003). Bedingung dafür ist, dass die Verteilung der Koordinaten einer bivariaten Normalverteilung folgt (Frei & Ohnmacht, 2016). Dies ist nach Aussage von Moore (1970) für die Verteilung von Aktivitätenorten gegeben. Es können jedoch auch mehr als zwei Verteilungen zum Einsatz kommen, um die Form des Aktionsraumes besser zu erfassen (Raine, 1978). Andere mögliche Geometrien sind Superellipsen, Cassini-Ovale und Bean-Kurven, die allesamt eine größere Flexibilität bei der Erfassung des Raumes bieten und mehrere Cluster von Orten berücksichtigen können (Rai et al., 2007).

Die Bestimmung der Geometrien kann auch den Wohnort als geographisches Zentrum anstelle des oft verwendeten Schwerpunkts der Aktivitäten annehmen (Schönfelder & Axhausen, 2016). Nachteil ist das Erzwingen einer Symmetrie des Aktionsraums, wenn der Wohnort das Zentrum bildet, was aber die Verteilung der Aktivitätenorte nicht immer widerspiegelt (Rai et al., 2007). Konfidenzellipsen stehen zudem in der Kritik, mit ihrer Form zu rigide Annahmen über die Form eines Aktionsraumes zu treffen (Schönfelder & Axhausen, 2003).

Netzwerkbasierte Methoden

Eine Möglichkeit, den Aktionsraum direkt in der Verbindung mit der Infrastruktur darzustellen, bieten netzwerkbasierte Methoden. Diese bestimmen die für die betrachtete Mobilität in Anspruch genommenen Strecken oder Verbindungen eines Netzes und quantifizierten Kennwerte wie Netzwerk-länge oder eine gepufferte Fläche um dieses Netzwerk (Schönfelder & Axhausen, 2003). Dabei besteht die Möglichkeit, Teilstrecken mit bestimmten Verkehrsmitteln (z. B. U-Bahn) zu exkludieren, da diese keinen Sichtkontakt zu Einrichtungen ermöglichen (Chaix et al., 2012). Die Methoden können die Menge der Gebäude und Einrichtungen ermitteln, mit denen eine Person in ihrem Alltag durch die Benutzung der Verkehrsinfrastruktur in Kontakt gekommen ist.

Kern-Dichte-Methoden

Hierbei handelt es sich um Methoden der Datenglättung, die Punktbeobachtungen wie z. B. Aktivitätenorte in eine kontinuierliche Fläche überführen (Patterson & Farber, 2015). Die Ergebnisse sind abhängig von der angegeben Bandbreite. Die Anwendung erfolgte u. a. bei Schönfelder & Axhausen (2003).

Umhüllungsmethoden

Zur Darstellung eines Raumes, in welchem Beobachtungen auftreten, bieten sich Umhüllungsmethoden (engl. *Hull methods*) an. Diese bilden den

kleinstmöglichen Raum zur Umfassung aller Beobachtungen in einem Polygon ab und stellen ein einfaches Werkzeug für die Analyse von Studien der räumlichen Verbreitung dar (L. Meyer et al., 2017). Bei der Untersuchung von Verbreitungsgebieten von Spezies wurden konvexe und Alpha-Umhüllungsmethoden für geeignet befunden (L. Meyer et al., 2017). Letztere stellt dabei einen konservativeren Ansatz dar. Gramsch-Calvo und Axhausen (2024) verwendeten ein minimal konkav umhüllendes Polygon zur Erfassung des realisierten Aktionsraumes von Befragten. Buliung, Roorda, und Remmel (2008) verwendeten dieselbe Methode für einen Vergleich der Aktionsräume für unterschiedliche Zeiteinheiten und Personengruppen. Im Vergleich zu Konfidenzgeometrien sind alle Ausreißer in dem Polygon enthalten. Dieses passt sich allerdings flexibler an die Verteilung der Beobachtungen an. Eine weitere Kritik ist die Berücksichtigung von Gebieten innerhalb des Polygons, zu denen eine Person keinen Kontakt hatte (Chaix et al., 2012).

Zweite Momente des Aktivitätenschwerpunktes und Wohnortes

Das zweite Moment beinhaltet die mittlere quadratische Abweichung von beobachteten Werten zu einem Erwartungswert. Bei der Anwendung auf die Messung des Aktionsraum nutzen Susilo und Kitamura (2005) die mittlere quadratische Abweichung aller Aktivitätenorte zu deren Schwerpunkt und die Distanz zwischen Aktivitätenschwerpunkt und Wohnort als kombiniertes Maß. Die Stärke dieses Maßes liegt in seiner Einfachheit. Es hat aber Probleme, die Topologie der Orte zu berücksichtigen und die Verteilung der Abweichung über die Menge der Orte zu differenzieren (Susilo & Kitamura, 2005).

2.3.3 Stabilitätsindikatoren

Stabilitätsindikatoren sind im Wesentlichen Konzentrations- oder Dispersionsmaße von Beobachtungen über diskrete Alternativen. Die Indikatoren können in häufigkeitsbasierte und sequenzbasierte Indikatoren eingeteilt werden (Mallig & Vortisch, 2017). Häufigkeitsbasierte Indikatoren

berücksichtigen meist, angewandt auf den Verkehrskontext, die Verteilung von Häufigkeiten von Aktivitäten oder Wegen, wobei auch Distanzen oder Dauern möglich sind (Diana & Pirra, 2016). Sequenzbasierte Indikatoren betrachten die Reihenfolge der Aktivitäten oder Wege und die Wechsel zwischen den Alternativen (Mallig & Vortisch, 2017). Im Kontext der Zielwahl von Freizeitaktivitäten werden keine zusammenhängenden Aktivitätenketten betrachtet, sondern lediglich Freizeitaktivitäten als Auszüge aus der gesamten Aktivitätenkette, weshalb sequenzbasierte Indikatoren in dieser Arbeit nicht weiterverfolgt werden.

Diana und Pirra (2016) definieren am Beispiel der Multimodalität mehrere wichtige Fähigkeiten eines häufigkeitsbasierten Indikators, der sowohl die Auswahlmenge als auch die Auswahlintensitäten einzelner Alternativen berücksichtigt. Folgende Aspekte sollten erfasst werden können:

- Unterschiede zwischen Auswahlintensitäten der Alternativen
- Absolute Nutzungsintensitäten der Alternativen
- Anzahl der berücksichtigten Alternativen
- Gruppierung von Alternativen (z. B. Gruppierung von Verkehrsmitteln des ÖPNV)

Ein weiterer relevanter Aspekt ist die Ähnlichkeit von Alternativen innerhalb der Indikatoren. Diana und Pirra (2016) diskutieren dies am Beispiel ähnlicher Verkehrsmittelwahlalternativen. Bei Anwendung auf die Zielwahl ist insbesondere die räumliche Nähe und die Ähnlichkeit der Angebote von Relevanz.

Repetition Index

Der Indikator ist ein Maß für Variabilität und Wiederholung in einem definierten Zeitraum (J. O. Huff & Hanson, 1986). Dabei betrachtet er die Konzentration von Aktivitäten in Zellen einer Kontingenztabelle, die sich aus der Kombination mehrerer Analysedimensionen wie z. B. Aktivitätentyp und Ort ergibt.

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - E_i|}{M_n} \quad (4)$$

Wobei bedeutet:

- n Anzahl der Zellen in einer Kontingenztabelle
 P_i Anteil der Aktivitäten in einer Zelle
 E_i Anteil der Aktivitäten je Zelle bei gleichförmiger Verteilung $\frac{1}{n}$
 M_n Maximal möglicher Wert $\frac{2(n-1)}{n}$

Damit misst der Indikator die Abweichung einer Verteilung von einer gleichmäßigen Verteilung. Anwendung fand er bei Huff & Hanson (1986) und Schlich, Schönfelder, et al. (2004) mit Kontingenztabellen, die Aktivitätentyp, Tageszeit, Verkehrsmittel sowie Stadtviertel differenzieren.

Herfindahl-Hirschman-Index

Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) wurde ursprünglich als Indikator der Marktkonzentration entwickelt und verwendet (Herfindahl, 1997; Rhoades, 1993). Er aggregiert Anteile von Alternativen in Relation zur Anzahl an Alternativen n . HHI^* stellt den auf die Anzahl der Alternativen normierten Indikator dar.

$$HHI = \sum_{i=1}^n f_i^2 \quad (5)$$

$$HHI^* = \frac{HHI - \frac{1}{n}}{1 - \frac{1}{n}} \quad (6)$$

Wobei bedeutet:

- f_i Intensität bzw. Anteil aller Beobachtungen einer Alternative i
 n Anzahl Alternativen in Auswahlmenge

Eine Beispielberechnung der Index-Werte anhand unterschiedlicher Verteilungen von Beobachtungen über drei Alternativen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Beispielberechnung des Herfindahl-Hirschman-Index

ID	Alternative			Anteile			HHI	HHI*
	1	2	3	1	2	3		
1	8	1	0	0.89	0.11	0.00	0.80	0.70
2	5	3	2	0.56	0.33	0.22	0.47	0.20
3	3	3	3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00

Eine weitere Definition des *HHI* findet sich bei Rosenbluth (1955), die aber zu denselben Ergebnissen wie in der obigen kommt. Diana und Pirra (2016) variieren diese Definition zum Indikator *HHI_M*, der lediglich die Alternativen betrachtet, deren Anteile größer null sind.

Es findet sich eine häufige Anwendung des *HHI* in der Analyse von Modalitätsstilen, Multimodalität und der Stabilität in der Verkehrsmittelwahl (Diana & Pirra, 2016; Heinen & Chatterjee, 2015; Mallig & Vortisch, 2017; Susilo & Axhausen, 2014). Er wurde aber auch auf die Verteilung von Aktivitätenorten angewandt (Susilo & Axhausen, 2014).

Mode Variation Index

Der *Mode Variation Index (MIX)* basiert auf dem *Herfindahl-Hirschman-Index* und wurde darauf ausgerichtet, bei einer kleinen Anzahl von Beobachtungen zu funktionieren (T. G. Kuhnighof, 2009). Ähnlich wie der *Repetition Index* arbeitet der *MIX* mit der Abweichung von einer gleichmäßigen Verteilung.

$$f_i^* = \left[\frac{s}{n} \right] + \begin{cases} 1 & \text{wenn } i \leq s - n[s/n] \\ 0 & \text{sonstige Fälle} \end{cases} \quad (7)$$

$$MIX = 1 - \frac{0,5 \sum_{i=1}^n |f_i - f_i^*|}{s - f_1^*} \quad (8)$$

Wobei bedeutet:

- f_i Intensität einer Alternative i in nach Größe absteigender Reihenfolge
- n Anzahl Alternativen in Auswahlmenge
- s Anzahl Beobachtungen insgesamt

Total Mode Variation

Der Indikator erfasst lediglich den Anteil der Beobachtungen, der nicht auf die am häufigsten gewählte Alternative fällt. Je größer dieser Anteil ist, desto größer ist das Maß an Variation in der Verkehrsmittelwahl (Thomas et al., 2019).

Anteilsdifferenz der beiden wichtigsten Alternativen

Der Abstand der Anteile der zwei am häufigsten gewählten Alternativen kann als weiteres Maß für Konzentration und Variation von Beobachtungen gesehen werden. Er wurde am Beispiel der Verkehrsmittelwahl angewandt (Heinen & Chatterjee, 2015).

Gini Index

Der *Gini Index (GI)* wird als Ungleichheitsmaß verwendet und wird von der Lorenzkurve abgeleitet. Dabei betrachtet er die Unterschiede von Werten einer Häufigkeitsverteilung. Die folgende Formulierung stammt von Diana und Pirra (2016). Ein hoher Wert von nahe eins weist auf eine starke Konzentration auf eine Alternative hin, wohingegen ein Wert nahe null für eine gleichmäßige Verteilung steht.

$$GI = \frac{2}{n} \frac{\sum_{i=1}^n i * f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} - \frac{n+1}{n} \quad (9)$$

Wobei bedeutet:

- f_i Intensität einer Alternative i in nach Größe aufsteigender Reihenf.
- n Anzahl Alternativen in Auswahlmenge

Dalton Index

Der *Dalton Index (DAL)* ist ein weiterer Ungleichheitsindikator, der über die Einführung eines Parameters ϵ die Sensitivität gegenüber selten gewählten Alternativen beeinflusst (Cowell, 2011; Diana & Pirra, 2016). Wie auch beim *HHI* wurde eine Variation DAL_M definiert, die lediglich die gewählten Alternativen betrachtet (Diana & Pirra, 2016). Innerhalb einer Sensitivitätsanalyse bei Variation von ϵ wurde ein Wert von 0,5 für geeignet befunden.

$$DAL = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i^{1-\epsilon} - 1}{\bar{f}^{1-\epsilon} - 1} \quad (10)$$

Wobei gilt:

- f_i Intensität einer Alternative i
- n Anzahl Alternativen in Auswahlmenge
- ϵ Sensitivitätsparameter

Entropiebasierte Ansätze

Die Entropie stellt in der Informationstheorie ein Maß für die beseitigte Unsicherheit dar. Basierend auf der Shannon-Entropie definierten Diana und Mokhtarian (2008) einen Indikator *OM_PI*, der die beseitigte Unsicherheit einer Verkehrsmittelwahl und damit die Multimodalität beschreibt. Dessen modifizierte Version *OM_MI* berücksichtigt zusätzlich das mittlere Mobilitätslevel einer Person.

$$OM_PI = \sum_{i=1}^n \left[\frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \log_n \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i}{f_i} \right) \right] \quad (11)$$

Wobei bedeutet:

- f_i Intensität einer Alternative i
- n Anzahl Alternativen in Auswahlmenge

Der Theil-Index beschreibt einen weiteren entropiebasierten Indikator. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf Theil (1979) verwiesen.

Synthese

Viele der aufgeführten Indikatoren werden bei der Analyse der Aktivitäten- und Verkehrsmittelvariabilität angewendet. In einzelnen Fällen wird dabei auch der Ort einer Aktivität oder eine Ortsveränderung mit berücksichtigt (J. O. Huff & Hanson, 1986). Ein zentrales Problem bei einigen Indikatoren ist die Notwendigkeit einer fest definierten Anzahl aller Alternativen, die bei Be- trachtung der Zielwahl meist unbekannt ist. Eine mögliche Lösung kann die Annahme einer fest definierten Zahl von Alternativen sein, die mindestens den Wert der größten Alternativenmenge aller Personen hat.

Mallig und Vortisch (2017) weisen für die Erfassung von Multimodalität in der Verkehrsmittelwahl darauf hin, dass zwischen häufigkeitsbasierten Indikatoren eine hohe Korrelation besteht, weshalb nach ihrer Ansicht ein Indikator neben einem sequenzbasierten Indikator ausreicht. *Repetition*, *Gini* und *Mode Variation Index* zeigten bei einer Analyse für verschiedene Verhaltens- muster Probleme, einzelne Unterschiede zu differenzieren oder hatten eine schiefe Verteilung (Mallig & Vortisch, 2017). Diana und Pirra (2016) untersuchten eine Auswahl von Indikatoren hinsichtlich Replikationsinvarianz, Skalierungsinvarianz, ihrer Fähigkeit der Analyse von zwei Alternativen und ihrer Möglichkeit, Verschiebungen in der Auswahlintensität zu berücksichtigen. *Gini-Index*, *Theil-Index*, *HHI* und *DAL* wurden vergleichsweise ungeeignet be- funden, wohingegen *HHI_m*, *DAL_m* und *OM_PI* bzw. *OM_MI* mehr Kriterien erfüllten.

3 Verkehrsnachfragemodelle

Verkehrsnachfragemodelle bilden das Verkehrsgeschehen eines definierten Raumes als digitales Abbild in einem Simulationsprogramm ab. Um Aussagen treffen zu können, inwieweit die beobachteten Verhaltensweisen der Zielwahl in den Modellen vorzufinden sind, und um Möglichkeiten erörtern zu können, wie eine Zielwahl möglicherweise modellseitig realistischer gestaltet werden kann, ist ein gutes Verständnis von Verkehrsnachfragemodellen und ihrer Funktionsweise erforderlich. Das folgende Kapitel beschreibt die Grundlagen von Verkehrsnachfragemodellen mit einem Fokus auf aktivitätenbasierte Modelle und gibt einen Überblick über diskrete Entscheidungsmodelle als wichtiges Werkzeug zur Analyse und Prognose von verkehrsbezogenen Entscheidungen.

3.1 Ziele und Anwendung

Die Verkehrsplanung untersucht „die Gesetzmäßigkeiten der räumlich-zeitlichen Entstehung und Durchführung der Ortsveränderungen von Personen [...] und Gütern im gesamten öffentlichen Verkehrsraum eines Territoriums“ (Schnabel & Lohse, 1997, S. 5). Dies tut sie insbesondere für eine fachgerechte Bedarfs-, Verkehrswege und Verkehrsentwicklungsplanung (Schnabel & Lohse, 1997). In diesem Kontext haben Verkehrsnachfragemodelle zum Ziel, eine Bewertungsgrundlage für Maßnahmen, Politiken oder technologische Entwicklungen hinsichtlich der Veränderung der Verkehrsnachfrage zu schaffen (Castiglione et al., 2015; Ortúzar S. & Willumsen, 2024). Sie ermöglichen es, das Verkehrsangebot unter der Berücksichtigung von sich überlagernden Effekten von Maßnahmen und sonst bestehenden und forcierten Entwicklungen zu bewerten und zu planen. Damit bieten sie eine gemeinsame Grundlage für die Diskussion der Maßnahmen und das Finden von Kompromissen und

ermöglicht ein gewisses Level an Objektivität (Ortúzar S. & Willumsen, 2024). Die realistische Reproduktion des Verhaltens ist eine Voraussetzung für die Fähigkeit, geeignete Prognosen abzugeben.

Die Grundlage von Verkehrsnachfrageprognosen ist die Erfassung von Wirkungszusammenhängen in den (Teil-)Modellen der Verkehrsnachfrage. Die Analyse des Verkehrsverhaltens und damit auch des räumlichen Verhaltens von Personen über kurze Zeiträume von meist einem Tag geht meist mit der vereinfachten Annahme einher, dass das Verhalten wiederkehrend ist und daher von einem Tag auf andere Tage geschlossen werden kann (Ortúzar S. & Willumsen, 2024). Diese Annahme eines konstanten eingespielten Systemzustandes wird auf die Prognosemodelle übertragen (Schlich, Schönfelder, et al., 2004). Die Prognosen basieren in solchen Fällen allerdings nicht auf im Längsschnitt beobachteten Veränderungen von, sondern auf Unterschieden zwischen Personen (Goodwin et al., 1990). Aus interpersonellen Unterschieden wie etwa dem variierenden Alter oder einer variierenden ÖPNV-Erschließung des Wohnorts von Personen wird auf intrapersonelle Veränderungen im Laufe der Zeit geschlossen. Eine Prognose für eine Verkehrsnachfrage in der Zukunft nimmt etwa an, dass sich eine Person in zehn Jahren wie eine heute zehn Jahre ältere Person verhält oder dass eine Maßnahme zur besseren ÖPNV-Erschließung Wirkungen wie an anderen Orten der Modellregion hervorbringt. Um diese Wirkungszusammenhänge zu strukturieren, werden verkehrsbezogene Entscheidungen meist separat voneinander betrachtet, woraus sich der Aufbau der Modelle ableiten lässt.

3.2 Aufbau und Funktion

Verkehrsnachfragemodelle können grundsätzlich in makroskopische und mikroskopische Verkehrsmodelle unterteilt werden. Makroskopische Modelle bilden den Verkehr aggregiert auf der Ebene von Verkehrsströmen oder -verflechtungen ab. Mikroskopische Modelle betrachten das Verkehrsverhalten auf der Ebene individueller Personen mit ihren Aktivitäten und Wegen. Beide

Modellkategorien bauen auf einem Verkehrsangebotsmodell auf, das Informationen über die Verkehrsinfrastruktur und damit über die Angebotsqualität (engl. *level of service*) bereitstellt. Beide Modellkategorien werden im Folgenden erläutert.

Makroskopische Verkehrsfrage modelle

Zur Modellierung von aggregierten Verkehrsströmen hat sich das Vier-Stufen-Modell aus Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und -umlegung etabliert (Castiglione et al., 2015; Ortúzar S. & Willumsen, 2024). Die vier Stufen bilden schrittweise die unterschiedlichen Ebenen einer verkehrsbezogenen Entscheidung ab. Die Verkehrsentstehung modelliert mit Bevölkerungs- und Raumstrukturdaten entstehenden Verkehr einer Bevölkerung und angezogenen Verkehr von Gelegenheiten. Darauf aufbauend bestimmt ein Verteilungsmodell die aggregierten Verkehrsströme zwischen Verkehrszellen unter Berücksichtigung des Raumwiderstandes. Die Verkehrsströme werden bei der Verkehrsaufteilung auf die betrachteten Verkehrsmodi in Abhängigkeit deren Angebotsqualität aufgeteilt. Zuletzt werden die modusspezifischen Verkehrsströme auf das Verkehrsnetz umgelegt und damit Routen bzw. ÖV-Verbindungen festgelegt, sodass netzbezogene Verkehrsbelastungen bestimmt werden können. Da die Stufen in gegenseitiger Interaktion stehen, werden die Teilmodelle mehrfach wiederholt. So können veränderte Verkehrsbelastungen nach Ende der Verkehrsumlegung z. B. die Verkehrsangebotsqualität und damit die Aufteilung auf die Verkehrsmodi beeinflussen. Über mehrere Iterationsschleifen dieser vier Teilmodelle konvergiert das Gesamtmodell zu einem Gleichgewichtszustand. Die Modellstufen werden meist für verschiedene verhaltenshomogene Gruppen und Aktivitätentypen unterschiedlich modelliert (Ortúzar S. & Willumsen, 2024). Damit kann die Variation des Verhaltens besser abgebildet werden.

Makroskopische Modelle können darüber hinaus auch auf der Ebene von Aktivitätenketten und Touren modelliert werden, was die innere Konsistenz des Verkehrsverhaltens stärkt. Dennoch bleibt die Aggregation zu Verkehrsströmen erhalten, indem die sich aus den Aktivitätenketten und Touren

ergebenden Wege zu Nachfragematrizen zusammengefasst werden. Diese Art der Modellierung stärkt lediglich die Konsistenz der Verkehrsströme, indem die innerhalb der Kette/Tour auftretenden Orte jeweils übertragen und Verkehrsmittel verpflichtend für eine gesamte Kette/Tour gestaltet werden können.

Mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle

Zu dieser Kategorie zählen aktivitäten- und tourenbasierte Verkehrsnachfragemodelle (E. J. Miller, 2019). Sie können sich an der Struktur der vier Stufen orientieren, unterscheiden sich aber fundamental durch die Betrachtungsebene des Verkehrsgeschehens. Aktivitätenbasierte Modelle ermöglichen die Modellierung von Ortsveränderung auf Basis von Aktivitätenplänen von Personen. Die Aktivitäten bzw. Wege werden dabei für einen Zeitraum im Modell geplant. Dies ist die Grundlage für eine zeitlich-räumlich detaillierte Abbildung des Verkehrs und für eine auf Personenebene konsistente Modellierung der Mobilität. Tourenbasierte Modelle bauen die Aktivitäten über einen Zeitraum in Touren auf, die sich nach zentralen Aktivitäten wie Arbeit, Ausbildung und zu Hause strukturieren. Die Betrachtung der Entscheidungen auf Touren- und Subtourenebene ermöglicht die Berücksichtigung von logischen Interaktionen zwischen den entsprechenden Wegen (E. J. Miller, 2019). Ein typischer Ablauf besteht darin, dass zuerst Hauptaktivität und deren Ort, Modus und Zeitraum bestimmt werden. Im Folgenden wird entschieden, ob und welche vor- oder nachgelagerten Aktivitäten auf der Tour vorkommen und wie sie durchgeführt werden. Bei mikroskopischen Modellen kommen verschiedene Modelltypen zum Einsatz. Es finden sich eine Vielzahl an Zufallsnutzenmodellen (engl. *Random utility models*), aber auch regelbasierte Ansätze der Entscheidungsfindung (E. J. Miller, 2019).

Mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen wird eine verbesserte Wirkungsabbildung von Maßnahmen durch z. B. eine interpersonelle Variationsmöglichkeit von Sensitivitäten und zeitspezifische Einflüsse zugesprochen (Castiglione et al., 2015). Eine detaillierte Modellierung der Zeitperspektive ist aufgrund von zeitlich begrenzten Verkehrsereignissen wie Staustunden

oder zeitlich dynamischen Rahmenbedingungen des Verkehrsangebots wie z. B. Parkgebühren besonders relevant (Kitamura et al., 2005), lässt sich aber auch mit einigen Annahmen in makroskopischen Modellen umsetzen.

Agentenbasierte Mikrosimulationen

Ein möglicher Ansatz, um mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle auszuführen, ist eine Mikrosimulation. Die Durchführung kann für verschiedene Szenarien erfolgen. Die Simulationen zeichnen sich durch numerische Algorithmen, eine dynamische Entwicklung des Verhaltens über die Zeit, stochastische Elemente und ein sich entwickelndes Ergebnis im Gegensatz zu lösungsbasierten Ansätzen aus (E. J. Miller, 2019). Eine Mikrosimulation ist dabei ein hoch disaggregiertes System von Akteuren und Prozessen in räumlicher und zeitlicher Dimension (E. J. Miller, 2019).

Agentenbasierte Mikrosimulationen sind in diesem Kontext Simulationen, die verkehrsbeiligte individuelle Einheiten als Objekte mit ihren Attributen, Erfahrungen im System und ihren Entscheidungsprozessen abbilden. Beispielsweise können Agenten ihr Umfeld erfassen, ihre Präferenzen kennen, einen Hintergrund mit Erfahrungen haben, Beziehungen zu anderen Agenten haben und eigene verkehrsbezogene Entscheidungen anhand ihres Aktivitätenplanes treffen (E. J. Miller, 2019).

3.3 Beispiele von mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen

Die Prinzipien von mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen wurden in unterschiedlicher Weise interpretiert und umgesetzt, weshalb eine Vielzahl von Modell- und Simulationsumgebungen existiert. Im Folgenden wird eine beispielhafte Übersicht verschiedener Modellumgebungen gegeben. Eine umfangreiche Übersicht von mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen findet sich bei Mallig (2019).

Die aktivitätenbasierte Modellumgebung *DaySim* war eine der frühen Entwicklungen und wurde in Stadtregionen wie Portland (Bowman & Ben-Akiva, 2001), San Francisco (Jonnalagadda et al., 2001) und Sacramento (Bradley et al., 2010) umgesetzt. Die Modelle bauen auf einer synthetischen Bevölkerung auf und planen deren Tagesaktivitätenpläne inklusive der dazugehörigen Touren und Wege (Bradley et al., 2010). Sie beginnen mit der Modellierung von langfristigen Entscheidungen wie den Orten für Arbeit bzw. Ausbildung und dem Besitz eines Autos auf Haushaltsebene. Im Folgenden werden Touren und Subtouren mit ihren dazugehörigen Orten und Verkehrsmodi bestimmt, deren Entscheidungen in hohem Maße abhängig voneinander sind. Ein Großteil der TeilmODELLE sind multinomiale und Nested-Logit-Modelle. Durch die räumlich kleinteilige Abbildung und die Sensitivität der TeilmODELLE gegenüber Erreichbarkeits- und Flächennutzungsvariablen besteht eine Interaktion mit der räumlichen Struktur. Die Simulation wird in 30-Minuten-Intervallen durchgeführt, wodurch die Variation des Verkehrs über den Tag berücksichtigt werden kann.

Eine agentenbasierte Modellumgebung stellt *MATSim* dar. Die Modellumgebung ist gemessen an der Verwendung in wissenschaftlichen Artikeln die am meisten verwendete agentenbasierte Modellumgebung (Bastarianto et al., 2023). Es simuliert den Verkehr einer Region über einen Tag und optimiert auf Agentenebene die Aktivitäten- und Wegepläne der Bevölkerung über mehrere Iterationen (Balmer et al., 2006). Dabei werden verschiedene Aspekte der Pläne wie Reisezeiten, Aktivitätenzeiten, Kosten u. v. m. in die Bewertung mit einbezogen und entsprechend Neuplanungen der Aktivitäten und Wege initiiert. Etwa werden angepasste Start- und Endzeiten von Aktivitäten oder neue Routen aufgrund veränderter Reiszeiten gewählt oder gar vollständig neue Pläne verwendet. In das Modell ist ebenfalls eine Verkehrsflusssimulation auf Basis eines Warteschlangenmodells integriert. Der Simulationszeitraum wurde in wenigen Anwendungen auf eine Woche ausgedehnt (Horni & Axhausen, 2012; Ordóñez Medina, 2016). Es wird allerdings angemerkt, dass *MATSim* nicht ideal für die Simulation einer Woche ist, da das Erreichen eines Gleichgewichts aufgrund der umfangreicheren Freiheitsgrade

über die Woche deutlich länger dauert. Das Gleichgewicht ist durch das Beibehalten von Plänen gekennzeichnet.

Die agentenbasierte Verkehrsnachfragemodellumgebung *mobiTopp* betrachtet ähnlich wie *DaySim* Mobilität in einer lang- und kurzfristigen Perspektive (Mallig et al., 2013). Ein Langzeitmodul erstellt eine synthetische Bevölkerung mit Aktivitätenplänen, Zugängen zu Verkehrsmitteln und festen Destinationen für die Aktivitätentypen Arbeit und Ausbildung. Ein Kurzzeitmodul simuliert minutefein die verkehrsrelevanten Entscheidungen für alle Aktivitäten im Verlauf einer Woche. Die Simulation wird chronologisch und simultan für alle Agenten durchgeführt, sodass deren Interaktionen berücksichtigt werden können. Verkehrsnachfragemodelle mit *mobiTopp* wurden bereits für die Stadtregionen Hamburg, Karlsruhe und Stuttgart erstellt und auf unterschiedliche Aspekte wie neue Mobilitätsformen und intermodales Verkehrsverhalten spezialisiert (Heilig et al., 2018; Wörle et al., 2021). Durch die Betrachtung einer Woche werden Stabilitätsaspekte des Verhaltens relevanter. In mehreren Arbeiten wurden diese in Bezug auf die Verkehrsmittelwahl untersucht (Mallig, 2019; Wörle et al., 2024). Durch die erweiterte Betrachtung des Güter- und Wirtschaftsverkehrs kann das Verkehrsgeschehen umfassend abgebildet werden (Reiffer et al., 2021; Barthelmes et al., 2023). *mobiTopp* dient als Grundlage für die Implementierung der in Kapitel 7 entwickelten Zielwahlmodelle und wird in diesem Zusammenhang detaillierter beschrieben.

3.4 Diskrete Entscheidungsmodelle

Verkehr entsteht aus der Summe vieler Einzelentscheidungen. Die entscheidenden Akteure sind einzelne Personen, die jeweils unterschiedliche Gründe für ihre Entscheidungen haben. Daraus ergeben sich variierende Präferenzen für unterschiedliche Entscheidungsalternativen und in Summe eine Variabilität bzw. Heterogenität von Entscheidungen, die es zu verstehen gilt, wenn das Verhalten in Modellen abgebildet werden soll. Das Ziel der Verhaltensanalyse ist dabei, den Anteil der beobachteten Heterogenität im Modell

zu maximieren und den Anteil der nicht beobachteten Heterogenität zu minimieren (Hensher et al., 2015). Diskrete Entscheidungsmodelle bilden Entscheidungsprozesse zwischen einer definierten Anzahl an Alternativen ab. Die Betrachtungsebene einzelner Personen bzw. Entscheidungseinheiten eignet sich hier, um die größtmögliche Varianz aus den Beobachtungen abzuleiten und das Verhalten bestmöglich zu verstehen (Daly, 1981). Diskrete Entscheidungsmodelle eignen sich sowohl für die Analyse als auch für die Prognose von Entscheidungen, was ihre Anwendung in mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen attraktiv macht. Im Folgenden werden die Grundlagen diskreter Entscheidungsmodelle und das multinomiale Logit-Modell (MNL) als den am häufigsten verwendeten Vertreter beschrieben. Die folgenden Absätze basieren auf der Formulierung von Hensher et al. (2015).

Die Modelle gehen von rationalen Entscheidenden aus und basieren auf der Annahme der Nutzenmaximierung. Die Annahme geht davon aus, dass eine entscheidende Person die Alternative c mit dem größten Nutzen U_c unter allen Alternativen i wählt (12). Der Nutzen ist dabei ein Konstrukt, das die Präferenz für eine Alternative oder eine zugeschriebene Eignung einer Alternative beschreibt.

$$P(C) = \Pr (U_c \geq U_i, i = 1, \dots, n) \quad (12)$$

Der Nutzen U_i ergibt sich aus einer deterministischen Nutzenkomponente V_i und einer stochastischen Nutzenkomponente ε_i (13). Erstere beinhaltet beobachtbare Einflüsse von Eigenschaften x_k einer Alternative i , des Situationskontextes und der Person und wird meist in Form einer Linearkombination definiert. Letztere existiert in der Annahme, dass nicht alle Informationen bei der Analyse bekannt sind, die für die Abwägung der Alternativen berücksichtigt werden (Timmermans & Golledge, 1990). Die stochastische Komponente kann in Form einer normalen oder einer logistischen Verteilung abgebildet werden, wobei letztere statistische Vorteile mit sich bringt (Daly, 1981). In einem Probit-Modell wird eine Normalverteilung und in einem multinomialen Logit-Modell eine Extremwertverteilung (Typ 1) bzw. Gumbel-Verteilung

verwendet. Im Falle letzterer stellt λ einen positiven Skalierungsfaktor der deterministischen Komponente dar, welcher zudem die Varianz von ε_i beeinflusst. Das multinomialen Logit-Modell basiert auf der Annahme einer unabhängigen und identischen Verteilung der stochastischen Komponenten über die Alternativen. Um dies zu erreichen, ist eine Normalisierung des Skalierungsfaktors λ erforderlich. Bei der üblichen Normalisierung auf 1 ergibt sich $VAR(\varepsilon_i) = \pi^2/6$ für alle Alternativen i . Die Kovarianzen der Alternativen werden als 0 angenommen.

$$U_i = V_i + \varepsilon_i = \lambda \sum_{k=1}^K \beta_{k,i} x_{k,i} + \varepsilon_i \quad (13)$$

Die Parameter $\beta_{k,i}$ können konstant über alle Personen angenommen werden oder mit Interaktionseffekten für Personen mit bestimmten Eigenschaften differenziert werden. Zudem können Parameter über eine Verteilung abgebildet werden, wodurch ein Mixed-Logit-Modell entsteht. Es können verschiedene Verteilungen zum Einsatz kommen. Die folgende Formulierung beschreibt einen Parameter $\beta_{k,i}$ über eine Normalverteilung mit dem Mittelwert $\bar{\beta}_k$ und der Abweichung η_k (14). Die Parameter werden in dieser Notation personenspezifisch bestimmt, sodass die normalverteilten Zufallszahlen z_k für jede Person p gezogen werden.

$$\beta_{k,i,p} = \bar{\beta}_{k,i} + \eta_{k,i} z_{k,i,p} \quad (14)$$

Die Nutzenfunktion kann generisch für alle Alternativen oder alternativen-spezifisch definiert sein. Der Nutzen U_i wird im Rahmen von diskreten Entscheidungsmodellen als ordinaler Nutzen definiert, sodass nur die relativen Nutzenwerte der Alternativen relevant sind und im Falle einer alternativen-spezifischen Definition eine Normalisierung einer Alternative erforderlich ist. Die Auswahlwahrscheinlichkeit P einer Alternative i ergibt sich auf Grundlage der folgenden Aufteilungsfunktion (15).

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{i=1}^N e^{V_i}}, i = 1, \dots, n \quad (15)$$

Es bestehen unterschiedliche Schätzmethoden, worunter die Maximum-Likelihood-Schätzung die Verbreitetste darstellt. Die Methode bestimmt die Parameter $\beta_{k,i}$ so, dass das definierte Modell eine Menge an beobachteten Entscheidungen bestmöglich erklärt. Die Likelihood-Funktion multipliziert die Auswahlwahrscheinlichkeiten der gewählten Alternativen in den Beobachtungen. Sie ist das Produkt der Auswahlwahrscheinlichkeiten P einer Alternative i über alle Entscheidungen s einer Person p in Kombination mit der binären Variable y_{psi} , die einen Wert von 1 einnimmt, wenn eine Alternative in Realität gewählt wurde. Die Likelihood-Funktion wird mit einem Algorithmus maximiert.

$$L_{p,s} = \prod_{p=1}^P \prod_{s \in S_n} \prod_{i \in N_{ps}} (P_{psi})^{y_{psi}} \quad (16)$$

Um sehr kleinen Wahrscheinlichkeiten und damit möglichen Problemen bei der Berechnung von L vorzubeugen, wird meistens die logarithmische Transformation Log-Likelihood (LL) verwendet (17).

$$LL_{p,s} = \sum_{p=1}^P \sum_{s \in S_n} \sum_{i \in N_{ps}} y_{psi} \ln(P_{psi}) \quad (17)$$

In der Grundform als multinomiales Logit-Modell wird die Annahme getroffen, dass eine Unabhängigkeit von unbekannten Alternativen (IIA) besteht. Diese Annahme besteht darin, dass sich das Verhältnis der Auswahlwahrscheinlichkeiten von Alternativen nicht ändert, wenn zusätzliche Alternativen in der Auswahlmenge hinzukommen oder Alternativen wegfallen (Luce, 1959). Die Annahme steht mit der mathematischen Formulierung der stochastischen Komponente in Zusammenhang.

4 Modellierung von Zielwahlentscheidungen und deren Stabilität

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, bestehen unterschiedliche Möglichkeiten der Modellabbildung der Verkehrsnachfrage. Zielwahlmodelle stellen Teilkomponenten der Gesamtmodelle dar. Die Aufgabe von Zielwahlmodellen ist die Beschreibung von Abläufen und Wirkungszusammenhängen und typischerweise deren mathematische Formulierung im Rahmen von räumlichen mobilitätsbezogenen Entscheidungen. Die Wirkungszusammenhänge können auf Basis geeigneter empirischer Grundlagen abgeleitet werden.

Die zentrale Aufgabe der längsschnittorientierten Verhaltensmodelle ist die Erfassung der Stabilität bzw. Variabilität des Verhaltens, sodass diese bei der Analyse einer Verkehrssituation zur Verfügung steht und entsprechend verbesserte Prognosen gegeben werden können (T. Kuhnimhof, 2007). Für die Zielwahlmodelle bedeutet das, dass sie die äußeren Rahmenbedingungen und individuellen Präferenzen kennen, die zu unterschiedlichen räumlich-zeitlichen Verhaltensmustern führen.

Die Beschreibung von Zielwahlmodellen ist Gegenstand dieses Kapitels. Es wird zunächst auf die verwandten bzw. mit den Zielwahlmodellen in Verbindung stehenden Themen der Modellierung raum-zeitgeographischer Prinzipien (Kapitel 4.1) und der Bestimmung der Auswahlmenge bei Zielwahlentscheidungen (Kapitel 4.2) eingegangen. Darauffolgend werden die grundlegenden Modelle der Zielwahl für aggregierte und disaggregierte Modelle beschrieben (Kapitel 4.3). Die Berücksichtigung der räumlichen Abhängigkeit von Orten in den Modellen ist Gegenstand von Kapitel 4.4. Die

Möglichkeiten der Konfiguration von disaggregierten Zielwahlmodellen auf Tourenebene (Kapitel 4.5) und als längsschnittorientierte Modelle (Kapitel 4.6) werden dargestellt, da sie einen Einfluss auf die Zielwahlstabilität im Modell nehmen. Zuletzt wird in Kapitel 4.7 auf Modelle eingegangen, die die Beziehung von Person und Orten betrachten und die Erklärung von Stabilität und Variabilität aus dieser Perspektive betrachten.

4.1 Modellierung zeitgeographischer Prinzipien

Die erste Modellkategorie legt einen Fokus auf die gegebene Erreichbarkeit von Orten, wenn die zeitlichen Restriktionen des Aktivitätenplans berücksichtigt werden. Raum-Zeit-Prismen (engl. *Space time prisms*) oder *Potential path areas (PPA)* operationalisieren die räumlich-zeitlichen Möglichkeiten einer Person auf Basis der Prinzipien der Zeitgeographie (Lenntorp, 1979). Sie berücksichtigen die in Kapitel 2.2.1 genannten Restriktionen und spannen einen räumlich-zeitlichen Möglichkeitsraum auf, im welchem verschiedene Pfade des räumlich-zeitlichen Verhaltens realisiert werden können. Verpflichtende Aktivitäten bestimmen den zeitlichen Raum, der für eine flexible Aktivität zur Verfügung steht, und grenzen die Reichweite ein, wobei z. B. längere Aktivitäten einen kleineren Raum erlauben. Die damit räumlich erreichbaren Orte werden zusätzlich von ihrer zeitlichen Verfügbarkeit beeinflusst (z. B. Öffnungszeiten).

Das erste Modell, das mithilfe von Aktivitätenplänen und einem Verkehrsnetz das mögliche räumlich-zeitliche Verhalten von Individuen zwischen verpflichtenden Aktivitäten abgebildet hat, ist das PESASP-Modell (Lenntorp, 1979). Es bildet z. B. mögliche Zielwahlentscheidungen für eine Einkaufsaktivität ab, die zwischen einer Heim- und Arbeitsaktivität durchgeführt werden soll. Die Arbeitsaktivität ist dabei die nächste verpflichtende Aktivität. Hierfür kommen nur die Pfade in Betracht, die zeitlich realisiert werden können. Die weiterführenden Modelle zu Raum-Zeit-Prismen von H. J. Miller (1991) und Kim und Kwan (2003) fokussierten die Berücksichtigung von Netzeffekten und

Ortsrestriktionen wie Öffnungszeiten. Die Modellogik der PPA wurde darüber hinaus auf die Zeitspanne eines Tages ausgedehnt, was unter anderem die flexible Verortung der Aktivitäten zu verschiedenen Zeitpunkten des Tages ermöglicht. Damit ergaben sich *Daily potential path areas* (Kwan, 1999). Pendyala, Yamamoto und Kitamura (2002) zeigten zudem auf, dass deutliche interpersonelle Unterschiede in der Größe der individuellen Raum-Zeit-Prismen bestehen, sie sich allerdings zwischen verschiedenen Tagen und Regionen kaum unterscheiden. Da individuelle Raum-Zeit-Prismen und deren Eckpunkte in Erhebungen nur anhand einiger Rahmenbedingungen wie z. B. dem Beginn der Arbeitszeit analysierbar sind, können stochastische Grenzwertmodelle (engl. *Stochastic frontier models*) zum Einsatz kommen, um die Eckpunkte unter Berücksichtigung individueller Charakteristiken zu schätzen (Kitamura et al., 2000).

Als vereinfachende Form für die Analyse von potenziellen Aktionsräumen innerhalb einer Wegekette wurden Ellipsen herangezogen werden, die sich aus den beiden Fixpunkten Wohn- und Arbeitsort und den dazwischenliegenden Aktivitätenorten ergeben (Newsome et al., 1998). Die Geometrien dienen allerdings als Proxy für den Aktionsraum und stellen lediglich den Raum dar, der mindestens zur Verfügung steht. Damit repräsentiert diese Methode einen vereinfachten Ansatz der Modellierung raum-zeitgeographischer Prinzipien.

Eine detaillierte Modellierung zur Durchführung von z. B. Erreichbarkeitsanalysen stellt das *Model of Action Spaces in Time Intervals and Clusters (MASTIC)* dar (Dijst, 1999; Ritsema van Eck et al., 2005). Es wurde entwickelt, um den möglichen Aktionsraum zu modellieren, den ein Individuum mit seinen zeitlichen und modalen Möglichkeiten erreichen kann. Das Modell geht von einem oder mehreren Basispunkten (Wohnort, Arbeit, Ausbildung) aus und modelliert mit Hilfe von Aktivitätenplänen den möglichen Aktionsraum in Zeitfenstern zwischen den Aktivitäten an Basispunkten. Dazu nutzt das Modell vier Rahmenbedingungen: die Distanz im Netz zwischen den Basispunkten, die Länge des Zeitfensters, das Verhältnis von Aktivitätenzeit und Reisezeit und die Reisegeschwindigkeit des als konstant angenommenen

Hauptverkehrsmittels einer Person (Ritsema van Eck et al., 2005). Das Bestehen eines Zusammenhangs zwischen Aktivitätenzeit und Reisezeit wurde in vorigen Arbeiten belegt (Dijst & Vidakovic, 2000). Das Aktionsraummodell wurde u. a. zur Analyse von unterschiedlichen städtebaulichen Typologien im Hinblick auf ihre Wirkung auf die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen bei Berücksichtigung von zeitlichen Kapazitäten unterschiedlicher Lebensstile verwendet (Ritsema van Eck et al., 2005).

Dijst and Vidakovic (2000) nehmen in ihrer Forschung zu *Travel time ratios* an, dass Individuen ein sinnvolles Verhältnis zwischen erforderlicher Reisezeit zu einem Aktivitätenort und der Dauer einer Aktivität abwägen. Demnach besteht ein akzeptierter Anteil eines Zeitfensters, das sich zwischen den Hauptaktivitäten (Arbeiten, Ausbildung, zu Hause) ergibt, der für eine Aktivität zur Verfügung stehen muss, welcher je nach unterschiedlichen Aktivitätstypen variiert. So ist der Anteil für verpflichtende Aktivitäten (u. a. Einkauf, Dienstleistungen) größer, weil vor allem die Aktivitäten von geringerer Dauer sind. Insbesondere Freizeitaktivitäten zeichnen sich durch eine lange Dauer der Aktivität aus und sind durch ein geringeres *Travel time ratio* charakterisiert. Die Erkenntnisse unterstützen die Annahme eines Aktionsraumes von Individuen, der sich je nach Art der Aktivität unterscheidet.

Die Anwendbarkeit von Raum-Zeit-Prismen in der Zielwahlmodellierung wurde in mehreren Studien demonstriert (Kitamura et al., 2005; Yoon et al., 2012). Dabei wurden Zeitbudget, Dauer der Aktivitäten, tageszeitabhängige Kenngrößen des Verkehrsnetzes und Verfügbarkeiten von Gelegenheiten aufgrund von Öffnungszeiten und unterschiedliche Flexibilitäten für Beginn und Ende von Aktivitäten je nach Aktivitätstyp abgebildet, um eine realistische Auswahlmenge für die Zielwahl zu bestimmen und deren Größe zu reduzieren. Einen hohen Stellenwert hat in beiden Fällen die Nutzung eines Algorithmus zur Bestimmung der *potential path areas*, welcher ausreichend leistungsfähig für eine Modellintegration ist, sodass das Konzept in regionalen aktivitätsbasierten Modellen anwendbar ist. Die Studien betonen insbesondere, dass die dynamische Natur von urbanen Verkehrsräumen für

Verkehrsnachfragemodellierung von großer Relevanz ist und die Modellierung dem mit der Berücksichtigung der Prinzipien der Zeitgeografie Rechnung tragen sollte.

Es wird allerdings auch auf die Limitationen der Raum-Zeit-Prismen bei der Prognose des Zielwahlverhaltens hingewiesen. Zum einen wird die gegenseitige Abhängigkeit von zeitlicher Aktivitätenplanung und der Ortswahl gesehen, die in den Raum-Zeit-Prismen nur ansatzweise berücksichtigt werden kann. Zum anderen bleibt meist trotz der Aufwände zur Eingrenzung möglicher Ziele eine große Zahl an Alternativen bestehen, die potenziell erreicht werden können. (E. J. Miller, 2019)

4.2 Bestimmung der Auswahlmenge

Alle diskreten Wahlmodelle basieren auf der Annahme, dass Personen innerhalb einer Menge von verfügbaren und berücksichtigten Alternativen eine Wahl treffen. Daher ist die Bestimmung der Auswahlmenge der diskreten Alternativen (engl. *Choice set formation*) ein wichtiger Bestandteil der diskreten Entscheidungsmodellierung. Diesem kommt insbesondere eine große Bedeutung zu, wenn die Anzahl der möglichen Alternativen sehr groß ist und die berechtigte Annahme besteht, dass nicht alle Alternativen in der Entscheidung berücksichtigt wurden (E. J. Miller, 2019). Daher besteht aufgrund der großen Anzahl an Alternativen in den Zielwahlmodellen ein großes Risiko der Missspezifizierung von Entscheidungen in den Präferenzfunktionen und in den Prognosen (Arentze & Timmermans, 2005; Manski, 1977). Es sind deshalb Strategien erforderlich, um die Menge der verfügbaren Ziele auf eine angemessene Größe zu reduzieren und möglichst nur berücksichtigte Ziele zur Auswahl zu stellen. Verfügbare Ziele werden anhand objektiver Kriterien wie zeitlicher Erreichbarkeit und Verfügbarkeit (z. B. Öffnungszeiten) ausgewählt (vgl. Kapitel 4.1). Berücksichtigte Ziele orientieren sich inhaltlich am wahrgenommenen Aktionsraum und der individuellen Ortswahrnehmung von Personen (vgl. Kapitel 2.2.3 und 2.2.6). Es kann weiterhin differenziert werden, ob

ein Ort nur bekannt ist oder auch in Erwägung gezogen wurde (Shocker et al., 1991). Zu den Strategien gehören deterministische und probabilistische Ansätze, um den Individuen in ihren Situationen mögliche Ziele zuzuordnen. Einen Überblick findet sich im mehreren Studien (Pagliara & Timmermans, 2009; Thill, 1992). Die folgende Übersicht orientiert sich an der Zusammenstellung von Thill (1992).

Verwendung aller Alternativen

Die einfachste Methode zur Definition der Auswahlmenge ist es, alle Ziele eines Aktivitätentyps in der Auswahlmenge zur Verfügung zu stellen. Dieser Ansatz birgt die Gefahr, von der Person in einer Entscheidungssituation nicht in berücksichtigte Ziele fälschlicherweise zu berücksichtigen (falsch positiv), aber schließt keine berücksichtigten Ziele aus (falsch negativ). Allerdings geht dieser Ansatz mit einem hohen Aufwand an Datenaufbereitung und Modellschätzung einher. Zur Vereinfachung der Modellschätzung kann in multinomialen Logit-Modellen eine zufällige Auswahl der Alternativen erfolgen (McFadden, 1978; Parsons & Kealy, 1992). Es wurde gezeigt, dass eine zufällige Auswahl auch in Modellen funktioniert, die eine Abhängigkeit der Alternativen annehmen (Von Haefen & Domanski, 2018). In dieser Studie konnten mit einer zufälligen Auswahl von 5 % der Gesamtmenge der Alternativen in den Schätzungen gute Ergebnisse erzielt werden. Andere Schätzungen von Zielwahlmodellen machten mit der zufälligen Auswahl von 40 Alternativen gute Erfahrungen (Jonnalagadda et al., 2001).

Die zufallsbasierte Auswahl der Alternativen in die Auswahlmenge kann zudem über eine Gewichtung gesteuert werden. Dazu können z. B. Dominanzattribute verwendet werden, die sich aus dem direkten Vergleich einer Alternative mit allen anderen ergeben (Cascetta, Pagliara, & Axhausen, 2007).

Räumliche Auswahl der Alternativen

Alternativ zur vollständigen oder zufälligen Berücksichtigung von Alternativen kann eine Auswahl anhand räumlicher Kriterien erfolgen. Die Alternativen

können in einer deterministischen Auswahl anhand definierter Kriterien ausgewählt werden. Hierfür kann beispielsweise ein Distanzgrenzwert verwendet werden. Es zeigte sich in Studien eine Grenzentfernung, ab der die Parameter des dazugehörigen Freizeitwahlmodells konvergierten (Hicks & Strand, 2000; Parsons & Hauber, 1998). Es konnten oberhalb einer Distanz, die 95 % der Wegelängen abdeckt, keine Veränderungen der geschätzten Parameter mehr erkannt werden (Parsons & Hauber, 1998). Zu beachten ist, dass die Gültigkeit des Modells in Abhängigkeit dieser Kriterien steht. Räumliche und zeitliche Aspekte werden als entscheidende Determinanten für die Begrenzung möglicher Ziele angesehen, wobei sowohl logische Annahmen als auch das beobachtete Verhalten der Personen zur Festlegung dieser Grenzen beitragen. Informationen über Öffnungszeiten von Geschäften und Einrichtungen und die Analyse der Erreichbarkeit in Abhängigkeit der Verkehrsmittel, die situativ zur Verfügung stehen, können zur Auswahl realistisch aufsuchbarer Ziele dienen. Hier können Modellkomponenten wie in Kapitel 4.1 zur Anwendung kommen. Die Anwendung von Raum-Zeit-Prismen zur Eingrenzung der Auswahlmenge stellt ein deterministisches Verfahren anhand einer Vielzahl von Kriterien dar (Kitamura et al., 2005).

Befragungsbasierte Auswahl der Alternativen

Ein Problem der beschränkungsorientierten Ansätze ist jedoch, dass die Beschränkungen auf logischen Annahmen der analysierenden Personen und nicht der individuellen Wahrnehmung der untersuchten Personen basieren. Es liegt daher nahe, Informationen aus den Befragungen für die Erstellung der Auswahlmenge zu verwenden. Die einfachste Möglichkeit ist die Verwendung aller Ziele, die von der gesamten Bevölkerung in der Region mindestens einmal gewählt wurden (Thill, 1992). Dies impliziert die Annahme, dass alle Personen mit denselben Zielen vertraut sind. Parsons and Kealy (1992) schlagen vor, dass die von den meisten Personen besuchten oder die insgesamt am häufigsten besuchten Orte eine Kernauswahlmenge bilden und eine Auswahl dieser immer in der Schätzung des Modells berücksichtigt werden, sodass aber dennoch die Möglichkeit besteht, dass in der Erhebung nicht berichtete

Orte gewählt werden können. Dies ist insbesondere für die Anwendung in Prognosemodellen wichtig, da sonst die Personen zu ggf. ungeeigneten Zielwahlen gezwungen werden und keine neuen Ziele gewählt werden können.

Darüber hinaus existieren Ansätze, die eine individuelle Perspektive einnehmen. Es wird in einigen Befragungen erfasst, mit welchen Orten eines Aktivitätentyps die Befragten vertraut sind und welche damit als Alternative zur Auswahl stehen. Vergleiche von der Annahme sowohl einer vollständigen Auswahlmenge als auch einer distanzlimitierten Auswahlmenge mit der befragungsbasierten Auswahl ergaben deutliche Unterschiede in den Parametern und Effektstärken (Hicks & Strand, 2000; Peters et al., 1995). Auffallend war unter anderem eine größere Sensitivität gegenüber der Reisezeit im Falle der befragungsbasierten Auswahl. Gleichzeitig wurde aufgezeigt, dass Vertrautheit mit einem Ort und geographische Nähe nicht stark korrelieren. Letzteres stellt daher keinen guten Indikator für Vertrautheit dar, was für die Nutzung der in Befragungen berichteten Auswahlmengen anstelle der distanzbasierten Auswahlmengen spricht. Horowitz und Louviere (1995) empfehlen auf Basis von vergleichenden Modellschätzungen jedoch eine Nutzung berichteter Orte als Präferenzen innerhalb der Nutzenfunktion im Gegensatz zu einer separaten Modellierung einer Auswahlmenge. Damit werde die Vorhersagekraft der Modelle verbessert.

Generative Verfahren zur Nachbildung menschlichen Lernens

Weitere Studien berücksichtigen die Suchkosten von Alternativen und legen daher eine maximale Größe der Auswahlmenge fest (J. D. Swait, 1984) oder modellieren einen Prozess des Lernens und der Aktualisierung einer Auswahlmenge (Arentze & Timmermans, 2005; R. Meyer, 1979). Letzteres geschieht zum Beispiel auf einem *Bayesian Belief Network*, welches die mentalen Karten mit den Auffassungen über die Eigenschaften von Orten im Verlauf einer Simulation unter Berücksichtigung von Unsicherheit und den lokalen Gegebenheiten anpasst und damit einen Lernprozess simuliert (Arentze & Timmermans, 2005).

Kombinierte Modellierung von Auswahlmengen und diskreter Entscheidung

Die probabilistische Verfügbarkeit von Alternativen stellt eine weitere Möglichkeit dar, die unterschiedliche Wahrnehmung von Alternativen zu berücksichtigen oder unterschiedliche Informationsstände von Personen abzubilden (J. Swait & Ben-Akiva, 1987). Manski (1977) kombinierte in einem Modell die Wahrscheinlichkeiten des In-Betracht-Ziehens und der Auswahl einer Alternative anhand eines allgemeinen Beispiels. Darauf aufbauend entwickelten Haab and Hicks (1997) ein kombiniertes Modell aus der Entscheidung, dass ein Ziel Teil der Auswahlmenge ist, und der Entscheidung über die tatsächliche Zielwahl. Die Entscheidung, ob ein Ort Bestandteil einer Auswahlmenge ist, ist damit keine exogene, d. h. eine vom Modellierenden definierte Entscheidung. Beide Komponenten bestehen aus multinomialen Logit-Modellen, die Orts- und Personencharakteristiken berücksichtigen. Das Modell betrachtet die Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Auswahlmengenkonfigurationen auftreten, was diesen Ansatz für eine große Menge von möglichen Alternativen sehr rechenintensiv macht. Allerdings zeigte sich eine Verbesserung der Vorhersagequalität.

Ben-Akiva und Boccara (1995) erweiterten diese Idee und modellierten eine explizite Darstellung der Verfügbarkeit basierend auf einer probabilistischen Funktion von Attributen in Kombination mit Erwünschtheitsindikatoren. Auch wenn dies nur auf die Wahl des Verkehrsmittels angewendet wurde, könnte das Konzept auch auf Reiseziele übertragen werden. Ein Effekt, der bei der Anwendung eines probabilistischen Ansatzes auf die Verkehrsmittelwahl zu beobachten war, ist die verbesserte Abbildung von alternativen gebundenen Personen (engl. *Capitive travellers*). Dabei wird deutlich, dass je weniger Personen eine Alternative zur Verfügung steht, desto weniger Auswirkungen haben Änderungen von Attributen der Alternativen auf das Verhalten. Die Elastizität des Modells und damit die Veränderlichkeit des Verkehrsverhaltens durch Maßnahmen war im Vergleich zu einem Modell mit rein grenzwert-basiertem Vorgehen deutlich geringer.

Hannes et al. (2012) untersuchten die mentalen Karten und Entscheidungsprozesse von Befragten auf Basis einer Befragung. Dabei zeigten sie mit Hilfe von *Bayesian Interference Networks* und *Fuzzy Cognitive Maps* Möglichkeiten auf, wie die Entscheidungsprozesse quantitativ erfasst werden können und in aktivitätenbasierten Modellen zum Einsatz kommen können. Als Beispielentscheidung diente die Wahl von Ort und Verkehrsmittel im Rahmen einer Einkaufsaktivität des langfristigen Bedarfes.

Synthese

Die beschriebenen Ansätze haben zum Ziel, sowohl die Entscheidungsprozesse von Personen realistischer abzubilden als auch den Erklärungsgehalt von Modellen und die Prognose zu verbessern (Horowitz & Louviere, 1995). Die meisten Ansätze basieren auf räumlichen und zeitlichen Budgetfaktoren als wichtigsten Determinanten für die Wahl des Reiseziels. Thill (1992) kommt zu dem Schluss, dass die beschränkungsorientierten Ansätze eine höhere empirische Gültigkeit als die übrigen haben und dadurch allgemeiner anwendbar sind. Es wird allerdings kritisiert, dass die Annahmen zur Auswahl der Alternativen auf die Zielwahl aller Personen gleichermaßen angewendet werden (Arentze & Timmermans, 2005; E. J. Miller, 2019). Generell besteht ein substantielles Risiko der Misspezifizierung der Modelle. So zeigte sich etwa für zweistufige probabilistische Modelle, dass die operationalisierten Indikatoren zur Auswahl berücksichtigter Alternativen vielmehr alternativenspezifischen Präferenzen gleichen, als dass sie für die Bestimmung einer Auswahlmenge geeignet sind (Horowitz & Louviere, 1995). Die Bestimmung sollte dementsprechend nicht zu restriktiv gestaltet sein.

4.3 Räumliche Verteilungsmodelle und diskrete Zielwahlentscheidungsmodelle

Modelle von räumlichen Auswahlentscheidungen bauen konzeptuell auf den vorangegangenen Schritten auf. Das Bedürfnis der Ausübung von alltäglichen

Aktivitäten machen Ortsveränderungen notwendig und setzen den Rahmen mit Zeitpunkt und Zweck einer Ortsveränderung. Der Raum mit seinem Verkehrsangebot und den Gelegenheiten zur Aktivitätausübung bestimmt die Auswahlmöglichkeiten. Somit können Modellkomponenten der Raum-Zeit-Geografie (Kapitel 4.1) und der Auswahlmengenmodellierung (Kapitel 4.2) die Ausgangslage für die eigentliche Zielwahl setzen.

Die grundsätzliche Beobachtung, dass das räumliche Verhalten von Personen durch Nähe geprägt ist, wurde in der Theorie der intervenierenden Möglichkeiten (engl. *Theory of intervening opportunities*) beschrieben (Stouffer, 1940). Die Theorie besagt, dass sich die Distanz, die Personen zurücklegen, proportional zu dem zusätzlichen Gewinn an Möglichkeiten für die Durchführung einer Aktivität verhält. Das Zusammenspiel von Attraktivität und Distanz dient als grundlegendes Lösungsproblem für die meisten Zielwahlmodelle.

Gravitationsmodelle und räumliche Interaktionsmodelle

Die Verteilung von Verkehrsströmen auf Basis von Distanz und Struktur ist das Ziel von räumlichen Interaktionsmodellen. Sie kombinieren auf verschiedene Weise Einflüsse der Erreichbarkeit mit Einflüssen der Anziehung bzw. Größe von Orten (Fotheringham & O'Kelly, 1989; Haynes & Fotheringham, 1984; Wilson, 1974). Dabei verknüpfen die Modelle Produktions- und Anziehungs-werte von Verkehrszellen mit dem Aufwand, die entsprechende Entfernung zu überwinden. Die Modelle verteilen Verkehrsströme bzw. aggregierte Ortsveränderungen innerhalb eines definierten Zeitraumes im Raum. Dabei werden die Parameter eines Produktions-, Anziehungs- und Verteilungsmodells mit Regressionsmodellen oder Maximum-Likelihood-Schätzungen auf Basis erhobener Verkehrsströme und Ortscharakteristiken bestimmt (Fotheringham & O'Kelly, 1989). Es stehen dabei unbeschränkte, produktions-, anziehungs- und beidseitig gekoppelte Verteilungsmodelle zur Auswahl (Fotheringham & O'Kelly, 1989).

Die Produktion einer Verkehrszelle wird meist anhand von Bevölkerungscharakteristiken bestimmt. Die Anziehung bzw. Attraktivität einer Verkehrszelle

wird typischerweise über strukturelle Attribute quantifiziert. Die Anziehungsmodelle verarbeiten Flächenmaße, Anzahl und Typologien von Gelegenheiten oder statistische Kenngrößen wie Bevölkerungs- und Beschäftigtenzahlen zu einem Anziehungswert. Dabei können auch abschwächende Einflüsse wie das Fehlen von Parkmöglichkeiten o. ä. berücksichtigt werden. Die Attribute können entweder separat oder mittels einer Linearkombination im Verteilungsmodell integriert werden. Im Falle von Letzterem bietet sich etwa die Berechnung von angezogenen Personen je Zeiteinheit an, die auf Basis von durchschnittlichen Erfahrungswerten basiert (Klinkhardt et al., 2021). Der Aufwand der Ortsveränderung kann ebenfalls über mehrere Merkmale abgebildet werden, wobei Luftliniendistanz, Reisedistanz, Reisezeit und Reisekosten die wichtigsten sind (Schnabel & Lohse, 1997). In den meisten Fällen wird eine Transformation der Merkmale zu einem Widerstand vorgenommen (Schnabel & Lohse, 1997).

Die Kritik an den Modellen ist häufig, dass durch die Aggregation der Wege und die fehlende Zuordnung zu Personen wichtige Erkenntnisse über die ablaufenden Prozesse nicht gewonnen werden können. Daher rücken Zielwahlmodelle in den Fokus, die den Entscheidungsprozess auf individueller Ebene modellieren.

Diskrete Entscheidungsmodelle

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Gravitationsmodellen, welche den Verkehr auf der Ebene von Verkehrsströmen im Raum verteilen, betrachten diskrete Entscheidungsmodelle Ortsentscheidungen einzelner Personen. Hierbei kommen Modellansätze wie in Kapitel 3.4 beschrieben zur Anwendung. Ortsbezogene Entscheidungen sind nicht unbedingt diskret. Die Diskreisierung der Alternativen erfolgt durch eine räumliche Einteilung z. B. in Zonen, eine Definition aller betrachteten Orte und durch eine Eingrenzung des Betrachtungsraumes, sodass eine definierte Anzahl an Alternativen besteht (Daly, 1981).

Ein wichtiger Unterschied zu anderen Entscheidungen besteht darin, dass sich in den meisten Zielwahlen die Auswahlmengen der Personen unterscheiden und die Anzahl der zu schätzenden Parameter zu groß wäre, sodass keine alternativenspezifischen Konstanten angenommen werden können. Der Nutzen einer Alternative wird daher allein über ihre Eigenschaften bestimmt. Innerhalb der Nutzenfunktionen der Modelle können mehrere Einflüsse der Anziehung und der Erreichbarkeit flexibel miteinander kombiniert und interpersonell unterschieden werden. Die Eigenschaften der Orte, die zur Verfügung stehen, beschränken sich auf Attribute der Anziehung wie oben diskutiert, generelle Attribute des Ortes wie Bevölkerungsdichte oder örtliche Dummy-Indikatoren, Widerstandsattribute, demographische Eigenschaften der Person, Attribute der Situation wie etwa Tageszeit oder Wochentag und Feedback-Effekte auf Basis des vorangegangenen Verhaltens (Sivakumar & Bhat, 2007). Zusätzlich können relationsbezogene Effekte wie das aufeinanderfolgende Aufsuchen von Orten in einem urbanen Zentrum bestimmt werden (Jonnalagadda et al., 2001). Neben der einfachen Berücksichtigung der Erreichbarkeit von Orten mit einzelnen Verkehrsmitteln können auch verkehrsmittelübergreifende Kennwerte der Erreichbarkeit zum Einsatz kommen, die mitunter auch die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln personenspezifisch berücksichtigen und Verkehrsmittel- und Zielwahlmodell miteinander verknüpfen. Ein Ansatz hierzu ist die Verwendung von Logsummen, die den natürlichen Logarithmus der Summe der Exponenten der Nutzenwerte der Verkehrsmittelalternativen als Kennwert für die Erreichbarkeit verwenden (De Jong et al., 2007). Sie kamen u. a. bei der Erstellung der aktivitätenbasierten Verkehrsmodelle für San Francisco und Sacramento zum Einsatz (Harb et al., 2022; Jonnalagadda et al., 2001).

Es finden sich Forschungsarbeiten, die die Charakteristiken von Freizeitgelegenheiten konkreter in den Modellen berücksichtigen. Die Arbeit von Peterson et al. (1983) erfasste für eine Reihe von urbanen Erholungsstätten wie Parks und Gärten deren wahrgenommene Eigenschaften wie Anreize/Bildung, Ruhe, Sicherheit und Bewaldung über die individuelle Zustimmung zu attribuierten Eigenschaften. In einem multinomialen Logit-Modell

untersuchten sie den Erklärungsgehalt der Attribute im Rahmen der Zielwahlentscheidungen. Die Distanz erwies sich als stabilste und stärkste erklärende Variable, wohingegen die Einflüsse aus Anreizen/Bildung, Ruhe, Sicherheit und Bewaldung zu teils sinnvollen und signifikanten, aber auch widersprüchlichen Erkenntnissen je nach Zusammenstellung der Alternativen führten. Es zeigte sich deutlich, dass die Orte sich nicht gegenseitig substituieren und dass genestete Strukturen selbst unter ähnlich erscheinenden Naherholungsorten bestehen, die sich auch nicht durch die ergänzten Eigenschaften erfassen ließen.

Diese ist nur eine vieler Studien, die darauf hinweisen, dass die Annahme der Unabhängigkeit von unbekannten Alternativen (IIA) nicht für räumliche Auswahlsituationen gilt. Gründe hierfür liegen unter anderem in der großen Zahl der Alternativen, die nur eingeschränkt von Personen wahrgenommen wird, in der Aggregation von Alternativen, in der Mehrdimensionalität der Entscheidung durch mehrere räumliche Ebenen (z. B. Stadtteil und Gebäude), in der kontinuierlichen Natur des Raumes und in der Unterschiedlichkeit der Auswahlmengen der Personen (Haynes & Fotheringham, 1990). Die kontinuierliche Natur des Raumes führt beispielsweise dazu, dass zwischen näher aneinander liegenden Orten eine größere Konkurrenz besteht. Die räumliche Lage, unabhängig von der Distanz, schafft eine Abhängigkeit der Alternativen und die Orte weisen eine größere Substituierbarkeit auf (Pagliara & Timmermans, 2009). Ebenfalls wird aufgezeigt, dass Informationen von räumlichen Auswahloptionen hierarchisch verarbeitet werden (Fotheringham & Curtis, 2005). Daher wurde argumentiert, dass diskreten Entscheidungsmodellen auf Grund ihrer Unfähigkeit, die Komplexitäten einer räumlichen Auswahl zu berücksichtigen, konkret räumliche Modelle vorgezogen werden sollen (Fotheringham & O'Kelly, 1989; Haynes & Fotheringham, 1990).

Um der Abhängigkeit der Alternativen in der Zielwahl gerecht zu werden, wurden in verschiedenen Studien eine Reihe von Modellen und Modellkomponenten entwickelt, die einen Teil der Abhängigkeit berücksichtigen können. Diese werden in Kapitel 4.4 behandelt. Doch auch ohne diese Möglichkeiten

können die Auswirkungen der Ignoranz der Abhängigkeit durch eine möglichst gute Erfassung der Heterogenität über den systematischen Teil der Nutzenfunktion verringert werden (Haynes & Fotheringham, 1990). Die Substituierbarkeit kann z. B. durch eine detaillierte Einteilung nach Aktivitätentypen oder eine umfassende Berücksichtigung von Ortscharakteristiken realistischer gestaltet werden. Die Arbeit von Cyganski (2020) verbesserte etwa die Einkaufszielwahl dahingehend, dass unterschiedliche Einkaufsarten, insbesondere bei der Charakterisierung der Gelegenheiten, berücksichtigt werden.

Weitere Übersichten über die Modelle, deren Gesamtzusammenhang und deren Anwendung finden sich bei Cascetta et al. (2007) oder Ortúzar S. & Willumsen (2024).

4.4 Modelle mit räumlicher Abhängigkeit der Alternativen

Wie bereits in Kapitel 4.3 erwähnt, gehen viele Studien davon aus, dass Orte nicht voneinander unabhängige Alternativen sind, sondern dass räumliche Abhängigkeiten zwischen ihnen bestehen (Haynes & Fotheringham, 1990). Um der räumlichen Komplexität gerecht zu werden, wurden explizit räumliche Entscheidungsmodelle entwickelt, bei denen Alternativen räumlich und strukturell verglichen werden. Ein einfacher Ansatz ist die Nutzung von räumlichen Ähnlichkeitsmaßen der Alternativen, um deren Abhängigkeit abzubilden. In einem multinomialen Logit-Modell wurden die Alternativen mit einem Ähnlichkeitsmaß auf Grundlage der mittleren Erreichbarkeit aller anderen Orte charakterisiert, womit eine ähnliche Lage beschrieben werden sollte (Borgers & Timmermans, 1988). Ein Ähnlichkeitsmaß auf Basis des mittleren Verhältnisses von Größe und Erreichbarkeit aller anderen Orte charakterisiert das *Competing Destination Model*, welches als Ausgangslage für viele vergleichbare Modelle diente (Fotheringham, 1983). Damit beschreiben beide Ansätze vor allem die Eigenschaft von Orten, aufgrund ihrer räumlichen Lage zu anderen Orten an Sichtbarkeit zu verlieren (Schüssler & Axhausen, 2009).

Neben räumlicher Konkurrenz spielen aber auch Agglomerationseffekte eine Rolle, die komplementäre Funktionen von Orten abbilden können. Als Beispiel kann die komplementäre Funktion von mehreren kulturellen Angeboten aufgeführt werden. Ein Modell mit beiden Anpassungskomponenten findet sich bei Bernardin et al. (2009). Im Gegensatz zu den Ähnlichkeitsmaßen gibt es Modellansätze, die die generelle Unterschiedlichkeit zu allen anderen Alternativen beschreiben (Haynes & Fotheringham, 1990). Die Idee dahinter ist die Charakterisierung von Alternativen mit einem Alleinstellungsmerkmal. Ein weiterer Ansatz besteht darin, Dominanzkennwerte von Orten zu berechnen, die sich aus dem Vergleich von Orten hinsichtlich Attributen wie Erreichbarkeit und Attraktivität ergeben (Cascetta, Pagliara, & Axhausen, 2007; Cascetta & Papola, 2009).

Eine Möglichkeit, in der eigentlichen Zielwahlentscheidung stabile und variablere Verhaltensweisen abzubilden, ist die Berücksichtigung von Korrelation zwischen Auswahlwahrscheinlichkeiten der zur Auswahl stehenden Orte. Modelle, die die Eigenschaft annehmen, dass die Entscheidungen abhängig von unbekannten Alternativen sind – entgegengesetzt der klassischen IIA-Annahme im multinomialen Logit-Modell – schaffen die Möglichkeit, Substitutionsmuster besser abzubilden und z. B. inter- und intrapersonelle Variation der Zielwahl zu beschreiben.

Die Abhängigkeit von Alternativen wird beispielsweise über deren Modellierung in Nester umgesetzt. Bei räumlichen Fragestellungen unterscheiden sich diese Nester allerdings je nach Individuum und dessen betrachteter Alternativen. Daher ist die Festlegung von Nester in der Zielwahl deutlich anspruchsvoller. Eine Lösung ist ein hierarchisches Zielwahlmodell, das eine obere räumliche Ebene (z. B. Stadtteile) als Nester verwendet und über eine Aggregation der Nutzen aller inkludierten Einheiten der unteren Ebene ein Ähnlichkeitsmaß bestimmt und daraus die individuelle Stärke des Nests ableitet. (Haynes & Fotheringham, 1990)

Train (1998) nutzte zur Modellierung von Freizeitortsentscheidungen ein Mixed-Logit-Modell, welches interpersonell variiierende Parameter für

Entferungs- und Ortscharakteristiken ermöglicht. In diesem Modell wird damit ebenfalls eine Abhängigkeit der Alternativen angenommen. Das Modell konnte die Ortsentscheidungen besser erklären als das restriktivere Referenz-Logit-Modell und zeigte über die Schätzung von Parameterverteilungen, dass unterschiedliche Sensitivitäten von Personen gegenüber Distanz und Ortscharakteristiken bestehen, die teils sogar positive und negative Bewertungen von Attributen aufzeigten (z. B. Möglichkeit des Campings an Angelorten).

Von Haefen and Domanski (2018) nutzten ein latentes Klassenmodell, um ebenfalls variierende Attributsensitivitäten von Personen in der Zielwahl zu modellieren. Die Variation wird in dieser Option nicht über eine Verteilung, sondern über klassenspezifische Parametersets und ein Modell zur Bestimmung einer probabilistischen Klassenzugehörigkeit abgebildet.

Generalized Extreme Value Models (GEV) können durch ihre Spezifizierung Korrelationen zwischen den Alternativen abbilden, ohne dass zuvor eine Struktur dieser vorgeben werden muss, wie es etwa bei einem Nested-Logit-Modell erforderlich ist. Diese Eigenschaft erlaubt eine Zielwahlmodellierung mit voneinander abhängigen Alternativen (Bekhor & Prashker, 2008; Bhat & Guo, 2004). Das Modell unterscheidet sich von MNL dahingehend, dass die stochastische Nutzenkomponenten zwar auch identisch, aber voneinander abhängig verteilt sind. Hierfür bestehen unterschiedliche Modellspezifikationen, wozu Bekhor & Prashker (2008) eine Übersicht geben. GEV-Modelle können auch in Kombination mit den oben genannten Konfigurationen eines Mixed-Logit Modells angewandt werden. Die ergänzende Berücksichtigung interpersoneller Heterogenität half zusätzlich der realistischen Abbildung von Landnutzungs-, Infrastruktur und Personeneffekten (Bhat & Guo, 2004). Je nach Spezifikation ergibt sich allerdings eine große Zahl an zu schätzenden Parametern. Die Korrelationen können daher, ähnlich wie zu Beginn des Teilkapitels beschrieben, in Abhängigkeit der Nähe von Orten unter der Annahme modelliert werden, dass sie ähnliche bzw. sich ergänzende Angebote haben oder eine ähnliche Erreichbarkeit besteht. Indem die Art der Ähnlichkeit zur Beschreibung der Korrelationen spezifiziert wird, können u. a. eine

Vorabannahme der Nest-Strukturen in bestimmten Konfigurationen und irreführende Korrelationsmuster vermieden werden (Schüssler & Axhausen, 2009).

Trotz der anfänglichen Beobachtung, dass diskrete Entscheidungsmodelle die Dimension des Raumes nicht ausreichend gut berücksichtigen können, kommen Hunt et al. (2004) zu dem Schluss, dass die Innovationen im Bereich der Entscheidungsmodelle über mehrere Jahrzehnte ausreichend sind, um den Komplexitäten einer räumlichen Auswahl gerecht zu werden.

4.5 Tourenbasierte Zielwahlmodellierung

Verschiedene Erkenntnisse aus empirischen Studien kommen zu dem Ergebnis, dass bei vielen Personen Aktivitätenorte im Alltagsverkehrsverhalten bestehen, die eine zentrale Rolle für die Ortswahl der anderen Aktivitäten spielen (J. O. Huff & Hanson, 1986; Susilo & Kitamura, 2005). Neben den Aktivitätstypen Arbeit und Ausbildung können auch andere Zwecke eine solche Rolle einnehmen. In der aktivitätenbasierten Modellierung der Verkehrsnachfrage wird auf diese Einflüsse eingegangen, indem Wege innerhalb von Touren modelliert werden. Dabei beinhaltet eine Tour alle Wege zwischen zwei Zu-Hause-Aktivitäten. Sowohl in der Zielwahl als auch in der Verkehrsmittelwahl erfolgt in diesem Kontext zuerst die Wahl für die primäre Aktivität (z. B. Arbeit) und darauffolgend, in Abhängigkeit dieser, die Wahl der sekundären Aktivitätenorte und entsprechenden Verkehrsmodi. Solchen Modellen wird eine bessere Genauigkeit und ein größerer verhaltensbezogener Realismus zugeschrieben (Daly, 1981). Ein entsprechendes Zielwahlmodell wurde u. a. für San Francisco umgesetzt (Jonnalagadda et al., 2001).

4.6 Längsschnittorientierte Zielwahlmodellierung

In der Analyse des räumlich-zeitlichen Verhaltens kann zu einem gewissen Maße systematische Variabilität beobachtet werden, sodass das Wissen um den Zeitpunkt und Ort einer vorangegangenen Aktivität die Vorhersagen der nächsten Aktivität ermöglicht (J. Huff & Hanson, 1990). Die systematische Variabilität machen sich verschiedene Modellansätze zu Nutze, um innerhalb von Touren konsistente Orte auszuwählen oder zurückliegende Entscheidungen und damit Wiederholungen zu berücksichtigen. Das zurückliegende Verhalten wird dabei verwendet, um zukünftiges Verhalten vorauszusagen. Die Annahme, dass Zielwahlentscheidungen zeitlich abhängig voneinander sind, wird von den Wahlmodellen aufgegriffen, indem ein dynamischer Rückbezug auf zuvor simulierte Verhaltensmuster geschieht.

Mehrere Beispielmodelle, die auf die Wahl von sekundären Aktivitäten wie Einkauf und Freizeit angewandt wurden, beinhalten eine zeitliche Abhängigkeit zwischen den Entscheidungen, indem entweder zeitspezifische Parameter integriert werden (Tardiff, 1979) oder indem der Einfluss vergangener Entscheidungen auf die gegenwärtigen Entscheidungen untersucht wird (Adamowicz, 1994; E. J. Miller & O'Kelly, 1983; Sivakumar & Bhat, 2007). Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss von objektiven Attributen wie Erreichbarkeit und Attraktivität durch die Einbeziehung der Zeitabhängigkeit abnehmen kann (E. J. Miller & O'Kelly, 1983) und dass sowohl habitualisierende als auch variationspräferierende Effekte zu beobachten sein können (Adamowicz, 1994). Die zeitliche Abhängigkeit der Zielwahl von vorangegangenen Entscheidungen kann zusätzlich in den Kontext der Simulationsdauer gesetzt werden. Wenn ein Ziel zuvor schon einmal gewählt wurde, weist der räumliche Wiederholungsindikator einen höheren Wert mit zunehmender Dauer seit der letzten Auswahl, relativ zur aktuellen Simulationsdauer auf (Schüssler & Axhausen, 2009). Vorgeschlagen wird dabei, auch nahe und ähnliche Orte zu berücksichtigen.

Das zurückliegende Verhalten kann zudem die Grundlage bieten, um die Neigung zu Variation bei Zielwahlentscheidungen zu berücksichtigen (Borgers et al., 1989). In der Studie wurden ortspezifische Veränderungswahrscheinlichkeiten der Zielwahl unter Berücksichtigung der Ähnlichkeit der Alternativen modelliert. Die Anwendung erfolgte am Beispiel der Zielwahl von Naherholungsaktivitäten. Kagerbauer et al. (2015) entwickelten ein zweistufiges Zielwahlmodell für alle flexiblen Aktivitätentypen (Einkauf, Freizeit, Holen und Bringen), welches ein Längsschnittmodell und ein Zielwahlmodell kombiniert. Das erste Modell entscheidet, ob ein neues Ziel für einen bestimmten Zweck gewählt werden soll oder ob auf ein bestehendes Ziel zurückgegriffen werden soll. Das eigentliche Zielwahlmodell entscheidet dann, basierend auf einem klassischen Zielwahlausatz, welches der bestehenden oder neuen Ziele eines Zwecks gewählt werden soll. Deutliche Einflüsse auf die Wahl eines neuen Ziels im Längsschnittmodell fanden sich lediglich im Wohnort, in der Zahl der Aktivitäten und im vorangegangenen Zweck.

Viele der Modellansätze beinhalten das Problem der fehlenden Informationen für die ersten Wege und der Alterung im Laufe der Betrachtung (E. J. Miller & O'Kelly, 1983). Damit sind die Modelle zum einen stark abhängig von der Dauer der Betrachtung des Verhaltens im Längsschnitt und zum anderen ergeben sich stärkere Pfadabhängigkeiten für die Agenten in einer Simulation.

4.7 Charakterisierung von Ortspräferenzen

Die Konzepte und Modelle der bisherigen Kapitel 4.4, 4.5 und 4.6 nutzen Ortscharakteristiken, veränderte Modellannahmen und eine Betrachtung des Verhaltens im Längsschnitt über Touren bzw. die Wiederholung des Verhaltens, um die räumlichen Entscheidungen besser erklären zu können. Die in diesem Teilkapitel beschriebenen Konzepte und Modelle betrachten hingegen konkret die Verbindung von Person und Ort, um individuelle Verhaltensweisen zu erklären.

Beginnend dienen die Arbeiten von Puhe (2023) und Puhe et al. (2024) einer Gesamtbetrachtung. Sie beschreiben ein Zielwahlmodell, in welchem die Wahl neben Erreichbarkeit und Attraktivität insbesondere von der Beziehung geprägt ist, die in einer Situation für eine Aktivität aktiviert wird. Die Individuen sind dabei eingebettet in aktivitätspezifische Beziehungsnetzwerke, die für das Ausführen der Aktivitäten genutzt werden können und mit ihren Eigenschaften der zeitlichen Anpassungsfähigkeit, räumlichen Flexibilität, Verbindlichkeit und Motivation einen Einfluss auf die Zielwahl ausüben. Beziehungen bestehen in diesem Modell zu Personen, korporativen und kollektiven Akteuren und anderen Orten. Das Modell unterscheidet Beziehungs- und Zielwahl und jeweils einen automatisierten und reflektierten Modus. In der Beziehungswahl wird angenommen, dass ein Individuum automatisiert entscheidet, wenn in einer Situation entweder nur eine passende Beziehung zur Verfügung steht oder wenn eine Beziehung besteht, die in dieser Situation eine hohe Verbindlichkeit aufweist. In anderen Fällen entscheidet es reflektiert und wägt den Nutzen der Beziehungen gegeneinander ab. Darauf folgt die Zielwahl. Je nach Beziehung ist entweder ein konkreter Ort mit ihr verknüpft, sodass dieser direkt gesetzt ist, oder es sind mehrere Orte möglich, wobei Attraktivität und Erreichbarkeit in der Abwägung entscheiden. Das Modell geht ebenfalls auf veränderte Situationen im Verkehrsgeschehen, sogenannte Störungen einer Alltagskonfiguration, ein, die als Auslöser für eine reflektierte Überprüfung der Ortsgebundenheit fungieren. Hier entscheidet die Selbstbestimmtheit, also die Motivation, darüber, ob die Beziehung überdacht wird. Die Annahme ist, dass fremdbestimmte Beziehungen im Falle einer Störung weniger persistent sind.

Einige Arbeiten erfassen Beziehungen zu Orten über einstellungsisierte Fragen und nutzen das Konzept des Ortssinns (vgl. Kapitel 2.2.5) oder ähnliche Theorien als Grundlage für die Erfassung der Mensch-Ort-Interaktion. Diese empirischen Grundlagen wurden genutzt, um Ortsentscheidungen besser erklären zu können. Zu Ortspräferenzen von Einkaufsorten des langfristigen Bedarfs finden sich mehrere Studien. Koppelman & Hauser (1978) erhoben für sieben bekannte Einkaufsmöglichkeiten individuelle Bewertungen auf 16

Skalen und modellierten in einem kombinierten Präferenz- und Entscheidungsmodell die Einkaufzielwahl. Die Faktoren der Präferenz beschrieben Auswahl und Qualität des Angebotes, Kosten und Parkmöglichkeiten. Die Ortspräferenzen verbesserten die Entscheidungsmodelle, die Erreichbarkeit blieb dennoch ein wichtiger Faktor. In weiteren Studien wurde das Konzept des Ortssinns in der Modellierung von Ortspräferenzen von Personen angewandt (K. Deutsch & Goulias, 2010; K. Deutsch et al., 2013). Die sechs dort gebildeten Faktoren umfassten Verbundenheit, Abhängigkeit, Identität, Zufriedenheit, Atmosphäre und Gemeinschaftssinn. In einem binären Logit-Modell zeigte sich eine deutliche verbesserte Modellqualität durch die Nutzung der ortsbezogenen Präferenzen der Personen über vereinfachende Dummy-Attribute der Einstellungen (K. Deutsch & Goulias, 2010).

Mit Blick auf die Veränderlichkeit stabiler Zielwahlmuster sind diese Informationen wichtig, um die Kausalitäten zu verstehen. Puhe, Briem und Vortisch (2020) stellten fest, dass Veränderbarkeit zu einem großen Anteil von der Art der Beziehung abhängt. Für die Modellierung des Lebensmitteleinkaufs nutzten sie Erkenntnisse aus einer qualitativen Studie, um sowohl das Vertrauen in Personen als auch das Vertrauen in Marken bzw. Einkaufsketten zu beschreiben. Mit einer Übertragung dieser Beziehungscharakteristiken auf eine bestehende modellierte Zielwahl erstellten sie ein synthetisches Beziehungsgeflecht, welches in weiteren Simulationen zum Einsatz kam. Dort beeinflussten die Charakteristiken der Beziehungen die Veränderlichkeit der Zielwahl. Im Falle einer Maßnahmenprognose einer autofreien Innenstadt konnten unterschiedliche Grade der Veränderlichkeit beobachtet werden, insbesondere beim Vergleich von fehlenden Beziehungen und personenbasierten Beziehungen. Dies deutet darauf hin, dass die Veränderlichkeit des Verhaltens von den Ortspräferenzen und der Art der Beziehung abhängig ist.

Eine Festlegung von Ortsbeziehungen kann aber auch ohne vorangehende Simulation des Verkehrs mit dafür geschätzten Modellen geschehen. Kuhnimhof modellierte mit Hilfe von Gravitationsmodellen Routineziele und Nichtroutineziele für Freizeit und Einkaufen unter Annahme einer teilweise

stabilen Zielwahl in diesen Aktivitätentypen (T. Kuhnimhof, 2007). Dabei wurden vor Durchführung der Simulation unter Bewertung von Widerstand ausgehend von Heim- und Arbeitsort und Anziehung Orte ausgewählt. Diese wurden in der anschließenden Simulation nach situativer Eignung ausgewählt. Es wurden je nach soziodemografischen Eigenschaften vier bis sechs Ziele zugewiesen, aus denen später ausgewählt werden konnte. In einer Validierungssimulation für eine Woche wurde ein nahezu realistisches Maß an intrapersoneller Varianz der Verkehrsleistung und eine realistische Anzahl an insgesamt aufgesuchten Orten erreicht.

Eine Beziehung zu einem Ort kann mitunter auch durch das beobachtete Verhalten charakterisiert werden. Die Idee, dass Verhaltensindikatoren als exogene Einflüsse modelliert werden können, um das Verhalten in Verkehrsmodellen besser abzubilden, kam bereits im Kontext der Multimodalität auf (Diana & Pirra, 2016; T. G. Kuhnimhof, 2009). Daher ist dies auch für eine Zielwahlmodellierung zu prüfen. Die Analyse von Verkehrserhebungen im Längsschnitt ermöglicht die Charakterisierung von Zielen nach der Struktur und Regelmäßigkeit des Aufsuchens, wozu in Kapitel 2.3 eine Übersicht gegeben wird.

Eine Anwendung, die einen Schritt in diese Richtung geht, findet sich in einer niederländischen Studie (Chowdhury et al., 2020). Dort wurden in einem Zeitraum von jeweils vier Wochen in den Jahren 2014 und 2015 besuchte Ziele von Personen beobachtet und nach wiederholtem Auftreten gruppiert. Hier fanden ebenfalls die Indikatoren aus Kapitel 2.3.1. Anwendung. Mittels eines Mixed-Logit-Modells wurden sowohl Einflüsse von Personen, Wege und Umfeldeigenschaften als auch intrapersonelle Variation auf die mit Indikatoren gemessene Stabilität von Zielen untersucht. Als diskrete Alternativen dienten Wertebereiche des SRI, die von niedrig bis hoch klassifiziert wurden. Es zeigten sich deutliche Einflüsse auf allen Ebenen, wobei für die modellseitige Anwendung vor allem soziodemografische und umfeldbezogene Einflüsse von Relevanz waren. Einflüsse des gewählten Verkehrsmittels, des Wetters und des Zeitpunktes spielen in der kurzfristigen Perspektive eine Rolle. Damit

zeigen sich Zusammenhänge zwischen individuellen Charakteristiken und der ortsbezogenen Verhaltensstabilität. Deren Einfluss auf kurzfristige Verhaltensentscheidungen ist in weitergehender Forschung zu überprüfen.

4.8 Synthese

Das Ziel dieser Arbeit ist die Modellierung der Zielwahl in einem Verkehrs-nachfragemodell mit einem Fokus auf die Stabilität dieser Entscheidungen. Die Modellierung soll umfassend auf alle Kontexte von Aktivitätentypen anwendbar sein und die individuellen Situationen und Rahmenbedingungen von Personen sinnvoll abbilden.

Die Gesamtbetrachtung der verschiedenen Teilbereiche der Modellierung der Zielwahl zeigt auf, dass die Modelle über verschiedene Ansätze den tatsächlichen Entscheidungsprozessen von Individuen angeglichen werden sollen. Die Bestimmung der Auswahlmenge grenzt wahrgenommene und erreichbare Ziele ein und die Annahme von abhängigen Alternativen berücksichtigt ähnliche Lagen und Charakteristiken von Orten. Die Betrachtung auf der Ebene von Touren führt zu einer stärkeren Konsistenz des Verhaltens mit den verbindlichen Aktivitäten des Alltags und die persönlichen Ortspräferenzen geben ein besseres Verständnis für individuelle Gründe des Aufsuchens von Orten. Dabei verbessern die realistischere Zusammenstellung der Auswahlmenge, die Berücksichtigung der Raum-Zeit-Geografie, realistischere Modellannahmen und die möglichst umfangreiche Charakterisierung der Orte insbesondere den Erklärungsgehalt der Modelle. Mit Ausnahme der längsschnittorientierten Modelle aus Kapitel 4.6 fokussieren sich aber fast alle Modelle darauf, die situative Wahl mit einem geeigneten Modell sinnvoll abbilden zu können. Die Analyse und Modellierung des räumlichen-zeitlichen Verhaltens über mehrere Tage und Wochen und damit ein modellseitiges Verständnis für die Strukturen und Dynamiken der Ortswahl ist, u. a. auch aufgrund des hohen Aufwandes und fehlender Datengrundlage, selten anzutreffen. Daher ist das Thema Stabilität des Verhaltens nicht oder nur in wenigen Ansätzen

berücksichtigt. Nichtsdestotrotz wird erwartet, dass besser spezifizierte Modelle ebenfalls bessere Aussagen zur Stabilität von Zielwahlentscheidungen treffen können.

Der überwiegende Teil der Modelle wird mit einem thematischen oder räumlichen Fokus erstellt. Das bedeutet zum einen, dass nur Teilbereiche von Aktivitätstypen abgedeckt werden (z. B. die Ortswahl zur Naherholung oder zum Angeln) oder nur ausgewählte und vorab definierte Orte bei der Charakterisierung und Auswahl relevant waren. Die Modelle zeigen damit, dass bestimmte Zusammenhänge mit den entwickelten Ansätzen abbildungbar sind, eine generelle Anwendbarkeit wird dadurch aber nicht geschaffen.

Folgende Aspekte der letzten Teilkapitel werden als besonders relevant für die weitere Berücksichtigung in den Modellen gesehen:

- Die Stabilität und Variabilität des Zielwahlverhaltens ist nur analysierbar, wenn Aktivitäten einer Person zugeordnet werden können. Daher ist zwingend eine mikroskopische und aktivitätenbasierte Modellierung notwendig.
- Die Beobachtung, dass Reisezeit und Zeitfenster zur nächsten festen Aktivität in einem bestimmten Verhältnis stehen (vgl. Kapitel 4.1), lässt sich auf die Modellierung übertragen. Die umfassende Abbildung von raum-zeit-geografischen Prinzipien erscheint allerdings für diesen Anwendungsfall nicht verhältnismäßig.
- Die Wahrnehmung der Alternativen durch Personen hat modellseitig weniger einen Einfluss auf die individuelle Auswahlmenge, sondern kann vielmehr als Präferenz für einen Ort abgebildet werden (vgl. Kapitel 4.2).
- Aktuell zur Verfügung stehende diskrete Entscheidungsmodelle sind im Stande, die Komplexität von räumlichen Auswahlentscheidungen durch die Annahme der Abhängigkeit der Alternativen zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 4.4).

- Mit dem historischen Verhalten lassen sich weitere Entscheidungen besser erklären (vgl. Kapitel 4.6). Dies betrifft sowohl Routinen als auch variationssuchendes Verhalten. Allerdings entwickelt sich dieser Einfluss, wodurch die Effekte pfadabhängig sind.

Mit den vorliegenden Erkenntnissen wird im Weiteren darauf abgezielt, ein Zielwahlmodell zu erstellen, welches über mehrere Wochen beobachtetes Verhalten nutzt, um kurzfristige Entscheidungen besser erklären zu können. Damit soll es zum einen eine historische Perspektive haben und zum anderen durch die Analyse des Verhaltens und die Bildung von ortsbezogenen Verhaltensindikatoren Ortspräferenzen erstellen, um einen individuellen Rahmen für die Zielwahlentscheidungen zu schaffen.

Des Weiteren wird es als wichtig angesehen, die Arbeiten von Kapitel 4.7 fortzuführen und mit einem übergreifenden Erhebungskonzept zur Erfassung der Mensch-Ort-Interaktion die Grundlage für ein besseres Verständnis der Beziehung und eine bessere Erklärung des Verhaltens bereitzustellen.

5 Empirische Grundlagen des räumlich-zeitlichen Verhaltens

Die Analyse und Modellierung des räumlich-zeitlichen Verhaltens von Personen erfordert eine geeignete Datengrundlage. Dazu bieten sich verschiedene Erhebungsmethoden an, die allesamt ihre Vor- und Nachteile hinsichtlich des Umfangs, der Granularität und der Qualität der Informationen und des Aufwandes für die Berichtenden mit sich bringen. Im Folgenden wird auf aktivitäten- bzw. wegebasierte Erhebungen und die Erhebung von Orten eingegangen. Aktivitäten- bzw. wegebasierte Erhebungen erfassen das räumlich-zeitliche Verhalten im Längsschnitt. Sie stellen die verbreitetste Methode der empirischen Mobilitätsforschung dar und haben sich als Datengrundlagen für die Erstellung von Verkehrsnachfragermodellen etabliert. Es wird dabei genauer auf die MOBIS-Erhebung eingegangen, die eine wichtige Grundlage für die weiteren Analysen in dieser Arbeit darstellt. Daran anschließend wird auf Erhebungen eingegangen, die lediglich die Aktivitätenorte betrachten. Dieser Ansatz ermöglicht es, aufgrund des reduzierten Erhebungsdesigns detaillierter und individueller auf Verhaltensweisen und Beziehungseigenschaften von Aktivitätenorten einzugehen. Ein hier zuzuordnendes Erhebungskonzept wurde in dieser Arbeit neu entwickelt und eine entsprechende Piloterhebung wird beschrieben, die es im Weiteren ermöglicht, die Ortsbeziehungen von Personen in ihrem Freizeitalltag zu untersuchen.

Zuletzt wird mit der Durchführung einer Datenfusion eine Möglichkeit aufgezeigt, wie die Ergebnisse beider Erhebungsmethoden zusammengeführt werden können. Damit können die Stärken beider Erhebungsmethoden, zum einen die detaillierte Erfassung von räumlich-zeitlichen Aktivitätenmustern und zum anderen die individuelle Erfassung der Motivation und Hintergründe einer Mensch-Ort-Interaktion, in einem kombinierten Datensatz zusammengefasst werden.

5.1 Aktivitäten- oder wegebasierte Erhebung des räumlich-zeitlichen Verhaltens im Längsschnitt

Das Mobilitätsverhalten von Personen wird meist durch die Analyse von Aktivitäten und Ortsveränderungen beschrieben. Entsprechend nehmen Mobilitätserhebungen diese Betrachtungsperspektive ein und erfassen Aktivitäten und Wege einer Person über einen definierten Zeitraum. Beispiele hierfür sind nationale Erhebungen wie *Mobilität in Deutschland (MID)* oder das *Deutsche Mobilitätspanel (MOP)* (infas et al., 2025; Chlond et al., 2024). Die Betrachtung des Mobilitätsverhaltens im Längsschnitt schafft dabei ein besseres Verständnis für die vorhandenen Dynamiken und Variationen (E. J. Miller, 1999). Das Verhalten variiert intrapersonell von Tag zu Tag, von Werktag zu Wochenende und von Woche zu Woche. Neben der Analyse von generellem Verkehrscharakteristiken und dem interpersonellen Vergleich ermöglichen Längssnitterhebungen die Analyse von Wiederholungsmustern, Veränderungen über die Zeit und seltenen Mobilitätsereignissen (Schönenfelder & Axhausen, 2016). Damit kann die gesamte Heterogenität des Zielwahlverhaltens besser erfasst werden als mit Querschnittserhebungen eines Tages. Im Folgenden wird eine beispielhafte Übersicht über bestehende Erhebungsgrundlagen gegeben und im Detail auf die verwendete wegebasierte Datengrundlage eingegangen.

5.1.1 Bestehende Erhebungen des räumlich-zeitlichen Verhaltens im Längsschnitt

Geeignete Erhebungsgrundlagen für die Analyse der räumlich-zeitlichen Verhaltens finden sich in Tagebucherhebungen. Davon unabhängig ist die Erhebungsmethode. Es können papierbasierte oder digital unterstützte Tagebücher oder passive Erhebungsmethoden z. B. mittels einer ortungsbasierten Nachverfolgung genutzt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei vor

allem der Längsschnitt. Ebenfalls bieten Zeitnutzungserhebungen eine passende Datengrundlage, sofern sie eine ausreichende Dauer aufweisen und die räumlichen Informationen von Aktivitäten miterfassen. Ein Beispiel ist die vierwöchige Zeitnutzungserhebung *TimeUse+* aus der Schweiz (Winkler et al., 2024).

Im Folgenden findet sich eine Übersicht über Längsschnittverkehrserhebungen mit einer Dauer von mindestens sieben Tagen. Eine Übersicht mit weiteren Mehrtageserhebungen findet sich bei Buliung et al. (2008). Innerhalb der Übersicht findet sich mit der *MOBIS*-Studie die in dieser Arbeit hauptsächlich verwendete wegebasierte Verkehrserhebung (Molloy et al., 2023). Für einzelne Aspekte wird ebenfalls die *mobidrive*-Erhebung verwendet (Axhausen et al., 2002).

Tabelle 5: Übersicht von Verkehrserhebungen mit Dauer mehrerer Wochen

Name	Jahr	Eigenschaften	Quelle
Cedar Rapids	1959	30 Tage, 262 Haushalte	Marble und Bowlby (1968)
Uppsala Household Travey Survey (UHTS)	1971	5 Wochen, 149 Personen	Hanson & Huff (1981)
Reading Activity Survey	1973	7 Tage, 145 Personen	Shapcott (1978), Pas (1987)
Deutsches Mobilitäts-panel (MOP)	1994 - 2023	7 Tage, 3.000 Personen, 2 Freizeitkategorien (jährl.)	Chlond et al. (2024)
Lexington GPS-Erhebung	1996	7 Tage, 216 Personen, 2 Freizeitzwecke	Battelle Transportation Division (1997)
Mobidrive, Karlsruhe u. Halle	1999	6 Wochen, 317 Personen, 12 Freizeitzwecke	Axhausen et al. (2002)
Freizeitstudie, Zürich	2002	12 Wochen, 71 Personen, 18 Freizeitkategorien	Schlisch, Simma, et al. (2004)
Thurgau-Erhebung	2003	6 Wochen, 230 Personen, 12 Freizeitzwecke	Löchl et al. (2005)
Toronto Travel Activity Panel Survey	2004	7 Tage, 453 Personen, 3 Freizeitzwecke	Roorda und Miller (2004)
Ghent-Erhebung	2008	7 Tage, 707 Personen, 3 Freizeitzwecke	Castaigne et al. (2009) Raux et al. (2016)
MOBIS-Studie, Schweiz	2019	8 Wochen, 3.680 Personen, 1 Freizeitzweck	Molloy et al. (2023)

5.1.2 MOBIS-Erhebung

Die MOBIS-Studie wurde 2019 und 2020 zur Wirkungsuntersuchung von Maßnahmen der Preisgestaltung von Verkehrsangeboten durchgeführt (Molloy et al., 2023). Das randomisierte kontrollierte Experiment wurde mit Hilfe einer smartphonegestützten ortungsbasierten Nachverfolgung durchgeführt und fand in Agglomerationsbereichen der deutsch- und französischsprachigen Schweiz statt. Für die Hauptstudie wurden Briefeinladungen zur Teilnahme an 60.000 zufällig gezogene Adressen versandt. In einer zweiten Welle wurden ergänzend weitere 30.000 Adressen eines privaten Erhebungsinstitutes

kontaktiert. Für die Teilnahme wurde ein Incentive von 100 CHF geboten. Folgende Kriterien galten für die Teilnahme an der Studie:

- Nutzung eines Pkws (als Fahrende oder Mitfahrende) mindestens zwei Mal die Woche
- Alter zwischen 18 und 65 Jahren
- muss in der Lage sein, ohne Hilfe zu gehen
- Besitz eines Smartphones
- Tätigkeit beinhaltet keine Fahr- oder Lieferdienste

Dementsprechend ist die Stichprobe durch ein beschränktes Alter, eine stärkere Urbanität, einen vermehrten Pkw-Besitz, aber auch damit einhergehend durch einen höheren Bildungsgrad, höheres Einkommen, vermehrte Berufstätigkeit und Ausbildung und höheren Zeitkartenbesitz als der gesamtschweizerische Durchschnitt geprägt. Ein vollständiger Vergleich der Stichprobe mit dem Schweizer Mikrozensus findet sich bei Molloy et al. (2023). Die Anzahl der vollständigen Teilnahmen an der Studie beträgt 3.690, was einem Anteil von 4,1 % der Einladungen entspricht. Der Anteil der Teilnahmen an der Initiabefragung beträgt 23,7 % und der Anteil nach Auswahl der Personen und Zustimmung zur passiven Datenerhebung beträgt 4,6 %. Es wurden lediglich Einzelpersonen und keine vollständigen Haushalte angeworben. Aktivitäten, Aktivitätentypen und die genutzten Verkehrsmittel wurden von der Tracking-App erkannt und die Teilnehmenden wurden gebeten, diese zu vervollständigen und zu korrigieren. Dazu wurden wöchentliche Erinnerungen versandt. Mithilfe der Tracking-App wurde im Vergleich zu einem manuellen Berichten der Berichtsaufwand deutlich reduziert. Die Verbleibquote in der Studie betrug nach den acht Wochen noch mehr als 80 %, was für eine gute Durchführbarkeit der Studie für die Teilnehmenden spricht.

Die Datengrundlage der MOBIS-Studie ist aufgrund des Betrachtungszeitraums von acht Wochen, ihrer großen Stichprobe und ihrer Aktualität für diese Arbeit geeignet. Ein Teil der Stichprobe unterlag aufgrund des Experiments anderen preislichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Wahl des

Verkehrsmittels. Unter der Annahme, dass die Rahmenbedingungen nur die Verkehrsmittelwahl der Teilnehmenden beeinflussten, nicht aber die Gestaltung der Aktivitäten und das räumliche Verhalten, wird die gesamte Stichprobe in dieser Arbeit berücksichtigt.

Die Datengrundlage umfasst u. a. Datensätze der Teilnehmenden, der Aktivitäten und der Etappen. Von den Teilnehmenden sind eine Vielzahl soziodemografischer Eigenschaften wie Alter, Geschlecht, Berufstätigkeit und deren Nutzungsmöglichkeiten von Verkehrsmitteln bekannt. Die Aktivitäten sind durch ihren Ort, Zeitpunkt, Dauer und Aktivitätentyp charakterisiert, die Etappen der Wege durch Start- und Zielort, Distanz, Reisezeit und Verkehrsmittel.

Aktivitätenorte sind davon abhängig, auf welcher räumlichen Ebene übereinstimmende Orte beurteilt werden können. Die Ortsinformationen der MOBIS-Erhebung liegen als Punktkoordinaten vor. Zum Zwecke der Anonymisierung der Ortsinformationen bestehen allerdings nur Informationen auf Rasterebene mit einer Zellenweite von 100 m. Die Rasterzellen werden als grundlegende räumliche Einheit für die folgenden Analysen gewählt. Aktivitätenorte werden in Abhängigkeit des Aktivitätentyps definiert. Aufeinanderfolgende Aktivitäten am selben Aktivitätenort wurden zu einer Aktivität aggregiert.

In der verwendeten Stichprobe wird zwischen den Aktivitätentypen Arbeit, Ausbildung, Einkauf, private Erledigung, Holen und Bringen, Warten, zu Hause und sonstigem differenziert. Damit ist lediglich eine Freizeitkategorie vorhanden. Deshalb werden die detaillierten Freizeitkategorien Kultur, Vereins- und Gruppenaktivitäten, private Besuche und Sport und Erholung durch ein statistisches Verfahren ergänzt (vgl. Kapitel 5.3). Eine detaillierte Einteilung des Aktivitätentyps ermöglicht eine verbesserte Differenzierung von stabilen und variablen Verhaltensweisen. Beispielsweise konnte bei der Analyse der Multimodalität ein hoher Einfluss des Aktivitätentyps auf die Stabilität und Variabilität beobachtet werden (An et al., 2023).

Folgende Kriterien wurden für die Auswahl der Personen-, Aktivitäten- und Aktivitätenortstichprobe für die Untersuchungen in dieser Arbeit verwendet.

Alle Kriterien müssen erfüllt sein, sodass eine Person mit ihrer Mobilität in der verwendeten Stichprobe verbleibt.

- Person
 - Vollständige Teilnahme an der Studie
 - Wohnort innerhalb der Schweiz¹
 - Arbeitsort oder Ausbildungsort innerhalb der Schweiz oder bis maximal 20 km entfernt im Ausland²
- Aktivitätenort
 - Freizeitaktivitätenorte maximal 100 km vom Wohnort entfernt³
 - Vollständige Distanz- und Reisezeitinformationen zu Wohn- und Arbeitsort bei Nutzung der Google-Maps-API
- Aktivität
 - Verfügbare Aktivitäten über mindestens 42 Tage
 - Mindestanzahl von einer Ortsveränderung pro Tag im Mittel⁴
 - Anteil fehlender Angabe des Aktivitätentyps kleiner 5 %
 - Maximale Dauer einer Freizeitaktivität von 24 Stunden
 - Maximale Dauer einer Einkaufsaktivität von 20 Stunden
 - Mindestens eine Aktivität pro Woche zu Hause

Im aufbereiteten Datensatz verbleiben 1.310 Personen mit 34.720 Aktivitätenorten und 54.443 Aktivitäten des Aktivitätentyps Freizeit im Datensatz zur Analyse und Modellierung der Zielwahl.

¹ Kriterium bei der Rekrutierung

² Ausschluss zur Sicherstellung der Datenverfügbarkeit

³ Annahme, dass unter 100 km Alltagsverkehr besteht

⁴ Ausschluss von Teilnehmenden mit längerer Unterbrechung des Trackings

5.2 Erhebung von Ortsbeziehungen

Die Erhebung des räumlich-zeitlichen Verhaltens von Personen kann neben der Erhebung aller Ortsveränderungen im Laufe eines Zeitraumes ebenfalls über die Erhebung von Aktivitätenorten aus der Retroperspektive durchgeführt werden. Durch den Wechsel der Erhebungsperspektive kann der Aufwand für die Berichtenden deutlich reduziert werden, da lediglich Orte und deren Charakteristiken berichtet werden müssen. Zugleich geht allerdings die detaillierte Längsschnittperspektive und damit die Möglichkeit verloren, Verhaltensrhythmen und Wiederholungsmuster zu untersuchen. Im Folgenden wird die Konzeption und Durchführung einer solchen Erhebung beschrieben. Dazu wird zu Beginn eine literaturbasierte Übersicht über die Möglichkeiten der Charakterisierung von Aktivitätenorten im Mobilitätskontext gegeben. Darauf aufbauend wird die Konzeption eines Fragebogens und die Durchführung einer Piloterhebung beschrieben.

5.2.1 Bestehende Arbeiten zu Ortserhebungen und der Charakterisierung von Orten

Erhebungsmethoden in der Verkehrsverhaltensforschung fokussieren sich vorrangig auf gesamtverkehrliche Kenngrößen wie Aktivitätenhäufigkeit, Verkehrsaufkommen und -leistung in der Kombination mit Verkehrszwecken und -mitteln. Ortsinformationen des Verhaltens werden in solchen Erhebungen zwar teils erhoben und Lagecharakteristiken wie z. B. die ÖPNV-Erschließungsqualität ergänzt. Charakteristiken der Mensch-Ort-Beziehung bleiben mit Ausnahme des Ausbildungs- oder Arbeitsverhältnisses aber außen vor. Es ist nur selten von Interesse, welche Rolle bestimmte Orte im Kontext der Alltagsmobilität einer Person spielen.

Eine Ausnahme sind die sechswöchigen Erhebungen in Karlsruhe, Halle und im Schweizer Thurgau, in der die Befragten ihre festen Termine, Verpflichtungen außerhalb ihres Wohnortes und ihr soziales Netzwerk berichteten und

damit Ortsveränderungen in den Kontext dieser Ortsbeziehungen gesetzt werden können (Axhausen & Fell, 2000; Löchl et al., 2005). Ein speziell auf die Erhebung von Aktivitätenorten ausgerichteter Erhebungsansatz ist der Orts-generator und -interpretierer (engl. *Place generator and interpreter*) (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b). Der Erhebungsansatz ist an die Namensgeneratoren der sozialen Netzwerkanalyse angelehnt und lässt die Befragten ihre regelmäßig besuchten Orte einer Aktivität berichten. Dabei werden Informationen zu den Orten abgefragt, die auf die Gründe für das Aufsuchen des Ortes abzielen (u. a. Kosten, Qualität des Angebots, Möglichkeit der sozialen Interaktion, typischer Personenkreis vor Ort) und damit latente Konstrukte der Zielwahl abbilden. In den Ergebnissen der Studie zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gründen für das Aussuchen der Orte je nach Freizeitzweck. Während Restaurants beispielsweise vor allem an der Qualität des Angebots gemessen werden, sind für Parks eine bequeme Erreichbarkeit ausschlaggebend. In einem Vergleich mit einer Tracking-Erhebung wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Distanzverteilungen der Aktivitätsorte festgestellt. Die Autoren wiesen aber auf subjektive Wahrnehmungsunterschiede bei der Unterscheidung von regelmäßigen und unregelmäßigen Aktivitäten und die Abhängigkeit von der Erinnerungsfähigkeit der Befragten hin, die die Qualität der Datengrundlage beeinflussen können.

In anderen nicht-ortsbasierten Erhebungen werden weitere Ansätze zur Charakterisierung von Aktivitäten oder Wegen angewendet, die sich auf Ortserhebungen übertragen lassen. Cullen und Godson (1975) beschäftigten sich mit der räumlichen und zeitlichen Flexibilität von Aktivitäten und schlagen einfache Fragen vor, die erfassen, ob eine Person eine Aktivität zu einem anderen Zeitpunkt oder an einem anderen Ort hätte durchführen können. Die Erhebung von Doherty (2006), basierend auf dem *Computerised Household Activity Scheduling Elicitor (CHASE)*, quantifizierte die räumliche und zeitliche Flexibilität von Aktivitäten, indem sie nach minimaler und maximaler Aktivitätendauer und der Anzahl alternativer Orte fragte. Die Arbeit von Buliung et al. (2008) nutzte Informationen über die Planung von Aktivitäten in deren Analyse, welche aus demselben Erhebungstool stammen. Ebenso wurde in

der Thurgau-Erhebung gefragt, ob eine Aktivität innerhalb eines Tages, mehrere Tage zuvor, spontan oder routiniert geplant ist (Löchl et al., 2005). Verplanken und Orbell (2003) nutzten Items zur Beschreibung der Stärke einer Gewohnheit eines Verhaltens, die u. a. die Regelmäßigkeit, die Dauer des Bestehens und die Bewusstheit des Entscheidungsprozesses berücksichtigen. Couclelis et al. (1987) entwickelten im Kontext der Arbeiten zu Ankerpunkten ein Maß der Vertrautheit mit Orten. Dieses basiert auf der Fähigkeit des Auffindens, des Erkennens auf Bildern, des Benennens und der Häufigkeit des Aufsuchens eines Ortes. Koppelman und Hauser (1978) erhoben die Wahrnehmung von Einkaufsgelegenheiten mit Bezug auf die Angebotsqualität, den Ruf, die Angemessenheit des Preises und weitere einkaufsbezogene Aspekte. Arbeiten zur Erfassung des Ortssinns (engl. *Sense of place*) beschäftigen sich ebenfalls mit der Charakterisierung von Orten, allerdings auf Basis psychologischer Konzepte. Die Arbeit von Jorgensen & Stedman (2001) nutzt ein zwölfteiliges Itemset mit Aussagen zu Identität, Verbundenheit und Abhängigkeit, um den Ortssinn von Naherholungsorten an Seen zu erfassen. K. Deutsch & Goulias (2010) nutzen neben den drei vorigen Konzepten zusätzlich die Konzepte Befriedigung, Ästhetik und soziale bzw. kulturelle Atmosphäre, um Einkaufsgelegenheiten zu beschreiben. Eine Übersicht über die erfassten Charakteristiken der verschiedenen Studien findet sich in Tabelle 6. Die Zusammenstellung ist als eine Sammlung von Beispielen gedacht und ist nicht vollständig.

Tabelle 6: Charakterisierungsmöglichkeiten von Aktivitäten und -orten in der Literatur

Quelle	Informationen und Items	Typ
Gramsch-Calvo & Axhausen (2024b)	Qualität des Essens und Trinkens; Qualität der Ausstattung	Rating
	Preis	Rating
	Günstige Lage	Rating
	Umgebung	Rating
	Dekoration und Musik	Rating
	Soziale Umgebung	Rating
	Einfachheit, neue Menschen zu treffen	Rating
	Überfülltheit	Rating
	Freundlichkeit des Personals	Rating
	Freunde und Familie gießen die Aktivität	Rating
I. Cullen & Godson (1975)	Hättest du etwas anderes zu diesem Zeitpunkt machen können?	Ja/Nein
	Hättest du die Aktivität zu einem anderen Zeitpunkt durchführen können?	Ja/Nein
	Hättest du die Aktivität an einem anderen Ort durchführen können?	Ja/Nein
	Hättest du an einem anderen Ort zu diesem Zeitpunkt sein können?	Ja/Nein
Doherty (2006)	Minimale und maximale Dauer einer Aktivität	Angabe einer Dauer
	Anzahl alternativer Orte einer Aktivität	Angabe einer Anzahl
Buliung et al. (2008)	Planung: Spontan, routiniert, am gleichen Tag, mehrere Tage im Voraus, Wochen/Monate/Jahre im Voraus	Auswahl
Löchl et al. (2005)	Planung: Spontan, routiniert, am gleichen Tag, mehrere Tage im Voraus	Auswahl
Verplanken & Orbell (2003)	Verhalten X tue ich häufig	7er-Skala
	... tue ich automatisch.	7er-Skala
	... fände ich schwer, nicht zu tun.	7er-Skala
	... tue ich seit einer langen Zeit.	7er-Skala
	...	
Couclelis et al. (1987)	Weißt du, wo dieser Ort ist?	9er-Skala
	Wie einfach kannst du ein Bild des Ortes erkennen?	9er-Skala
	Wie bekannt ist dir der Name des Ortes?	9er-Skala
	Wie oft siehst oder besuchst du den Ort?	9er-Skala
Koppelman & Hauser (1978)	Prestige des Einkaufsortes	Rating
	Auswahl des Angebots	Rating
	Angemessenheit des Preises	Rating

	...	
Jorgensen & Stedman (2001)	Ich kann ich selbst an meinem Seegrundstück sein.	5er-Skala
	Ich bin am glücklichsten, wenn ich an meinem See bin.	5er-Skala
	Mein Seegrundstück ist der beste Ort, um die Dinge zu tun, die ich am meisten genieße.	5er-Skala
	...	
K. Deutsch & Goulias (2010)	An dem Ort kann ich entspannen	7er-Skala
	Der Ort trifft meine Bedürfnisse besser, als es andere tun.	7er-Skala
	Der Ort spiegelt wider, welche Person ich bin.	7er-Skala
	Ich bin mit den Produkten zufrieden	7er-Skala
	Am Ort herrscht eine friedliche und entspannte Atmosphäre.	7er-Skala
	Der Ort ist familienfreundlich.	7er-Skala
	...	

Die zusammengestellten Fragebogenkomponenten lassen sich trotz ihrer Vielseitigkeit nicht auf den vorliegenden Anwendungsfall übertragen, da sie stark auf einzelne Thematiken oder Aktivitätentypen zugeschnitten sind. Notwendig ist ein übergreifendes Rahmenkonzept für die Charakterisierung von Orten unterschiedlicher Zwecke. Wie bereits in Kapitel 2.2.6 detailliert erläutert beschreibt die Arbeit von Puhe (2023) Ortsbeziehungen über ihre räumliche und zeitliche Flexibilität, ihre Verbindlichkeit und die Motivation, mit deren Aktivitäten durchgeführt werden. Darin greift sie einige der oben beschriebenen Fragebogenkomponenten auf und integriert sie in ein Gesamtkonzept einer qualitativen sozialen Netzwerkanalyse. Eine weitere Rolle nimmt darin Selbstbestimmungstheorie ein, von der die Selbst- und Fremdbestimmtheit einer Ortsbeziehung abgeleitet wird (Deci & Ryan, 1985). Von der Arbeit von Puhe wird die im nächsten Teilkapitel folgende Charakterisierung von Aktivitätenorten abgeleitet.

5.2.2 Erhebungskonzeption

Die konzipierte Erhebung erfasst die Aktivitätenorte einer Person innerhalb eines Zeitraumes von acht Wochen. Das Konzept ist auf die Erfassung von Freizeitaktivitätenorten ausgerichtet, kann aber auf andere Aktivitätentypen übertragen werden. Befragte berichten Ort für Ort und stellen in der Gesamtheit die Aktivitätenorte ihres realisierten Aktionsraumes zusammen. Die Erhebung gliedert sich in drei Teile und erfasst nacheinander persönliche Charakteristiken, räumliche-zeitliche Eigenschaften und sozialen Kontext der Aktivitätenorte. Zur Sicherstellung einer allgemeinen Verständlichkeit des Fragebogens werden Kernbegriffe erläutert. Eine Übersicht der Erhebung ist in Abbildung 2 dargestellt.

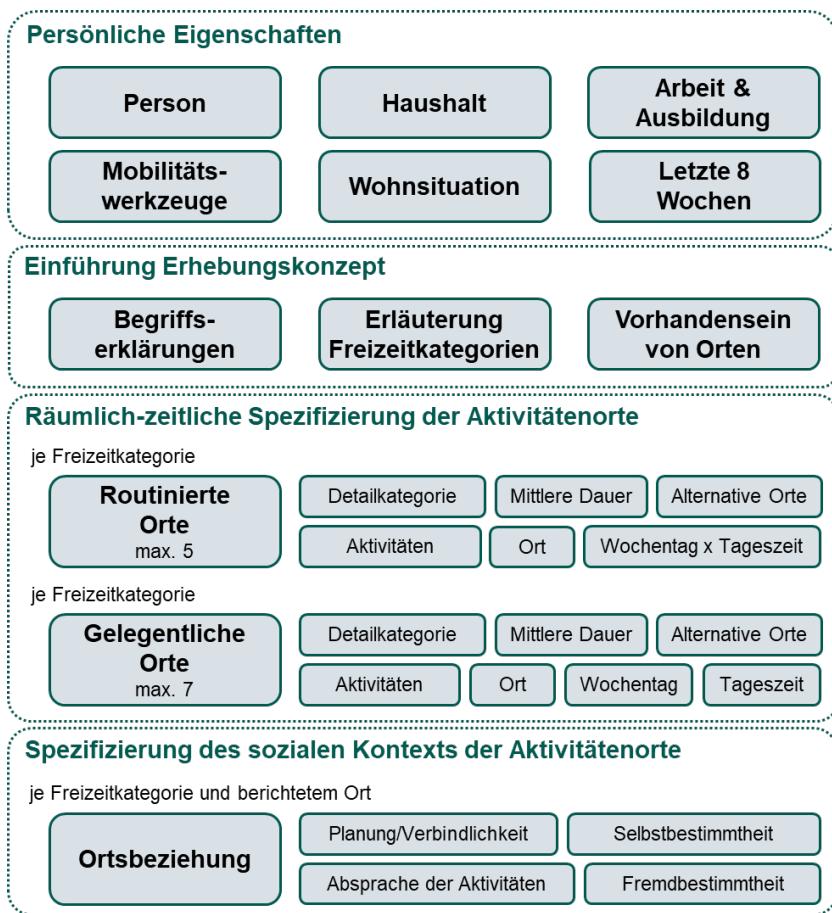


Abbildung 2: Übersicht Fragenbogen Aktivitätenorterhebung

Die Erhebung ist für die Befragung einzelner Personen konzipiert. Es ist nicht erforderlich, dass vollständige Haushalte berichten. Daher werden neben soziodemografischen und mobilitätsbezogenen Eigenschaften der Person auch Haushaltsmerkmale abgefragt. Um das räumliche Verhalten ebenfalls in den Kontext der verpflichtenden Aktivitäten Arbeit und Ausbildung setzen zu können, werden Fragen zum Arbeits- und/oder Ausbildungsort und -verhältnis gestellt. Darüber hinaus werden der Wohnort und damit assoziierte Aspekte

wie die Dauer des Wohnsitzes und ein möglicher Zweitwohnsitz erfasst. Der Dauer des Wohnhaftseins wird ein wichtiger Einfluss auf die Wahrnehmung des Umfelds zugeschrieben (E. J. Miller, 2019). Die Zahl der Tage auf Urlaubs- oder Dienstreisen wird erfasst, um Verhaltenskennwerte einordnen zu können. Es wird beispielsweise erwartet, dass die Häufigkeit des Aufsuchens eines Aktivitätenorts geringer ausfällt, wenn die Person zeitweise auf Urlaubsreise war.

Das Erhebungskonzept bedarf während der Erhebung einer gesonderten Erläuterung. So werden Begriffe wie Aktivitätenorte, Routine und Gelegenheit anhand von Beispielen erklärt und ein Rahmen für die relevanten Aktivitätenorte definiert. Dieser ergibt sich aus dem Freizeitzweck, dem Zeitraum der letzten acht Wochen und einer maximalen Distanz von 100 km vom Wohnort. Daran anschließend wird die Differenzierung der Freizeitzkategorien erläutert. Dies ist mit Hinsicht auf die unterschiedlichen Klassifizierungen und die mögliche Zuordnung von Aktivitätenorten zu verschiedenen Kategorien wichtig. Im Erhebungsansatz des Ortsgenerators und -interpretierers werden die Freizeitzkategorien Restaurant und Café, Bar oder Nachtclub, kulturelle Gelegenheit, Sportanlage oder Fitnesscenter, Park oder Wald sowie sonstige unterscheiden (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b). Die für das Konzept erarbeitete Differenzierung der Freizeitzkategorien beinhaltet zusätzlich private Besuche als Freizeitzkategorie und wird in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Differenzierung der Freizeitzkategorien im Erhebungskonzept

Kategorie	Unterkategorie	Beispiele für Aktivitäten
Vereine, Ehrenamt und Religion	Ehrenamt, Vereinstreffen oder Kurse	Freiwillige Feuerwehr, Musikverein, Theatergruppe
	Religion und Spiritualität	Kirche, Moschee, Synagoge, Friedhof
Kultur	Restaurants und Cafés	Restaurant, Café, Kneipe
	Bars und Nachtclubs	Bar, Nachtclub
	Kulturelle Einrichtungen	Museum, Theater, Kino, Bowling
	Großveranstaltungen	Stadionbesuch, Konzert, Stadtfest

Sport und Erholung	Vereins- und Mannschaftssport	Fußball, Volleyball, Aerobic, Fitness
	Einzelsport	Joggen, Schwimmen, Fitness, Radfahren
	Nichtsportliche Erholung	Spaziergang, Spielplatz, nahgelegener Wald
	Ausflug	Zoo, Freizeitpark, Wanderung
	Garten und Ferienhaus	Kleingarten, Ferienhaus, Dauercamping
Privater Besuch	Familien- und Verwandtschaftsbesuch	Besuch der Eltern, Großeltern, Enkel oder anderer Verwandter
	Freundschaftsbesuch	Freundschaftsbesuch

Die Befragten werden anschließend an die Erläuterung gefragt, ob sie Aktivitätenorte in einer der Kategorien zu berichten haben. Im Weiteren werden nur Orte zu Freizeitkategorien abgefragt, wenn angegeben wurde, dass solche Orte vorhanden sind.

Der zweite Teil des Erhebungskonzeptes erfasst die räumlich-zeitlichen Eigenschaften der Orte. Befragte werden gebeten, alle aufgesuchten Orte einer Freizeitkategorie zu berichten. In der konzipierten Erhebung werden die Befragten gebeten, die Orte zu benennen, um eine Wiedererkennbarkeit im Verlauf der Befragung sicherzustellen. Daraufhin werden die detaillierte Freizeitkategorie, die Lage, die Anzahl der Aktivitäten, mögliche alternative Orte zur Durchführung dieser Aktivität, die Zeitpunkte der Aktivitäten und eine mittlere Dauer des Aufenthalts am Aktivitätenort abgefragt. Es werden zuerst routinemäßig aufgesuchte und im Anschluss gelegentliche Aktivitätenorte abgefragt. Es wird davon ausgegangen, dass routinemäßig aufgesuchte Orte für die Befragten einfacher zu berichten sind und deshalb das Prinzip der Erfassung der Orte zu Beginn besser erlernt werden kann.

Der dritte Teil umfasst die Spezifizierung des sozialen Kontexts der zuvor berichteten Orte und wird aufgrund des Aufwandes lediglich für eine zufällige der vier Freizeitkategorien durchgeführt. Die Befragten werden darin gebeten, das Zutreffen von Aussagen der Bereiche Planung, Absprache, Selbst- und Fremdbestimmtheit auf die Aktivitätenorte zu bewerten. Nach der

Konzeptualisierung von Puhe (2023) berichten sie damit ihre persönliche Beziehung zu einem Ort. Das Zutreffen von Aussagen zu einem Ort wird auf einer fünfstufigen Likert-Skala erfasst. Zudem können die Befragten angeben, mit welchen Personen Aktivitäten an einem Ort typischerweise abgesprochen werden.

Tabelle 8: Fragebogenkomponenten des sozialen Kontexts von Aktivitätenorten

Komponente	Codierung/Skala	Details
Planung der Aktivität	5er-Likert* Trifft nicht zu – Trifft voll zu	Planung im Voraus, Spontanität, Routine, Absprache mit Personen
Absprache der Aktivität	Auswahl	Unterschiedliche Personengruppen
Selbst- und Fremdbe-stimmtheit der Aktivi-tät	5er-Likert* Stimme nicht zu – stimme voll zu	Eigene Motivation, Beziehungen, Bedeutung, Erwartung, Verpflichtung, Vereinbarkeit mit Alltag

* alle Skalen enthalten die Antwortoption „weiß nicht.“

Zur Verbesserung der Antwortqualität werden zwei Komponenten implementiert. Selbstberichtete Indikatoren zur Aufmerksamkeit und Vollständigkeit werden verwendet, um die Antwortqualität der Personen zu überprüfen. Dabei wird gefragt, ob alle Orte einer Freizeitkategorie angegeben wurden. Es folgt der Hinweis, dass eine Vollständigkeit für den Zweck der Erhebung von großer Bedeutung ist. Die Abfrage ermuntert dabei Sorgfalt und Ehrlichkeit einer Angabe (Meade & Craig, 2012). Zudem wurden zwei anweisungsba sierte Aufmerksamkeitschecks integriert, die es während und im Nachgang der Erhebung ermöglichen, Personen zu erkennen, die die Fragen und Anwei sungen nicht vollständig und aufmerksam gelesen haben (Meade & Craig, 2012). Personen, die beide Aufmerksamkeitschecks nicht erfolgreich absol vierten, werden bereits während der Befragung ausgeschlossen.

Eine vollständige Übersicht der Erhebungsattribute ist im Anhang in Tabelle 32 zu finden. Alle Komponenten wurden so konzipiert, dass sie auf andere Aktivitätentypen übertragbar sind. Im Fokus steht die Entwicklung eines ge nerellen Ansatzes für das gesamte Mobilitätsverhalten des Alltages.

5.2.3 Durchführung und Plausibilisierung einer Piloterhebung

Das Erhebungskonzept wurde in einer Piloterhebung angewendet. Das Ziel dieser Erhebung war die Untersuchung der Durchführbarkeit des Konzepts und die Gewinnung einer Datengrundlage für eine Analyse von Freizeitaktivitätenorten. Für die Piloterhebung wurde ein regional zusammenhängender Erhebungsraum ausgesucht, der mehrere Stadtregionen beinhaltet. Damit wird zum einen gewährleistet, dass die Aktionsräume der Teilnehmenden ähnlich strukturiert sind und zum anderen wird eine raumstrukturelle Vergleichbarkeit zur Stichprobe der *MOBIS-Studie* geschaffen, selbst, wenn diese in der Schweiz erhoben wurde. Der gewählte Erhebungsraum beinhaltet in etwa die Region Rhein Main, Rhein Neckar und Mittlerer Oberrhein. Eine Liste der Stadt- und Landkreise findet sich im Anhang in Tabelle 31. Der Erhebungsraum und die berichteten Aktivitätsorte sind in Abbildung 3 dargestellt.

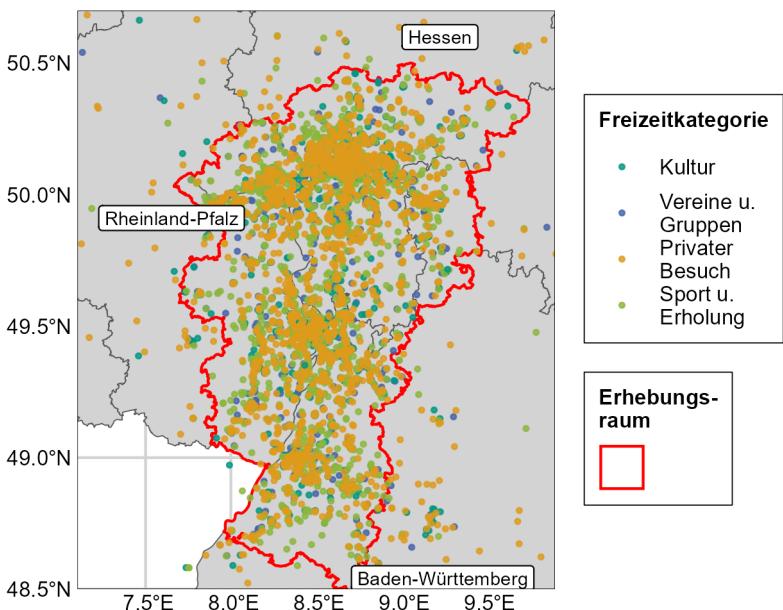


Abbildung 3: Erhebungsräum und berichtete Aktivitätenorte

Zur Durchführung der Erhebung wurde eine Stichprobe über ein Marktforschungsinstitut beauftragt. Es wurde keine Quotierung angewandt. Die Teilnahme an der Erhebung erfolgte computergestützt und ohne persönliche Interaktion. Der Panel-Anbieter zahlte zur Incentivierung einen einstelligen Geldbetrag in Abhängigkeit der Bearbeitungsdauer der Teilnehmenden. Die Stichprobe umfasst fast 3.200 Personen mit einem Alter von mindestens 18 Jahren, die vollständig an der Befragung teilgenommen haben. Deren Anteil an der Bruttostichprobe beträgt 82,52 %. Aufgrund der Rekrutierungsmethode kann keine Rücklaufrate bestimmt werden. Neben abgebrochenen und verweigerten Teilnahmen wurden im Erhebungsprozess Teilnehmende ausgeschlossen. Dies beinhaltet zum einen Personen außerhalb des Erhebungsräumes und solche, die beide Aufmerksamkeitschecks nicht bestanden haben. Die mittlere Erhebungsdauer beträgt etwa 19 Minuten. In Tabelle 9 ist eine Übersicht über die wichtigsten Kenngrößen der Erhebung zu finden.

Tabelle 9: Erhebungskennwerte der Pilotanwendung

Kenngroße	Kennwert
Bruttostichprobe (Teilnahme begonnen)	3.869
Nettostichprobe (Teilnahme beendet)	3.193
Quote beendet	82,52 %
Quote ausgeschlossen	10,65 %
Quote Datenverarbeitung verweigert	1,85 %
Quote Teilnahme abgebrochen	16,70 %
Mittlere Teilnahmedauer	19,1 min

Zur Sicherstellung einer angemessenen Datenqualität wurde eine nachgelagerte Plausibilisierung des erhobenen Datensatzes durchgeführt. Folgende Arbeitsschritte wurden hierzu durchgeführt:

Festlegung einer minimalen Bearbeitungsdauer des Fragebogens: Der Ausschluss von Teilnahmen mit einer Bearbeitungsdauer von 12 min oder weniger geschah unter der Annahme, dass eine bestimmte Dauer notwendig ist, um die Inhalte der Erhebung mental zu verarbeiten und eine Antwort zu generieren (Bowling et al., 2023). Die Festlegung einer minimalen Bearbeitungsdauer betrifft 22 % der Nettostichprobe.

Überprüfung der Widersprüchlichkeit von Angaben: Es wurde die Konsistenz des Antwortverhaltens überprüft. Dabei wurden Angaben unter anderem zur Häufigkeit von Freizeitaktivitäten innerhalb eines Zeitraumes, zur Anzahl der Arbeitstage einer Woche und zur Anzahl der Urlaubs- bzw. Dienstreisetage mit den maximal möglichen Angaben abgeglichen. Dieser Plausibilisierungsschritt betrifft 7,2 % der Nettostichprobe.

Räumliche Validierung der ortsbezogenen Angaben: Die Stichprobe wurde bereits im Rahmen der Rekrutierung auf Personen mit einem Wohnort innerhalb ausgewählter Landkreise eingeschränkt. Die nachgelagerte Validierung betrachtete die Ortsangaben in Form von Geokoordinaten zu Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsort und zu den Aktivitätenorten des Freizeitalltags. Die Angabe des Wohnorts wurde mit den ausgewählten Landkreisen räumlich

abgeglichen. Arbeits- und Ausbildungsorte unterlagen keinem Ausschlusskriterium. Dieser Plausibilisierungsschritt betrifft 7,5 % der Nettostichprobe.

Nach dem kombinierten Ausschluss der drei bisherigen Plausibilisierungskriterien verbleiben 1.822 Personen mit 8.025 Aktivitätenorten in der Stichprobe.

Die Aktivitätenorte müssen zusätzlich in einem Umkreis von 100 km des Untersuchungsraumes liegen, um weiter berücksichtigt zu werden. Dieser Raum dient als potenzieller Raum des Alltagsverkehrs. 2,8 % der angegebenen Aktivitätenorte der plausibilisierten Nettostichprobe wurden als Fernverkehrsorte (Tagesreisen, Kurzurlaube, o. ä.) klassifiziert und ausgeschlossen. Entsprechend verbleiben 7.798 Aktivitätenorte in der plausibilisierten Nettostichprobe.

Erkennung unaufmerksamen Antwortverhaltens: Die Fragebogenkomponenten, die die Beziehung zu den Aktivitätenorten charakterisieren, stellen einen höheren mentalen Aufwand für die Befragten dar, weshalb sie besonders validiert wurden. Unaufmerksames Antwortverhalten äußert sich in bestimmten Mustern und Strategien, die die Befragten beim Ausfüllen des Fragebogens anwenden. Zu dessen Erkennung wurde der *Lazy Respondents Index* (Laz.R) angewandt, der auf Basis von Markov-Ketten erster Ordnung das Verhalten analysiert (Biemann et al., 2025). Die Annahme besteht dabei, dass Antworten mit den zurückliegenden Antworten erklärt werden können. Je besser sie erklärt werden können, desto wahrscheinlicher handelt es sich um unaufmerksames Verhalten. Damit ist der Index flexibler als viele der üblicherweise angewandten *Straightlining*-Analysen. Die 14 Items der Aktivitätenorte wurden einer Analyse unterzogen und für 11,2 % der Orte wurde unaufmerksames Antwortverhalten der Person erkannt. Diese wurden für die später folgende Analyse der Ortsbeziehungen markiert.

Die Stichprobe wird mit der deutschlandweiten Stichprobe des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) der Kohorte 2022/23 verglichen (Ecke, Vallée, et al., 2023). Im Ergebnis ergibt sich eine Stichprobe, die durch geringfügig mehr

Männer, stärker vertretene Altersgruppen zwischen 30 und 50 Jahren und 70 und 80 Jahren, mehr Vollzeitberufstätige, mehr Homeoffice-Nutzung, einen verstärkten Besitz von Pkw und ÖV-Zeitkarte, häufigeres Wohnen in Zweipersonenhaushalten und solchen mit geringerem Einkommen charakterisiert ist. Die Unterschiede bleiben allerdings im unteren einstelligen Prozentbereich. Abweichungen sind zu erwarten, da der betrachtete Raum raumstrukturell nicht dem deutschen Durchschnitt entspricht. Eine vollständige Übersicht findet sich im Anhang in Tabelle 33.

Die Erhebungsstichprobe weist im Mittel 4,11 Aktivitätenorte pro Person auf. Über die Angaben zu den dort durchgeführten Aktivitäten wurden im Mittel 36,53 Freizeitaktivitäten berichtet, womit sich eine durchschnittliche Anzahl von 8,89 Aktivitäten pro Ort ergibt. Nach Personengruppen differenzierte Angaben finden sich ebenfalls in Tabelle 33. Damit werden deutlich weniger Orte als in den zum Vergleich herangezogenen Erhebungen berichtet. Die Erhebung mit dem Ortsgenerator und -interpretierter erfasste im Mittel knapp zehn Orte (Gramsch-Calvo & Axhausen, 2024b), die mobidrive-Erhebung 15,5 und die tracking-gestützte MOBIS-Erhebung erfasste 26,6 Aktivitätenorte des Aktivitätentyps Freizeit. Eine Übersicht ist in Abbildung 4 dargestellt.

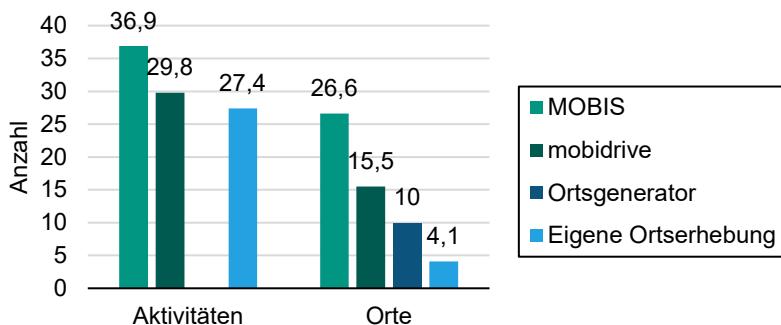


Abbildung 4: Vergleich von Erhebungscharakteristiken

Es liegt nahe, dass ein Teil dieser Unterschiede auf die Erhebungsmethode zurückzuführen ist. Der höchste Wert wurde in der Tracking-Erhebung

ermittelt. Dies kann mit dem geringen Berichtsaufwand dieser Methode und der Granularität der Ergebnisse in Zusammenhang gebracht werden. Der zweithöchste Wert wurde in der Wegetagebucherhebung ermittelt. Da das Verhalten über einen längeren Zeitraum im vielen Schritten berichtet wird, kann von einer höheren Vollständigkeit der Angaben ausgegangen werden, als wenn für längere Zeiträume berichtet werden muss. Es ist z. B. anzunehmen, dass ein Großteil der Teilnehmenden täglich die entsprechenden Wege in das Tagebuch einträgt. Dies ist für die beiden Ortserhebungen nicht der Fall, weshalb die Anzahl der dort berichteten Aktivitätenorte geringer ausfällt. Nichtsdestotrotz bleibt ein Unterschied zwischen diesen beiden Erhebungen. Als Gründe können die Unterschiede in der Rekrutierung und Incentivierung der Erhebungen angenommen werden. Die Rekrutierung erfolgte beim Ortsgenerator und -interpretierer über Einladungen mittels Briefsendungen, während die Erhebung dieser Arbeit auf eine Stichprobe zurückgreift, die es geübt ist, effizient an Erhebungen teilzunehmen. Das Incentive beim Ortsgenerator und -interpretierer betrug 15 CHF, während die Erhebung dieser Arbeit lediglich einen einstelligen Eurobetrag bot. Dies schlägt sich in der mittleren Bearbeitungsdauer der Erhebung nieder, die beim Ortsgenerator und -interpretierer mit 54 Minuten deutlich höher ausfällt. Entsprechend wurden mehr Orte in dieser Erhebung berichtet. Weitere Gründe können im Erhebungsdesign, Untersuchungsraum und in Zeitpunkt der Erhebung liegen, welche aber nicht genauer beurteilt werden können.

5.3 Kombination von wegebasierten und ortsbasierten Erhebungen

Die beiden bisher vorgestellten Methoden der Erhebung von Aktivitätenorten haben eine jeweils eigene Ausrichtung auf bestimmte Aspekte des räumlich-zeitlichen Verhaltens. Theoretisch ist es möglich, eine detaillierte Erfassung des räumlich-zeitlichen Verhaltens auf der Ebene von Aktivitäten oder Wegen mit der Erhebung der Ortsbeziehung zu verbinden. Insbesondere für den Fall,

dass mehrere Wochen erhoben werden, ist dies aber mit einem sehr hohen Aufwand für die Berichtenden verbunden, weshalb eine verstärkte Erhebungsmüdigkeit und eine erhöhte Abbruchsquote erwartet werden. Das folgende Teilkapitel verfolgt daher den Ansatz, mittels einer Datenfusion einen gemeinsamen Datensatz von Aktivitätenorten aus den zuvor dargestellten Datensätzen zu erzeugen. Dieser kann sowohl für die Analyse genutzt werden, da er eventuelle Schiefe eines der beiden Datensätze ausgleicht, als auch für die Modellierung verwendet werden, wobei umfangreichere Einflüsse auf die Zielwahlentscheidungen abgebildet werden können.

Das Teilkapitel beginnt mit einer Zusammenfassung der methodischen Grundlagen der Datenfusion mit einem Fokus auf die für den Anwendungsfall relevanten Aspekte und endet mit der Anwendung auf die Aktivitätenorte der MOBIS-, mobidrive- und Aktivitätenorterhebung dieser Arbeit. Das Ziel ist es, die Machbarkeit der Methode zu demonstrieren.

5.3.1 Grundlagen von Datenfusion und statistischen Matching-Methoden

Datenfusion beinhaltet Verfahren der Kombination von Daten zur Verbesserung des Informationsgehaltes der Daten (Castanedo, 2013). Das Ziel von Datenfusion im Bereich der Generierung von Erhebungsdaten ist die Verbesserung der Datenqualität bzw. des Datenumfangs oder eine Reduzierung des Antwortaufwandes der Befragten bei gleichbleibendem Informationsgehalt (Bayart et al., 2009; T. Kuhnlimhof et al., 2024; Van Der Putten et al., 2002). D’Orazio, Di Zio, und Scru (2006) unterscheiden einen makroskopischen und mikroskopischen Ansatz. Ersterer nutzt aggregierte Information wie Verteilungen zur Anreicherung der Daten. Letzterer erzeugt einen umfassenden mikroskopischen Datensatz aus nicht zwingend gemeinsam beobachteten Informationen, was für die Verkehrsmodellierung für relevanter befunden wird (Bayart et al., 2009). Die Verknüpfung disaggregierter Informationen ermöglicht dabei realistischere Varianzmuster als die Fusion mit aggregierten

Informationen (T. Kuhnlimhof et al., 2024). Es sollte allerdings beachtet werden, dass die Varianzstruktur durch den Fusionsprozess beeinflusst werden kann (T. Kuhnlimhof et al., 2024). Kernpunkt des Prozesses ist die Verknüpfung der Datensätze und der Beobachtungen innerhalb der Datensätze. Teil der Methode sind ein Empfänger- und ein Spenderdatensatz, die eine Menge an gemeinsamen Variablen teilen. Informationen aus dem Spenderdatensatz werden über die Verknüpfung im Empfängerdatensatz ergänzt. Voraussetzung hierfür ist, dass der Spenderdatensatz repräsentativ für den Empfängerdatensatz ist (Van Der Putten et al., 2002). Bayart, Bonnel, und Morency (2009) berücksichtigen hierzu die drei Existenzdimensionen von experimentellen Daten (H. J. Miller, 2005) und bestimmen die räumliche, zeitliche und semantische Kompatibilität von Datensätzen. Es werden etwa räumliche Abdeckung und Analyseeinheit, zeitliche Abdeckung und Granularität und die Art der Erfassung bestimmter Informationen zwischen den Datensätzen verglichen. Vorteilhaft, aber nicht zwingend erforderlich, ist die Abdeckung der selben Bevölkerung (Van Der Putten et al., 2002). Zwingend erforderlich sind aber übereinstimmende Variablen, die für die Verknüpfung der Datensätze genutzt werden können.

Für die Verknüpfung gibt es eine Vielzahl an Methoden, wozu Castanedo (2013) eine Übersicht gibt. Ein verwandtes Methodengebiet sind Matching-Methoden, die zur Ableitung kausaler Effekte verwendet werden (Stuart, 2010). Zwar werden diese vorrangig dafür verwendet, Kontroll- und Behandlungsgruppen mit ähnlichen Verteilungen von Kovariaten bei randomisierten Experimenten zu erhalten. Jedoch sind einige Verfahren auch zur Findung möglichst übereinstimmender Einheiten in zwei Datensätzen für die Datenfusion nutzbar. Grundannahme für die Methode ist die konditionelle Unabhängigkeit (engl. *Conditional independence assumption*), also die Nichtannahme einer versteckten Verzerrung in zwei verschiedenen Datensätzen (D’Orazio et al., 2006; Rosenbaum & Rubin, 1983). Das Matching beider Datensätze beinhaltet folgende Schritte (Stuart, 2010), von welchen bis auf den letzten alle für die Anwendung in der Datenfusion relevant sind:

1. Definition eines Distanzmaßes zur Bestimmung der Nähe von zwei Einheiten; Definition der gemeinsamen Kovariate
2. Anwendung eines Matching-Algorithmus
3. Untersuchung der Qualität des Matchings und der Ausgeglichenheit der Datensätze
4. Analyse von Effekten

1. Definition eines Distanzmaßes

In einem ersten Schritt wird festgelegt, wie der Abstand von Einheiten aus verschiedenen Datensätzen über eine Vielzahl von Dimensionen bestimmt werden soll. Die Distanz D_{ij} zwischen Einheiten der Datensätze i und j wird mittels eines definierten Distanzmaßes und eines Vektors von Kovariaten $X_{i/j}$ bestimmt. Je größer die Anzahl der verwendeten Kovariate und je wichtiger diese für die Erklärung des Ergebnisses sind, desto besser kann das Matching durchgeführt werden (Stuart, 2010). Die Distanz kann nach Stuart (2010) über vier verschiedene Möglichkeiten definiert werden:

Tabelle 10: Distanzermittlung von Matching-Verfahren

Exaktes Matching	Exakte Übereinstimmung der ausgewählten Kovariate $D_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{wenn } X_i = X_j \\ \infty, & \text{wenn } X_i \neq X_j \end{cases}$
Mahalanobis-Distanzmaß	Berechnung der Mahalanobis-Distanz auf Basis von De Maesschalck et al. (2000); Σ beinhaltet die Varianz-Kovarianz-Matrix der verwendeten Kovariate. $D_{ij} = (X_i - X_j)' \sum^{-1} (X_i - X_j)$
Propensity-Score-Distanzmaß	Transformation aller Variablen mittels eines Scores $e_{i/j}$ $D_{ij} = e_i - e_j $
Lineares Propensity-Score-Distanzmaß	Variation des Propensity Score-Distanzmaßes $D_{ij} = \log(e_i) - \log(e_j) $

Exaktes Matching ist die optimale Methode, da eine vollständige Übereinstimmung der kontrollierten Kovariate erreicht wird. Bei größerer Zahl an

Kovariaten ist häufig keine Übereinstimmung möglich, weshalb andere Verfahren zum Einsatz kommen müssen (Rosenbaum & Rubin, 1985). Diese können mit der exakten Kontrolle ausgewählter Kovariate in einem Verfahren kombiniert werden. Das Mahalanobis-Distanzmaß vereinheitlicht den Abstand über die Kovariate mit deren Standardabweichung. Sie funktioniert gut bei einer geringen Anzahl und einem hohen Anteil an kontinuierlichen Variablen (Gu & Rosenbaum, 1993). Bei einer großen Anzahl von Kovariaten mit mehrheitlich binärer Codierung bietet sich eine Wahrscheinlichkeitsbewertung der Kovariatverteilung mittels eines Propensity-Scores an (Rosenbaum & Rubin, 1983). Mit jedem Wert des Propensity Scores kann auf eine eindeutige Verteilung der Kovariate geschlossen werden (Stuart, 2010). Die Schätzung des Bewertungsmodells erfolgt auf Basis eines linearen Regressionsmodells oder nichtparametrischer Methoden wie Boosting- oder Machine-Learning-Modellen (Ho et al., 2011). Die Verwendung von Grenzwerten ermöglicht es, zu große Distanzunterschiede zwischen den Einheiten zu vermeiden und baut dabei auf den Standardabweichungen der Distanzmaße auf.

2. Anwendung eines Matching-Algorithmus

Aufbauend auf dem Distanzmaß stehen verschiedene Matching-Verfahren zur Auswahl, die sich hinsichtlich Vollständigkeit des Matchings und der Möglichkeit, Paare in beiden Datensätzen zu identifizieren, unterscheiden. Letztere Möglichkeit ist eine Voraussetzung für die Datenfusion, weshalb im Weiteren ein Fokus auf diese Verfahren gelegt wird. Die bekanntesten Verfahren sind Nächste-Nachbar-Verfahren (engl. *k:1 nearest neighbor matching*) (Rubin, 1973). Diese wählen für jedes Element eines Datensatzes i k Elemente eines anderen Datensatzes j , welches die geringste Distanz aufweisen (Stuart, 2010). Für den Anwendungsfall Datenfusion wird $k = 1$ gewählt, um Paare in den Datensätzen zu identifizieren. Matching mit Zurücklegen ermöglicht das mehrmalige Zuweisen von Elementen und reduziert oft die Schiefe der Datensätze (Stuart, 2010). Eine Variation dessen stellt das *Optimal Matching* dar, welches neben der paarbezogenen Distanz auch die globale Distanz betrachtet und die Reihenfolge der Zuordnung berücksichtigt (Rosenbaum,

2002). Es wird insbesondere für eine hohe Übereinstimmung der Paare empfohlen (Gu & Rosenbaum, 1993). Andere Verfahren sind *Subclassification Matching*, *Full Matching* und *Genetic Matching*, welche allerdings mit Gewichten arbeiten, keine Paare bilden und daher nicht für die Datenfusion in Betracht kommen.

3. Untersuchung der Qualität des Matchings

Die Qualität des Matchings kann über Balance-Kennwerte der im Distanzmaß verwendeten Kovariate, anderer Attribute und den Quadraten von Attributen untersucht werden (Stuart, 2010). Der meistverwendete Kennwert ist die standardisierte Differenz der Mittelwerte der Attribute in beiden Datensätzen (engl. *Standardized difference in means*) (Rosenbaum & Rubin, 1985; Rubin, 2001). Es wird ein Wert von maximal 0,25 empfohlen (Rubin, 2001). Darüber hinaus wird das Verhältnis der Varianzen beider Datensätze verwendet, welches zwischen 0,5 und 2 liegen sollte (Rubin, 2001).

Eine Validierung kann über mehrere Wege geschehen. Zuerst bietet sich der Vergleich von Verteilungen von einzelnen Kovariaten in beiden Datensätzen und eine Untersuchung an, ob sich diese signifikant unterscheiden. Des Weiteren können die Korrelationsstrukturen zwischen den betrachteten Variablen untersucht werden. Drittens können kombinierte Verteilungen von Attributen verglichen werden, die durch die Fusion der Datensätze nun in einem Datensatz bestehen. Zuletzt kann überprüft werden, ob individuelle Werte der Zielattribute im Fusions- und Ursprungsdatensatz übereinstimmen. Die letzten beiden Validierungsmethoden sind nur möglich, wenn entsprechende externe Datengrundlagen zum Vergleich vorliegen, und stellen die fortgeschrittenen Validierungsstufen dar. Gängige Matching-Algorithmen können Kennwerte für die ersten beiden Wege bestimmen. (Kiesl & Rässler, 2006)

Die Herausforderungen bei der Durchführung einer Datenfusion mit Matching-Methoden bestehen dabei im geringen Umfang von Standards und Empfehlungen zur Anwendung von Datenfusion u. a. in der

Mobilitätsforschung (T. Kuhnimhof et al., 2024). Darüber hinaus fehlen weitestgehend Qualitäts- und Verlässlichkeitskriterien (More & Ingman, 2008).

5.3.2 Anwendungsfall Aktivitätenorte

Das Ziel der Datenfusion im vorliegenden Fall ist die Ergänzung von Informationen zu den Freizeitaktivitätenorten von Personen in der MOBIS-Erhebung. Die Erhebung des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt über acht konsekutive Wochen liefert umfangreiche Informationen über die Aktivitätenorte. Dabei können räumlich-zeitliche Profile des Aufsuchens von Orten im Detail nachvollzogen werden und in den Gesamtkontext der Person gesetzt werden. Es mangelt jedoch an genaueren Informationen über die detaillierte Freizeitkategorie und die spezifischen Motive für das Aufsuchen der Orte. Deshalb werden mithilfe eines 1:1-Nächste-Nachbar-Verfahren die Aktivitätenorte der mobidrive-Erhebung und der Aktivitätenorterhebung dieser Arbeit mit denen der MOBIS-Erhebung fusioniert. Der Empfängerdatensatz besteht aus den Aktivitätenorten der MOBIS-Erhebung und die Spenderdatensätze der beiden Fusionsschritte bestehen aus den Aktivitätenorten der mobidrive- und Aktivitätenorterhebung dieser Arbeit. Es ist davon auszugehen, dass die Aktivitätenorte der MOBIS-Erhebung aufgrund der Erhebungsmethode auf Personen-ebene nahezu vollständig sind. Daher wird diese als Basis verwendet und mit Informationen aus den anderen beiden Erhebungen angereichert. Das Vorgehen gleicht eventuellen Schieben in den Spenderdatensätzen aus. Zur Durchführung der Fusion der Datensätze wird das R-Paket *MatchIt* verwendet (Ho et al., 2011). Folgende Informationen werden aus den jeweiligen Datensätzen übernommen:

Fusionsschritt 1: mobidrive

Freizeitkategorie (Kultur, Vereins- und Gruppenaktivität, Privater Besuch, Sport und Erholung)

Fusionsschritt 2: Aktivitätenorterhebung

Charakteristiken des sozialen Kontexts eines Aktivitätenorts wie Planung der Aktivität, Absprache der Aktivität, Motive der Aktivität

Aktivitätenorte sind bei dieser Anwendung durch die vor Ort durchgeführten Aktivitäten, den Ort selbst und die Person gekennzeichnet, die den Ort aufsucht. Ein Aktivitätenort ist demnach für alle Personen unterschiedlich charakterisiert. Zwischen den Datensätze werden gemeinsame Kovariate ermittelt, die für die Verknüpfung von Elementen zur Verfügung stehen. Ein Fokus wird dabei auf die Eigenschaften der Orte und der dortigen Verhaltensweisen gelegt. Die Durchführung der Datenfusion basiert auf der Annahme, dass hinter ähnlichen räumlich-zeitlichen Verhaltensmustern ähnliche Freizeitkategorien und ähnliche soziale Kontexte stehen. Die Verhaltensmuster charakterisieren sich durch die Aktivitätenhäufigkeit, deren Zeitpunkte und Verteilung innerhalb der Woche, die Stabilität der Aktivitäten bei Betrachtung von Wochentag oder Tageszeit auf Basis des *Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)*, die mittlere Aktivitätendauer, die Lage zu Wohn- und Arbeitsort, die Flächennutzung des Umfeldes und einige soziodemografische Informationen. Es wurde nur eine Auswahl der wichtigsten personenspezifischen Attribute berücksichtigt, da ähnliche Verhaltensweisen und Ortsbeziehungen über verschiedene soziodemografische Gruppen beobachtet werden können. Die Notwendigkeit eines vollständigen Datensatzes schließt das rein exakte Matching aus, da für eine große Zahl von Elementen keine exakten Übereinstimmungen gefunden werden kann. Aufgrund der Möglichkeit, Paare über jeweils zwei Datensätze hinweg zu identifizieren, wurde das Propensity-Score-Matching mit dem Nächste-Nachbar-Verfahren ausgewählt. Alle ausgewählten Kovariate sind in Tabelle 11 zu finden. Dabei wird dargestellt, ob für Kovariate eine exakte Übereinstimmung erforderlich ist oder ob sie in das Distanzmaß eingehen.

Tabelle 11: Kovariatauswahl für Matching

Variable eines Aktivitätenortes oder einer Person	Typ	Fusions-schritt 1: Freizeit-kategorie	Fusions-schritt 2: Ortsbezie-hung
Freizeitkategorie	kategorial	-	Exakt
Besuche innerhalb 8 Wochen	kontinuierl.	X	X
Mind. ein Besuch an einem Montag	binär	X	
Mind. ein Besuch an einem Dienstag	binär	X	
Mind. ein Besuch an einem Mittwoch	binär	X	X
Mind. ein Besuch an einem Donnerstag	binär	X	
Mind. ein Besuch an einem Freitag	binär	X	X
Mind. ein Besuch an einem Samstag	binär	X	X
Mind. ein Besuch an einem Sonntag	binär	X	X
Anzahl unterschiedlicher Wochentage mit Besu-chern	ganzzahlig	X	-
Besuche nur an Wochenenden	binär	X	X
Besuche nur an Werktagen	binär	X	Exakt
Mind. ein Besuch zw. 6 und 12 Uhr	binär	X	X
Mind. ein Besuch zw. 12 und 15 Uhr	binär	X	
Mind. ein Besuch zw. 15 und 18 Uhr	binär	X	X
Mind. ein Besuch zw. 18 und 21 Uhr	binär	X	
Mind. ein Besuch zw. 21 und 24 Uhr	binär	X	X
HHI der Besuchshäufigkeit über Wochentage	kontinuierl.	X	-
HHI der Besuchshäufigkeit über 3h-Tageszeitin-tervalle	kontinuierl.	X	-
Mittlere Aktivitätendauer	kategorial	Exakt	X
Distanz von Wohnort	kontinuierl.	X	X
Distanz von Arbeits-/ Ausbildungsplatz	kontinuierl.	X	X
Innerhalb bebauter Gebiete	binär	Exakt	X
Alter	kategorial	X	X
Geschlecht	kategorial	X	X
Tätigkeitsstatus	kategorial	X	X
Umfang der Tätigkeit [%]	kategorial	X	X
X: Kovariat ist Teil des Distanzmaßes; Exakt: Exakte Übereinstimmung erforderlich			

Es stehen verschiedene Distanzmaße und Konfigurationsmöglichkeiten zur Verfügung, die allesamt auf ihre Eignung untersucht werden. Getestet wurden Propensity-Scores auf Basis eines logistischen Regressionsmodells und

eines Probit-Modells. General-Boosting-Modelle, neuronale Netze und Klassifikationsbäume wurden nach erster Testung auf Basis des Vergleichs von Balance-Kriterien nicht weiterverfolgt. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Grenzwerte für die erlaubte Standardabweichung der Distanz gesetzt, kontinuierliche Variablen über die Mahalanobis-Distanz berücksichtigt und unterschiedliche Kovariatkonzellationen als exakt definiert. Die Entscheidung über die Konfiguration des Matching-Verfahrens wurde anhand folgender Kriterien getroffen:

1. Geringe Zahl von Kovariaten, bei denen eine standardisierte Differenz der Mittelwerte (SDME) von 0,25 überschritten wird
2. Geringe Zahl von Kovariaten, bei denen das Verhältnis der Varianzen außerhalb des Wertebereichs zwischen 0,5 und 2 liegt
3. Geringe Zahl von Beobachtungen des Spenderdatensatzes, die nicht in der Fusion verwendet wurden
4. Nur Fusionsschritt 1: Hohe Übereinstimmung von Aktivitätenortskennwerten im fusioniertem MOBIS-Datensatz und mobidrive-Datensatz hinsichtlich des mittleren quadratischen Fehlers (engl. *Root mean square error*) (RMSE) der
 - a. Anteile der Freizeitkategorien über alle Orte
 - b. Anteile der Freizeitkategorien über alle Wege
 - c. Anzahl Wege pro Ort

Der erste Fusionsschritt verknüpft die Aktivitätenorte der MOBIS-Erhebung mit Informationen zu detaillierten Freizeitkategorien der mobidrive-Erhebung. Die standardisierte absolute mittlere Abweichung des fusionierten Datensatzes (*Matched*) im Vergleich zu beiden Ausgangsdatensätzen (*All*) findet sich in Abbildung 5. Mit Ausnahme des Geschlechts weisen alle Kovariate einen Wert unter 0,25 auf. Eine vollständige Übersicht inklusiver der Varianzverhältnisse findet sich im Anhang A in Tabelle 34.

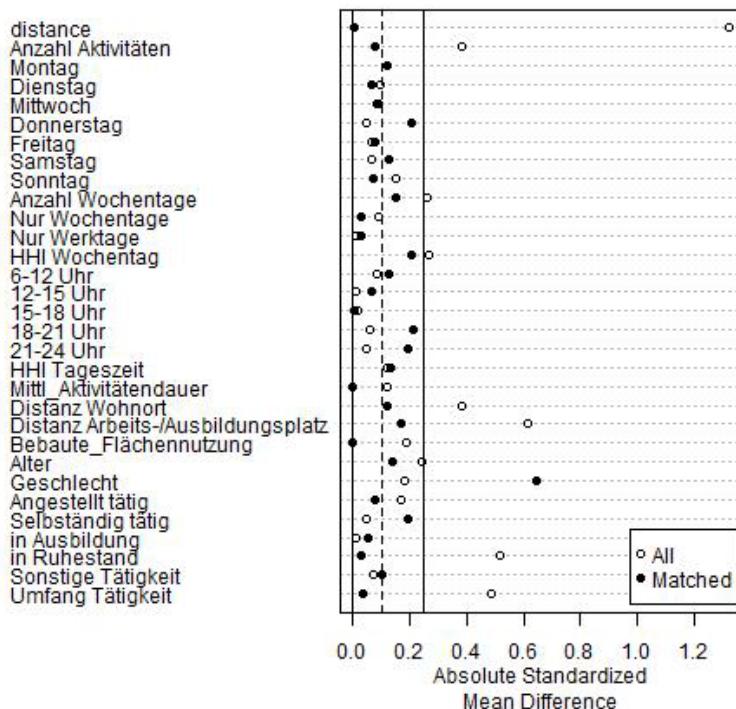


Abbildung 5: Fusionsschritt 1: Standardisierte absolute mittlere Abweichung der Kovariate

Die Überprüfung des vierten Kriteriums gilt nach Kiesl und Rässler (2006) als Validierung der ersten Stufe, indem Verteilungen von Attributen des Spenderdatensatzes (mobidrive) im Ursprung und im fusionierten Datensatz verglichen werden. Der RMSE wird jeweils für die Kennwerte über die Freizeitkategorien berechnet. Die Kennwerte und Abweichungen der finalen Lösung sind in Tabelle 12 dargestellt. Ein statistischer Test ergibt allerdings, dass sich die Verteilungen aller Kennwerte signifikant unterscheiden ($p > 0,01$). Der Unterschied wird allerdings akzeptiert, da die Verteilungen von Anzahl Orte bzw. Wege pro Person in den Ausgangsdatensätzen deutliche Unterschiede aufweisen (vgl. Kapitel 5.2.3). Dennoch sind Aspekte wie ein im Vergleich geringer Anteil von Orten und Aktivitäten der Freizeitkategorie Vereine und Gruppen zu beobachten. Ebenso weist diese Freizeitkategorie in beiden

Datensätzen den höchsten Wert an Aktivitäten pro Ort auf, was für eine in Teilen erfolgreiche Übertragen von Korrelationen zwischen Verhaltensmustern und Freizeitkategorie spricht.

Tabelle 12: Validierung ausgewählter Aktivitätenortskenngroßen in fusionierter MOBIS-Erhebung und mobidrive-Erhebung (Fusionsschritt 1)

Kennwert		RMSE			
Anteil Orte je Freizeitkategorie		0,124			
Anteil Aktivitäten je Freizeitkategorie		0,155			
Anzahl Aktivitäten pro Ort je Freizeitkategorie		3,131			
Freizeitkategorie	Orte	Aktivitäten	Orte [%]	Aktivitäten [%]	Aktivitäten / Ort
MOBIS fusioniert					
Kultur	10,5	12,5	28,3%	29,8%	1,18
Vereine u. Gruppen	1,31	2,11	3,5%	5,1%	1,62
Privater Besuch	14,4	14,9	38,6%	35,6%	1,04
Sport u. Erholung	11	12,3	29,6%	29,5%	1,12
mobidrive					
Kultur	4,3	6,2	28,1%	20,8%	1,92
Vereine u. Gruppen	1,9	5,0	12,0%	16,8%	3,62
Privater Besuch	4,6	9,3	29,6%	31,2%	2,73
Sport u. Erholung	4,7	9,3	30,3%	31,2%	2,67

Der zweite Fusionsschritt verknüpft die Aktivitätenorte der MOBIS-Erhebung mit Informationen zur Ortsbeziehung aus der Aktivitätenorterhebung dieser Arbeit. Die Übereinstimmung der zugeordneten Paare wird über die ersten beiden Kriterien analysiert. Eine gesonderte Validierung des zweiten Fusionsschrittes durch einen Vergleich von Verteilungen erfolgt nicht. Die standardisierte absolute mittlere Abweichung des fusionierten Datensatzes (*Matched*) im Vergleich zu beiden Ausgangsdatensätzen (*All*) findet sich in Abbildung 6. 6 der 23 Kovariate weisen eine standardisierte Differenz über 0,25 auf. Insbesondere bei der Distanz zu Arbeits- und Ausbildungsplatz zeigen sich deutlichere Unterschiede, die durch den Fusionsprozess nicht aufgelöst werden können. Eine vollständige Übersicht inklusive der Varianzverhältnisse findet sich im Anhang A in Tabelle 35.

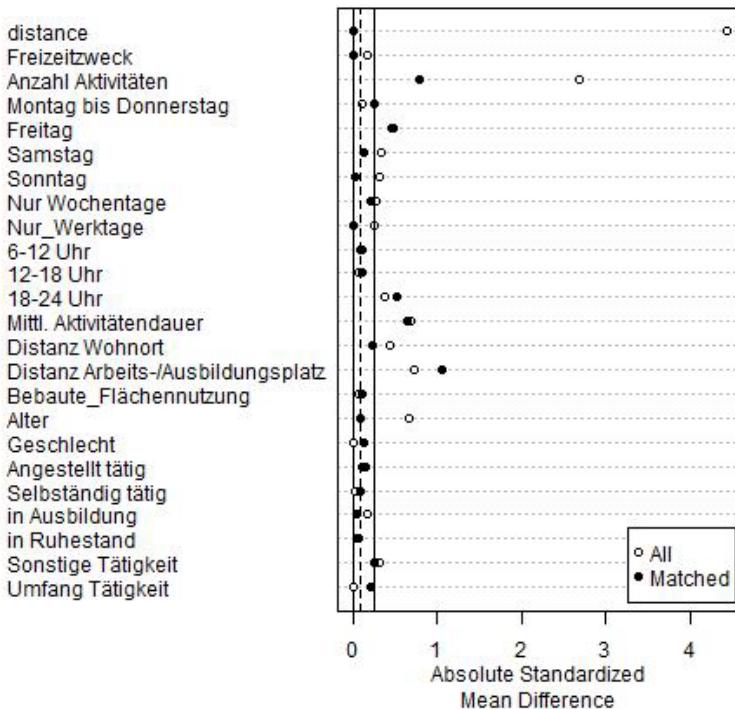


Abbildung 6: Fusionsschritt 2: Standardisierte absolute mittlere Abweichung der Kovariate

5.4 Synthese

Die Analyse des Verkehrsverhaltens und der Zielwahl erfolgt überwiegend über aktivitäten- und wegebasierte Erhebungen, aus denen sich eine Vielzahl von Informationen über das räumlich-zeitliche Verhalten flexibel gewinnen lassen. Dennoch kann ein Mehrwert in Erhebungen liegen, die individueller auf die Mensch-Ort-Interaktion eingehen und wie der in dieser Arbeit den sozialen Kontext erfassen. Diese Informationen wären in aktivitäten- oder wegebasierten Erhebungen mit einem hohen Aufwand verbunden. Beide Informationsgrundlagen werden im Weiteren für die Analyse verwendet, um die

Zielwahl mit möglichst vielen Blickwinkeln zu betrachten. Die Fusion der Datensätze schafft eine Datengrundlage, die sowohl umfangreiche Informationen über Aktivitäten und ihre Orte im Längsschnitt als auch Informationen zur Ortsbeziehung liefert. Die erste pilothafte Anwendung einer solchen Datenfusion zeigt die Machbarkeit der Methode auf. Es wird allerdings auch deutlich, dass die methodischen Unterschiede der Datengrundlagen unterschiedliche Verteilungen verursachen und eine Validierung in dieser Situation Schwierigkeiten mit sich bringt.

6 Analyse des räumlichen Verhaltens und der Zielwahlstabilität

Das folgende Kapitel nimmt eine analytische Perspektive ein und betrachtet auf Basis von Verkehrserhebungen das räumliche Verhalten von Personen in ihrem Alltagsumfeld über einen Zeitraum von mehreren Wochen. Die beginnende Analyse betrachtet Aktivitätenorte und das damit assoziierte Verhalten und fokussiert Aktivitätenhäufigkeit, - dauer und die räumliche Lage. Mit der Analyse von Innovationsraten wird im Längsschnitt das Streben nach Variation untersucht. Ausgehend von diesen grundlegenden Analysen werden Charakteristiken von Ortsbeziehungen herausgearbeitet, die sich aus ihrer Motivation, Verbindlichkeit und Flexibilität ergeben. Mit dieser Perspektive liefern die Analysen Erkenntnisse über Gründe und Rahmenbedingungen der Ortsbeziehungen, die in Verkehrserhebungen sonst nicht gewonnen werden können. Die Stabilität des Zielwahlverhaltens kann über die Betrachtung von wiederkehrenden Entscheidungen im Längsschnitt analysiert werden. Mit Hilfe von Indikatoren wird die Konzentration bzw. Verteilung von Zielwahlentscheidungen untersucht.

Die zentralen Datengrundlagen bilden die fusionierte MOBIS-Erhebung und die in Kapitel 5.2 beschriebene Aktivitätenorterhebung. Weiterhin werden für einzelne Aspekte die Ergebnisse anderer Erhebungen zum Vergleich herangezogen.

6.1 Analyse des räumlichen Verhaltens

Die Beschreibung des räumlichen Verhaltens erfolgt auf der Ebene von Aktivitätenorten. Ein Aktivitätenort ergibt sich aus allen Aktivitäten, die zur selben Freizeitkategorie am selben Ort stattgefunden haben. Folgende

Verhaltenscharakteristiken der Aktivitätenorte und der Personen können dabei berücksichtigt werden: Anzahl der Aktivitäten je Ort, Entfernung des Ortes vom Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsort, mittlere Dauer der Aktivitäten je Ort und Anzahl der Aktivitätenorte je Person. Die Charakteristiken repräsentieren das Verhalten über sechs Wochen. Es werden Einflüsse von soziodemografischen und ortsspezifischen Charakteristiken sowie gegenseitige Einflüsse der zentralen Eigenschaften untersucht. Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Ausprägungen einer Charakteristik wird jeweils mit einer Analyse der Varianz (ANOVA) sichergestellt.

Innerhalb der betrachteten sechs Wochen der MOBIS-Erhebung wurden im Mittel 26,5 Orte von den Personen mit dem Zweck Freizeit erfasst. Im Vergleich wurden in der mobidrive-Erhebung lediglich 15,5 Orte berichtet. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Zahl der erfassten bzw. berichteten Aktivitäten, die in der MOBIS-Erhebung mit 38,9 Aktivitäten im Vergleich zu 29,8 größer ist. Die Unterschiede sind überwiegend durch die unterschiedliche Erhebungsmethoden zu erklären, können aber auch durch die unterschiedliche Referenzbevölkerung beeinflusst sein. Zwischen den Freizeitkategorien ergeben sich Unterschiede: Die Kategorie Vereine und Gruppen weist die geringste Zahl an Orten und Aktivitäten auf, was mit den Ergebnissen der Erhebung Mobilität in Deutschland übereinstimmt (vgl. Kapitel 2.1.1). Das Verhältnis der Aktivitäten pro Ort und damit das Maß an Wiederholung ist mit 1,81 in den MOBIS-Daten bzw. 3,62 in den mobidrive-Daten am höchsten unter den Freizeitkategorien. Die Kategorie Privater Besuch weist in beiden Erhebungen den größten Anteil der Aktivitäten und einen sehr hohen Anteil der Orte auf. Die Kategorie Kultur fällt in der mobidrive-Erhebung mit der geringsten Anzahl an Aktivitäten pro Ort und dem damit variabelsten Verhalten auf. In der fusionierten MOBIS-Erhebung ergeben sich zwischen Kultur, Privater Besuch und Sport und Erholung nur geringe Unterschiede. Die beobachteten Unterschiede zwischen den Erhebungen hinsichtlich der Freizeitkategorien können zusätzlich zu den Aspekten oben durch die Methode der Datenfusion zustande gekommen sein. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Variation im Modell unberücksichtigt bleibt und sich daher z. B. nur geringe

Unterschiede zwischen bestimmten Freizeitkategorien zeigen. Eine Gesamtübersicht der Verhaltenskennwerte in MOBIS- und mobidrive-Erhebung findet sich in Tabelle 13.

Tabelle 13: Zentrale Kennwerte zu Aktivitätenorten von MOBIS und mobidrive

Freizeitkategorie	Orte	Aktivitäten	Verteilung der Orte	Verteilung der Aktivitäten	Aktivitäten pro Ort
MOBIS-Erhebung fusioniert					
Kultur*	8,1	11,8	30,4 %	31,9 %	1,5
Vereine u. Gruppen*	1,1	2,0	4,2 %	5,4 %	1,8
Privater Besuch*	9,8	12,5	36,8 %	34,0 %	1,3
Sport u. Erholung*	7,6	10,6	28,6 %	28,7 %	1,4
Mobidrive-Erhebung					
Kultur	4,3	6,2	28,1 %	20,8 %	1,9
Vereine u. Gruppen	1,9	5,0	12,0 %	16,8 %	3,6
Privater Besuch	4,6	9,3	29,6 %	31,2 %	2,7
Sport u. Erholung	4,7	9,3	30,3 %	31,2 %	2,7

* Zweck in Datenfusion ergänzt

Es können verschiedene interpersonelle Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Freizeitaktivitätenorte und der Anzahl der Aktivitäten pro Ort festgestellt werden. Eigenschaften wie ein geringeres Alter, Studium oder Ausbildung, der Besitz einer ÖV-Zeitkarte und eine geringere Pkw-Verfügbarkeit gehen mit einer höheren Anzahl an Freizeitaktivitätenorten und damit größeren Variationsmöglichkeiten einher. Die Zahl der Aktivitäten pro Ort nimmt bei Personen unter 29 und über 50 Jahren, im Studium oder Ausbildung befindlichen Personen, Hausmänner oder -frauen, Nichterwerbstätigen und in kleinen Haushalten wohnenden Personen zu. Die beobachtete verstärkte Wiederholung des Verhaltens kann ein Anzeichen für ein stabileres Verhalten sein. Die merkmalspezifischen Kennwerte sind im Anhang in Tabelle 36 zu finden.

Entfernung von Aktivitätenorten

Die ortspezifische Anzahl der Aktivitäten ist ebenso abhängig von der räumlichen Lage. Die Orte mit den meisten Aktivitäten sind mehrheitlich in der direkten Umgebung des Wohnortes zu finden. Je weiter ein Ort vom Wohnort entfernt ist, desto geringer ist das Maß an Wiederholung. Damit entsprechen die Ergebnisse den Beobachtungen anderer Studien (vgl. Kapitel 2.1.2). Distanzen über 100 km treten aufgrund deren Betrachtung als Fernverkern nicht in den folgenden Auswertungen auf. Die Verteilung der Aktivitätenhäufigkeit nach Distanz ist in Abbildung 7 dargestellt.

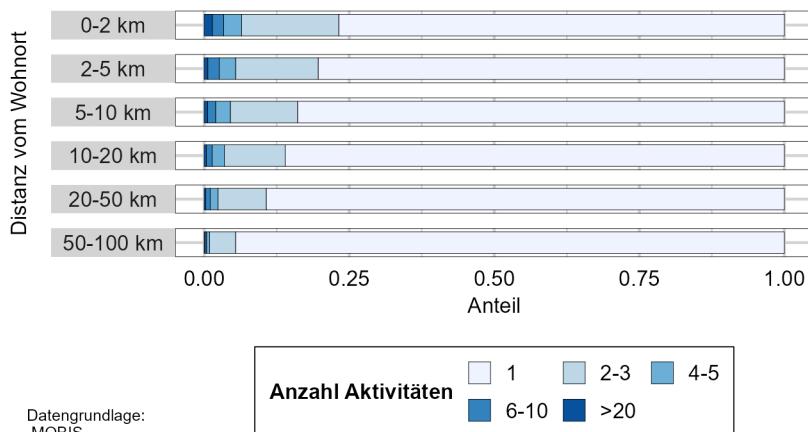


Abbildung 7: Skalierte Verteilung der Aktivitäten je Ort nach Distanz vom Wohnort

In der gemeinsamen Betrachtung der Distanzen von Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsort wird deutlich, dass 90 bzw. 85 % der Aktivitätenorte in einer maximalen Entfernung von 50 km liegen. Die Orte sind dabei im Mittel näher am Wohnort als am Arbeits- bzw. Ausbildungsort gelegen. Die mehrmalig aufgesuchten Orte orientieren sich darüber hinaus eher am Wohn- als am Arbeits- bzw. Ausbildungsort. Es ist ein großer Anteil an Distanzen bis 50 km vom Arbeits- und Ausbildungsort, mitunter auch mit einer größeren Anzahl

Aktivitäten, zu beobachten. Die Verteilungen der Aktivitätenorte über die Distanz vom Wohn- und Arbeits- bzw. Ausbildungsort sind in Abbildung 8 dargestellt.

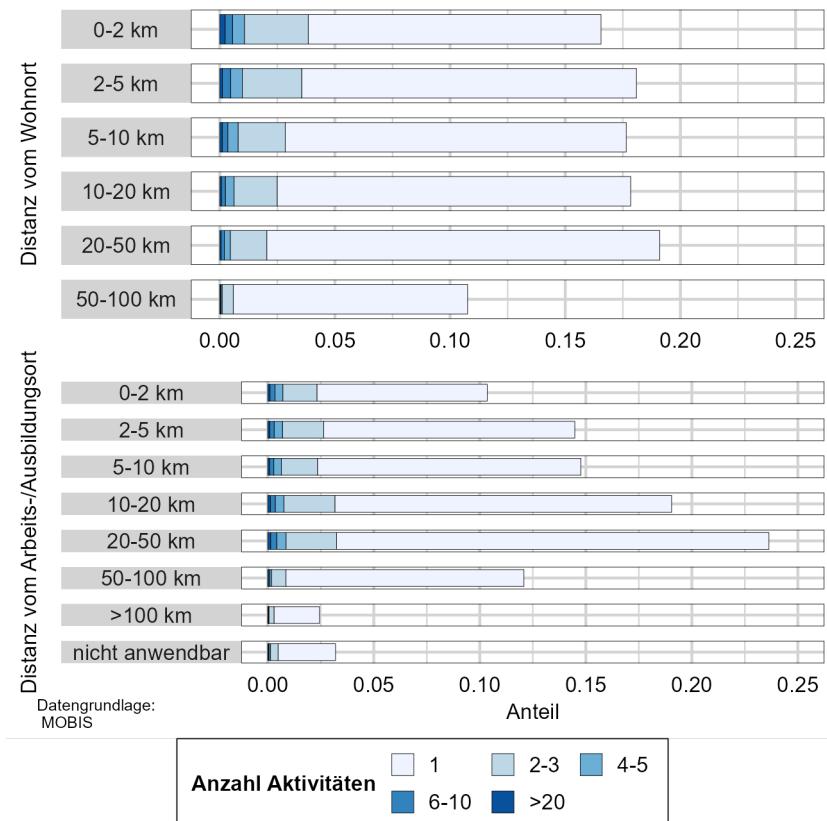


Abbildung 8: Verteilung der Anzahl Aktivitäten je Ort nach Distanz von Wohn- und Arbeits-/Ausbildungsort

Die verschiedenen Freizeitkategorien verteilen sich unterschiedlich über die Distanzklassen. Der Anteil der Aktivitätenorte zu Sport- und Erholungszwecken nimmt beispielsweise mit zunehmender Distanz zu, wohingegen vor allem der Anteil der Kategorie Vereine und Gruppen abnimmt. Aber auch bei

kulturellen Aktivitätenorten ist eine Tendenz zu kürzeren Distanzen zu beobachten. Die Verteilung der Aktivitätenorte nach Freizeitkategorie und Distanz vom Wohnort ist in Abbildung 9 dargestellt.

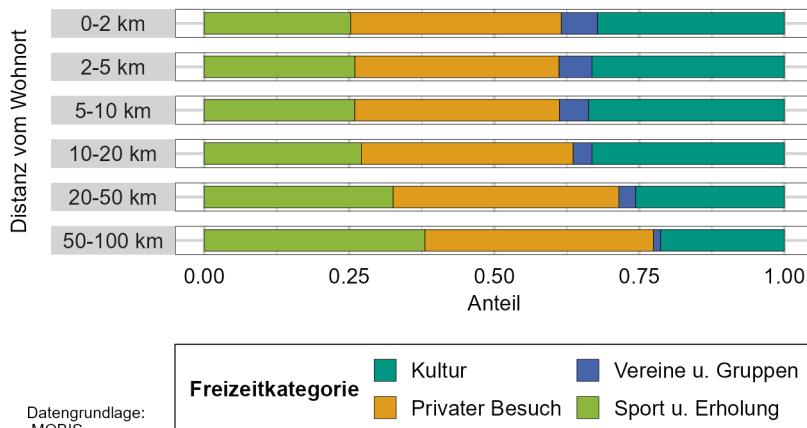


Abbildung 9: Freizeitkategorie nach Distanz vom Wohnort

Eine weiter differenzierte Betrachtung der Freizeitkategorien offenbart zusätzliche Erkenntnisse, welche spezifischen Aktivitäten in den jeweiligen Distanzklassen zu finden sind. Längere Distanzen bedeuten bei Sport- und Erholungsaktivitätenorten mehrheitlich Ausflugsziele wie Zoos, Freizeitparks oder Wandergebiete. Bei privaten Besuchen werden längere Distanzen mehrheitlich durch einen Verwandtschaftsbesuch verursacht. Im Bereich Kultur sind kulturelle Großveranstaltungen wie Konzerte oder große Sportevents sowie der Besuch kultureller Einrichtungen wie Kino oder Theater für die längeren Distanzen verantwortlich. Es zeigt sich erneut, dass die häufig aufgesuchten Aktivitätenorte einer Freizeitkategorie in der Nähe des Wohnortes zu finden sind. Die Verteilung der detaillierten Freizeitkategorien nach mittlerer Anzahl von Besuchen über sechs Wochen und Distanz vom Wohnort ist in Abbildung 10 zu finden.

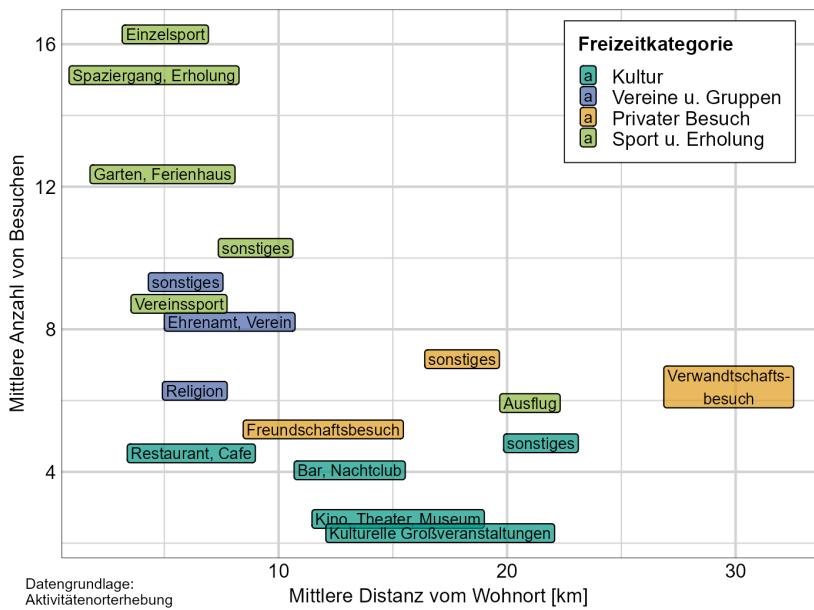


Abbildung 10: Mittlere Besuchshäufigkeit von Aktivitätenorten nach detaillierter Freizeitkategorie und Distanz vom Wohnort

Die Entfernung der Aktivitätenorte variiert in Abhängigkeit nahezu jedes personenspezifischen Merkmals. Die Betrachtung differenziert dabei nicht nach Freizeitkategorie. Auffällig sind insbesondere die sehr hohen Distanzen der Aktivitätenorte zum Wohn- und Arbeitsort von älteren und/oder in Rente befindlichen Personen. Ebenso gehen Berufstätigkeit, ein größerer Umfang der Tätigkeit, eine geringe Haushaltsgröße, die Nutzung von Homeoffice, der Besitz einer ÖV-Zeitkarte, eine durchgängige Pkw-Verfügbarkeit vermehrt mit weiteren Distanzen zu den Aktivitätenorten einher. Die merkmalspezifischen Kennwerte sind im Anhang in Tabelle 36 zu finden.

Mittlere Aktivitätendauern an Aktivitätenorten

Die Aktivitätenorte können des Weiteren über die mittlere Dauer der dortigen Aktivitäten charakterisiert werden. Mit etwa 85 % ist ein Großteil dieser mittleren Dauern geringer als drei Stunden. Auffällig ist dabei, dass die wiederholt vorkommenden Orte vermehrt mittlere Dauern zwischen ein bis drei Stunden aufweisen. Einmalig aufgesuchte Orte werden vermehrt für weniger als 30 min aufgesucht. Die Verteilung der Aktivitätenorte nach Dauer und Anzahl Aktivitäten ist in Abbildung 11 dargestellt.

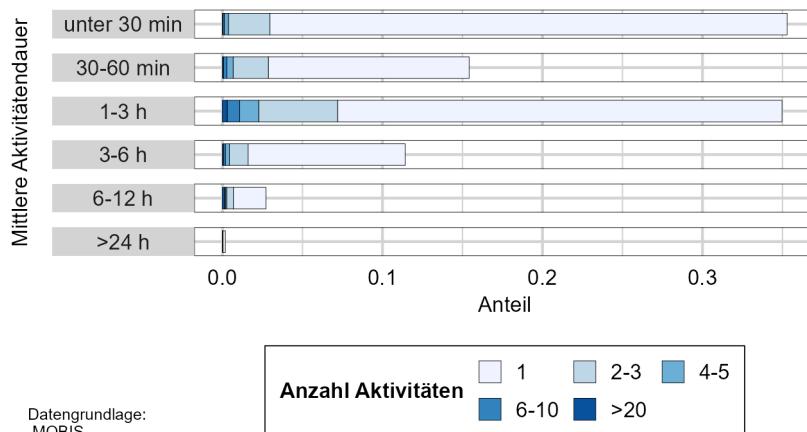


Abbildung 11: Anzahl Aktivitäten je Ort nach mittlerer Aktivitätendauer

Die Aktivitätendauern weisen für die verschiedenen Freizeitkategorien nur geringe Unterschiede auf. Den größten Anteil an mittleren Aktivitätendauern über drei Stunden haben Orte von Vereins- und Gruppenaktivitäten. Der größte Anteil an mittleren Dauern unter 30 min findet sich bei privaten Besuchen. Die Ergebnisse basieren auf statistisch zugeordneten Aktivitätentypen und sind daher durch andere Erhebungen zu bestätigen. Die Verteilung der mittleren Aktivitätendauern nach Freizeitkategorie ist in Abbildung 12 dargestellt.

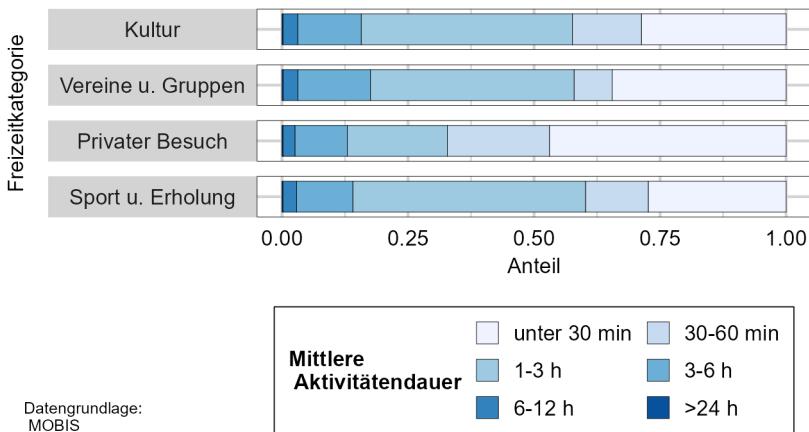


Abbildung 12: Mittlere Aktivitätendauer je Aktivitätenort nach Freizeitkategorie

Die differenziertere Betrachtung der mittleren Dauern von Aktivitätenorten auf Basis der Aktivitätenorterhebung zeigt sowohl Übereinstimmung als auch Unterschiede auf. Übereinstimmend zeigt sich, dass die meisten mittleren Aktivitätendauern über alle Zwecke zwischen ein und drei Stunden liegen. Aufällig ist aber ein deutlich geringerer Anteil an kurzen mittleren Aktivitätendauern. Die sehr kurzen Aktivitätendauern sind vermehrt an Orten der Kategorie Religion, Einzelsport und Spaziergang zu finden und damit nicht im Bereich der privaten Besuche. Mittlere Aktivitätendauern über drei Stunden finden sich vermehrt bei privaten Besuchen, Ausflügen, Besuch eines eigenen Gartens und kulturellen Veranstaltungen. Die mittleren Aktivitätendauern der Freizeitkategorien sind in Abbildung 13 zu finden.

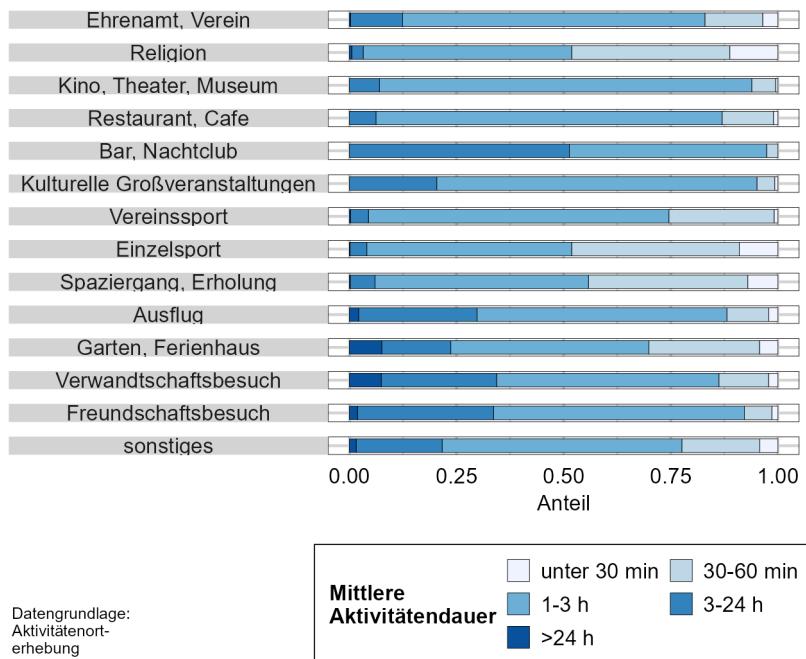


Abbildung 13: Mittlere Aktivitätendauer je Aktivitätenort nach detaillierter Freizeitkategorie

Hinsichtlich der mittleren Aktivitätendauern an den Orten in Zusammenhang mit der Distanz zum Wohnort zeigen sich nur leichte Unterschiede. Gemäß den Beobachtungen zum Verhältnis von Aktivitätendauer und Reisezeit (vgl. Kapitel 4.1) ist die Erwartung, dass mit zunehmender Distanz die mittleren Aktivitätendauern ansteigen. Dies ist in Ansätzen bei den größeren Anteilen von Aktivitäten länger als drei Stunden zu beobachten. In den Distanzklassen zwischen 5 und 50 km überwiegen mittlere Aktivitätendauern zwischen ein und drei Stunden. Der höhere Anteil kurzer und mittlerer Aktivitätendauern unter einer Stunde in der Distanzklasse zwischen 50 und 100 km kann mit Aktivitäten erklärt werden, die an mehreren Orten hintereinander stattfinden. So zeigten sich z. B. einige Besichtigungs-, Wander- und Skiausflüge, die in dieser Datengrundlage aus einer Verkettung mehrerer Aktivitäten

bestehen. Die Verteilung der mittleren Aktivitätendauern über die Distanzklassen ist in Abbildung 14 zu finden.

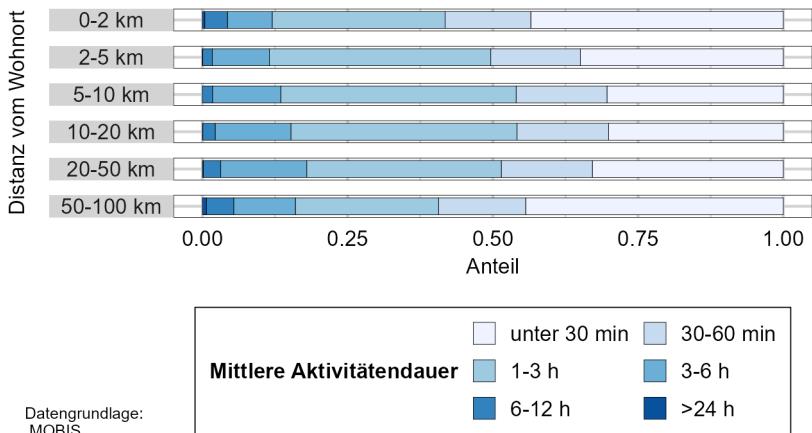


Abbildung 14: Mittlere Aktivitätendauer an Freizeitaktivitätenorten nach Distanz vom Wohnort

Signifikante Einflüsse auf die mittlere Dauer der Freizeitaktivitäten an den Orten finden sich nur im geringen Maße. Eigenschaften wie ein Haupt- oder Realschulabschluss und ein kleiner Haushalt ohne Kinder gehen mit im Mittel längeren Aktivitäten einher. Die merkmal-spezifischen Kennwerte sind im Anhang in Tabelle 36 zu finden.

Innovationsraten

Die Innovationsrate einer Person betrachtet die Anzahl der täglich neu besuchten Aktivitätenorte und ist ein Maß für die Neigung einer Person zu Variation und Abwechselung in ihrem räumlichen Verhalten. Die Kenngröße ist abhängig von der Betrachtungsdauer, da mit zunehmender Dauer, weniger neue Orte beobachtet werden. In der Literatur wurde beobachtet, dass Innovationsraten gegen einen bestimmten Wert konvergieren, welcher als Maß für das Variationsstreben einer Person verwendet werden kann (Schönfelder & Axhausen, 2016). Als Innovationsrate wird der mittlere Wert der sechsten Woche verwendet.

Die Analysen auf Basis des MOBIS-Datensatzes ergeben für die fünfte und sechste Woche der Berichtsdauer eine mittlere Innovationsrate von 1,73 neuen Orten pro Tag (vgl. Abbildung 15). Davon fallen mit 0,72 täglich neuen Orten etwa 42 % auf den Aktivitätentyp Freizeit, was in der Nähe von Werten anderer Studien liegt (Schönfelder & Axhausen, 2016). Die gesamten Innovationsraten streuten in dieser Studie je nach Erhebungsmethode zwischen 0,2 bis 1,5 neuen Orten pro Tag. Höhere Innovationsraten werden in der Zusammenstellung bei Tracking-Studien beobachtet, weshalb auch für diese Studie davon ausgegangen wird, dass das Erfassen der Orte und Aktivitäten mittels Tracking zu höheren Werten führt.

Da der Berichtszeitraum auf den Start an einem Montag angeglichen wurde, können deutliche Effekte von höheren Innovationsraten am Wochenende beobachtet werden. Der Verlauf ist jedoch nicht für alle Aktivitätentypen gleich. Insbesondere Arbeits- aber auch Einkaufsaktivitäten treten vermehrt an Werktagen an neuen Orten auf.

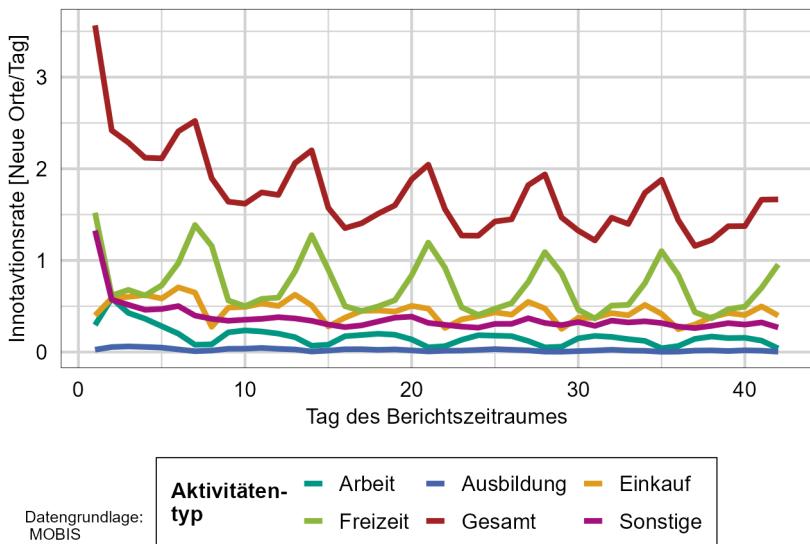


Abbildung 15: Innovationsraten im Verlauf des Berichtszeitraumes

Bei ausschließlicher Betrachtung der vier unterschiedenen Freizeitkategorien werden ähnliche Verläufe bei Kultur, privatem Besuch und Sport und Erholung deutlich (vgl. Abbildung 16). Jeweils am Wochenende lassen sich die meisten neu besuchten Orte beobachten, was in Übereinstimmung mit den Ergebnissen zum variationsreicheren Verhalten am Wochenende steht (vgl. Kapitel 2.1.3). Die höchsten Innovationsraten von 0,28 neuen Orten pro Tag konnten bei privaten Besuchen festgestellt werden. Vereins- und Gruppenaktivitäten weisen deutlich geringere Raten von 0,03 Orten auf.

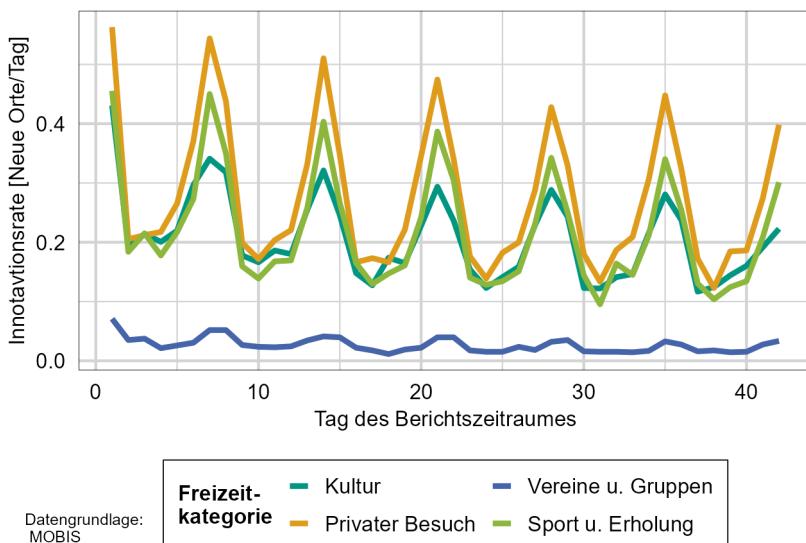


Abbildung 16: Innovationsraten von Freizeitaktivitäten im Verlauf des Berichtszeitraumes

Die Innovationsraten in Bezug auf Freizeitaktivitäten sind insbesondere vom Alter abhängig. Hier zeigen sich mit Ausnahme von Vereins- und Gruppenaktivitäten signifikant höhere Raten bei jüngeren Personen. Weitere deutliche Effekte bei einzelnen Freizeitkategorien zeigen sich in der hohen Rate von Sport- und Erholungsaktivitäten bei in Ausbildung und Rente befindlichen Personen, in der hohen Rate von kulturellen Aktivitäten bei Personen mit höherem Bildungsgrad, in der höheren Rate von Vereins- und Gruppenaktivitäten bei älteren oder teilzeitberufstätigen Personen und in höheren Raten von Kultur-, Sport- und Erholungsaktivitäten bei ÖV-Zeitkartenbesitz bzw. geringerer Pkw-Verfügbarkeit. Diese Personenmerkmale können daher mit einer entsprechend größeren räumlichen Verhaltensvariabilität assoziiert werden.

6.2 Charakterisierung der Ortsbeziehungen

Neben den räumlich-zeitlichen Charakteristiken der Aktivitätenorte von Personen soll die Beziehung zwischen Ort und Person untersucht werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Art der Beziehungen mitbestimmend für die Stabilität des Zielwahlverhaltens ist. Die folgenden Auswertungen orientieren sich an der Einteilung von Puhe (2023). Sie differenziert den Charakter einer Beziehung anhand der räumlichen und zeitlichen Flexibilität, der Verbindlichkeit und der Motivation. Im Folgenden werden alle Dimensionen mit Ausnahme der zeitlichen Flexibilität berücksichtigt, da diese insbesondere eine Fragestellung der Aktivitätenplanung ist. Die Charakteristiken wurden mithilfe von 13 Items erhoben. Es wurde entweder die Zustimmung zu verschiedenen Aussagen (stimme nicht zu – stimme voll zu) oder die Häufigkeit des Zutreffens (immer – nie) auf einer Skala von eins bis fünf abgefragt. Es werden jeweils Mittelwerte mit 95 %-Konfidenzintervall angegeben.

Die räumliche Flexibilität einer Beziehung charakterisiert sich darüber, ob und in welchem Maße örtliche Alternativen für die Durchführung einer Aktivität bestehen. In diesem Sinne ist eine Ortsbeziehung nicht zwingend ortsgebunden, sondern orientiert sich am Charakter einer Aktivität, den mit ihr verbundenen Personen, falls zutreffend, und dem Angebot eines Ortes. Die Differenzierung nach verschiedenen Freizeitkategorien zeigt auf, dass auch innerhalb der Freizeitkategorien ein heterogenes Bild besteht und sowohl Orte aufgesucht werden, zu denen keine Alternativen bestehen, als auch Orte, zu denen meistens Alternativen vorhanden sind (vgl. Abbildung 17). Im Mittel bestehen zu Orten von Vereins- und Gruppenaktivitäten seltener Alternativen als zu kulturellen Aktivitätenorten. Die Unterschiede zwischen den Freizeitkategorien spiegeln den Charakter der Aktivitäten wider. Eine größere räumliche Flexibilität der Ortsbeziehungen ist tendenziell bei Haushalten mit Kindern, mit höherem Einkommen und bei einem höheren Bildungsgrad zu beobachten.

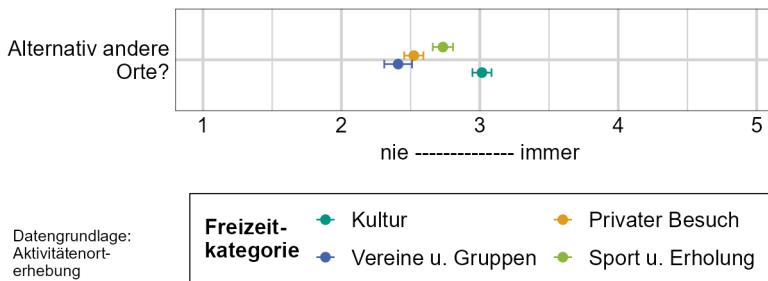


Abbildung 17: Antworten zu Item Räumliche Flexibilität in Aktivitätenorterhebung nach Freizeitkategorie

Die Aussagen der Items der Kategorie Verbindlichkeit erfassen, in welchem Maße eine Aktivität kurzfristig anpassbar ist und welche Priorität ihr eingeräumt wird. Dabei wird sowohl die Planung der Aktivitäten an diesem Ort als auch deren Routinisierung berücksichtigt. Über alle Items hinweg zeigt sich ein im Mittel höheres Maß an Zustimmung zu allen Aussagen (vgl. Abbildung 18). Darin wird die Gleichzeitigkeit von vermeintlich gegensätzlichen Eigenschaften aufgezeigt: Aktivitäten können sowohl eher routiniert stattfinden oder wurden mehrere Tage im Voraus geplant, sind aber dennoch zu einem gewissen Maß spontan entscheidbar. Private Besuche und kulturelle Aktivitäten sind im Mittel stärker mit anderen Personen abgesprochen und längerfristig geplant. Damit einher geht auch eine etwas geringere Spontanität bei der kurzfristigen Entscheidung und eine etwas geringere Routinisierung. Die geringste Absprache und Planung findet bei Ortsbeziehungen von Sport und Erholungsaktivitäten statt, zum einen, weil teils keine andere Person involviert ist, zum anderen, weil die Durchführung einer Sport- oder Naherholungsaktivität vor Ort flexibel ist (z. B. Spaziergang, Einzelsport). Dies zeigt sich ebenfalls an der im Mittel größeren Zustimmung zu Spontanität. Dennoch sind Beziehungen aus dem Sport- und Erholungsbereich weitgehend eingespielt und routiniert, was auf vermehrte unterbewusste und wiederkehrende Entscheidungen hindeutet. Vereins- und Gruppenbeziehungen sind in dieser Dimension ebenfalls stark, sind aber im Vergleich zu Sport- und Erholungsaktivitäten häufiger abgesprochen und geplant. Sie zeichnen sich zudem durch

eine im Vergleich zu den anderen Freizeitkategorien deutlich geringere Spontanität aus, da sie aufgrund festgelegter Termine verbindlicher wahrgenommen werden.

Einflüsse durch Personencharakteristiken finden sich in der Haushaltsgröße und -zusammensetzung. Personen aus größeren Haushalten und solchen mit Kindern weisen mehr Beziehungen auf, bei denen eine längerfristige Planung oder eine Absprache mit anderen notwendig ist. Ebenfalls zeigen sich Anzeichen, dass dies auch für Haushalte mit höherem Einkommen und einem Hund im Haushalt der Fall ist.

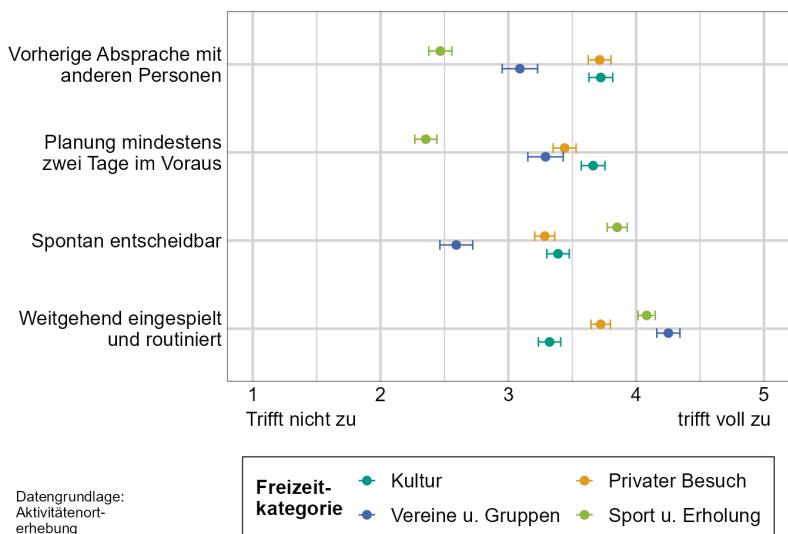


Abbildung 18: Zustimmung zu Items Verbindlichkeit in Aktivitätenorterhebung nach Freizeit-kategorie

Die folgenden Items charakterisieren die Selbst- und Fremdbestimmtheit von Beziehungen und den entsprechenden Aktivitäten. Die Aussagen „Ich kann sein, wer ich bin“, „Ich treffe Menschen, die mir etwas bedeuten“ und „Ich tue die Aktivität, weil ich es wirklich will“ beschreiben die intrinsische Motivation bzw. Selbstbestimmtheit der Ortsbeziehungen. Die Aussagen „Die

Aktivität wird von mir erwartet“, „Ich fühle mich fehl am Platz“ und „Ich habe nur oberflächliche Beziehungen“ beschreiben die extrinsische Motivation bzw. Fremdbestimmtheit einer Ortsbeziehung. Die Aussagen „Aktivitäten an diesem Ort sind örtlich/zeitlich gut mit dem Alltag vereinbar“ zielen auf die Kompetenz ab, dass selbstbestimmtes Handeln möglich ist.

Die Aussagen zur Selbstbestimmtheit werden über alle Freizeitkategorien hinweg mit hoher Zustimmung beantwortet (vgl. Abbildung 19). Personen suchen mehrheitlich für alle Freizeitkategorien Orte auf, an denen sie sein wollen und an denen sie Personen treffen, die ihnen etwas bedeuten. Geringere Werte der Zustimmung zu letzterem finden sich bei Sport- und Erholungsaktivitäten und in geringem Maße bei Vereins- und Gruppen bzw. kulturellen Aktivitäten. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass keine direkte Interaktion mit anderen Menschen an diesen Orten bestehen muss. Eine größere Heterogenität ist bei den Aussagen zur Fremdbestimmtheit zu beobachten. Die Fremdbestimmtheit ist dennoch im Mittel niedrig. Dass sich Personen an den Orten fehl am Platz fühlen, tritt bei allen Freizeitkategorien fast nicht auf. Allerdings ist insbesondere bei vereins- und gruppenbezogenen Ortsbeziehungen zu beobachten, dass tendenziell eher eine Verpflichtung und Erwartungen wahrgenommen werden oder oberflächliche Beziehungen bestehen. Letzteres trifft in ähnlichem Maße auch auf Kultur-, Sport- und Erholungsbeziehungen zu, lediglich private Besuche sind sehr gering davon betroffen. Bei privaten Besuchen fällt allerdings auf, dass die echten Beziehungen teils trotzdem von Erwartungen anderer geprägt sind. Die örtliche und zeitliche Vereinbarkeit mit dem Alltag besteht fast durchgängig. In der Gesamtbetrachtung wird deutlich, dass zwischen den Freizeitkategorien unterschiedliche Motivationsmuster bestehen, und es wird erwartet, dass die Beziehungen sich entsprechend unterschiedlich auf die Stabilität der Verhaltensweisen auswirken.

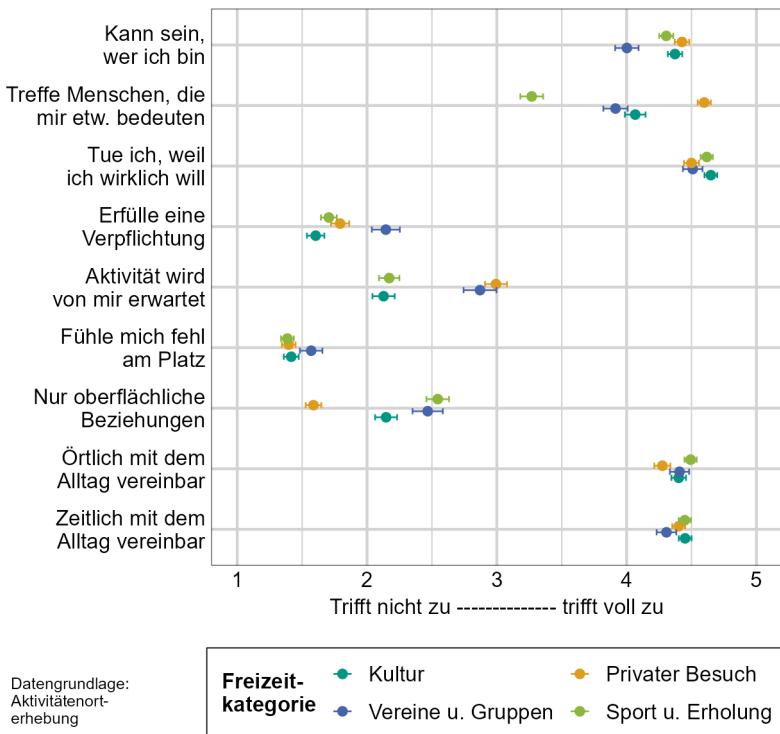


Abbildung 19: Zustimmung zu Items Motivation in Aktivitätenorterhebung nach Freizeitkategorie

Die Aussagen zu den Items Motivation weisen einige Unterschiede in Abhängigkeit von Personencharakteristiken auf. Eine höhere wahrgenommene Selbstbestimmtheit ist bei Personen mit höherem Alter und in Ansätzen bei Personen ohne Kinder im Haushalt und geringerem Bildungsgrad zu beobachten. Die Unterschiede sind im Betrag allerdings gering. Hinsichtlich der Fremdbestimmtheit wird insbesondere bei Personen in größeren Haushalten, in Haushalten mit Kindern oder Hunden, mit einem höheren Bildungsgrad und mit Berufstätigkeit eine größere Zustimmung gegeben. Es werden komplexe soziale Beziehungsmuster hinter diesen Aussagen vermutet, die sich aus den jeweiligen Lebenssituationen und den damit einhergehenden

Verpflichtungen ergeben. Dies zeigt sich ebenfalls dahingehend, dass ein größerer Anteil der Beziehungen räumlich und zeitlich schwieriger mit dem Alltag vereinbar ist, wenn die Personen nicht in Rente und insbesondere in der Ausbildung sind, jüngeren Alters sind, einen höheren Bildungsabschluss aufweisen, in einem größeren Haushalt mit Kindern wohnen oder die Wohndauer vor Ort geringer ist. Beispielhaft ist der Zusammenhang des Bildungsgrades mit den Aussagen der Motivation dargestellt (vgl. Abbildung 20). Auffallend ist insbesondere, dass Personen mit geringerem Bildungsgrad zu durchgängig absoluteren Aussagen tendieren.

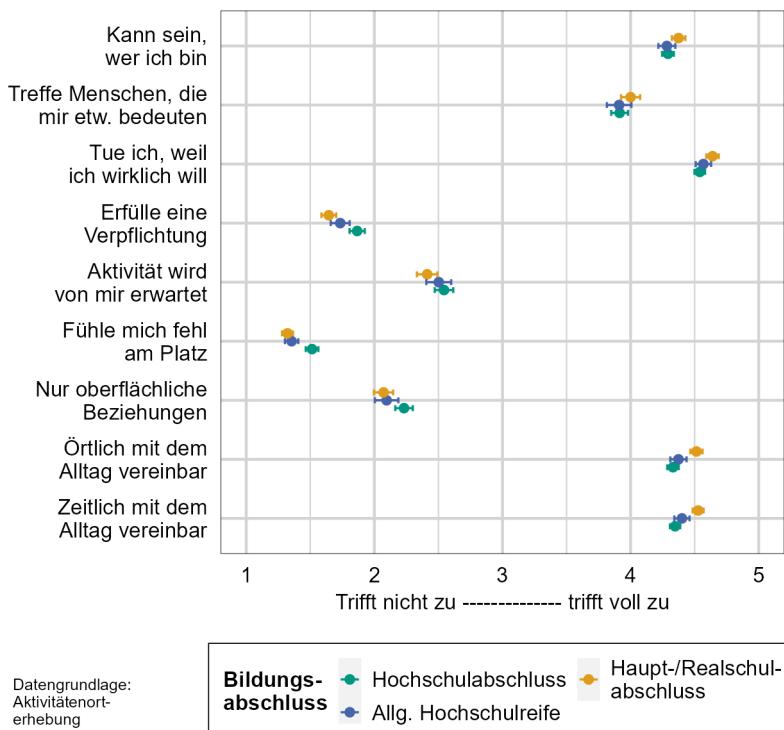


Abbildung 20: Zustimmung zu Items Motivation in Aktivitätenorterhebung nach Bildungsgrad

Die beschriebenen Ergebnisse sind im Rahmen der Erhebungsstichprobe zu interpretieren. Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, ist die mittlere Anzahl an Aktivitätenorten pro Person in der vorliegenden Stichprobe geringer als in den wegebasierten Erhebungen. Es besteht die Möglichkeit, dass mehr Aktivitätenorte berichtet wurden, die eine höhere intrinsische Motivation und eine höhere Selbstbestimmtheit aufweisen.

6.3 Stabilitätsindikatoren

Stabilitäts- bzw. Variabilitätsindikatoren können verwendet werden, um die Verteilung über bzw. Konzentration auf Alternativen innerhalb eines Kennwertes zu erfassen. In Kapitel 2.3.3 wurde eine Reihe von Stabilitätsindikatoren betrachtet, die in den meisten Fällen Anwendung bei der Analyse der Verkehrsmittelwahl finden. In diesem Kapitel werden ausgewählte Indikatoren auf die Analyse der Zielwahlstabilität angewendet.

Ein grundlegender Unterschied zwischen Verkehrsmittelwahl und Zielwahl ist die Möglichkeit der genauen und personenübergreifend einheitlichen Bestimmung der Menge der Alternativen. Im Falle der Zielwahl ist die Bestimmung einer einheitlich definierten Menge an Alternativen in einem generischen Ansatz nicht möglich. Das Setzen bestimmter Rahmenbedingungen wie die Eingrenzung des betrachteten Raumes oder die Erhebung von Daten in einem Auswahlexperiment ermöglichen allerdings eine Definition der Auswahlmenge. Für einen generischen raumübergreifenden Ansatz, um den es sich im vorliegenden Fall aufgrund der Betrachtung eines regionsübergreifenden Datensatzes und der Nutzung von räumlich detaillierten Ortsinformationen handelt, ist daher eine andere Herangehensweise notwendig.

Viele der aufgelisteten Indikatoren nutzen die Information der Anzahl der Alternativen bei der Bestimmung. Ansätze können daher darin bestehen, Definitionen von Indikatoren zu verwenden, die unabhängig von der gesamten

Anzahl der Alternativen sind oder eine Annahme über eine Anzahl an Alternativen zu treffen. Beide Ansätze werden im Folgenden weiterverfolgt.

Von der Gesamtmenge der Alternativen unabhängige Indikatoren

Unter den beschriebenen Stabilitätsindikatoren finden sich einige, die die Anzahl der Alternativen n nicht berücksichtigen. Die für diese Analyse verwendeten Indikatoren umfassen den Variationsindikator (VI), die Anteilsdifferenz der beiden am häufigsten aufgesuchten Orte (DOFTS) und eine Version des *Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)*.

Der Variationsindikator (VI) berechnet den Anteil der am häufigsten gewählten Alternative und stellt damit das Pendant zum Indikator von Thomas et al. (2019) dar. Er ist wie folgt definiert:

$$VI = f_1 \tag{18}$$

Wobei bedeutet:

f_i Anteil einer Alternative i in nach Größe absteigender Reihenfolge

Die Anteilsdifferenz der beiden am häufigsten aufgesuchten Orte (DOFTS) wird analog zur Anwendung von Heinen und Chatterjee (2015) auf die Zielwahl angewendet. Der Indikator nimmt einen Wert von 1 ein, wenn lediglich eine Alternative gewählt wurde. Er ist wie folgt definiert:

$$DOFTS = f_1 - f_2 \tag{19}$$

Der *Herfindahl-Hirschman-Index* nach Rhoades (1993) in seiner nicht auf die Gesamtanzahl standardisierten Version kann unabhängig von n gebildet werden. Seien $i = 1, \dots, n$ alle Alternativen und $i = 1, \dots, m, m \leq n$ die Alternativen, die für eine Person p beobachtet wurden. Für $i > m$ gilt $f_i = 0$, d. h.

$$HHI = \sum_{i=1}^n f_i^2 = \sum_{i=1}^m f_i^2 + \sum_{i=m+1}^n f_i^2 = \sum_{i=1}^m f_i^2 \tag{20}$$

Gleichtes ergibt sich auch aus der Definition von Rosenbluth (1955), wenn folgende Anpassungen vorgenommen werden:

$$\begin{aligned} HHI &= \frac{1}{n} \left[\frac{n \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{(\sum_{i=1}^n f_i)^2} + 1 \right] \\ &= \frac{\sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})^2 + \sum_{i=m+1}^n (f_i - \bar{f})^2}{(\sum_{i=1}^n f_i)^2} + \frac{1}{n} \end{aligned} \quad (21)$$

Im Fall einer sehr hohen Anzahl an Alternativen n kann für den mittleren Anteil über alle Alternativen $\bar{f} = 0$ angenommen werden, denn $\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{f} = 0$. Zusätzlich werden alle Anteile in der Berechnung berücksichtigt, sodass $\sum_{i=1}^n f_i^2 = 1$ gilt. Es folgt:

$$HHI = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})^2 + \sum_{i=m+1}^n (f_i - \bar{f})^2}{(\sum_{i=1}^n f_i)^2} + \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^m f_i^2 \quad (22)$$

Im Ergebnis zeigt sich ein von der unbekannten Gesamtmenge n unabhängiger Indikator, welcher lediglich mit den m beobachteten Alternativen bestimmt werden kann.

Von der Gesamtmenge der Alternativen abhängige Indikatoren

Es besteht wie in den vorigen Kapiteln 2.2.2, 2.2.3 und 4.2 beschrieben die berechtigte Annahme, dass Personen nur eine begrenzte Zahl an Alternativen innerhalb einer Situation, aber auch in der Gesamtheit, wahrnehmen und aufsuchen. Diese Annahme kann für die Definition einer einheitlichen Anzahl an Alternativen verwendet werden, indem unter Berücksichtigung der beobachteten Verteilung die Anzahl der Alternativen n festgesetzt wird. Eine Vergleichbarkeit ist bei der Verwendung einer einheitlichen Anzahl gegeben.

Im vorliegenden Datensatz verteilt sich die Anzahl der Orte nach Freizeitkategorie wie in Abbildung 21 dargestellt. Mit einer maximal berücksichtigen Anzahl von 30 Alternativen können für Kultur 99,8%, für Vereine und Gruppen 100,0%, für private Besuche 98,4% und für Sport und Erholung 99,5% der

Personen vollständig berücksichtigt werden. Bei Personen mit mehr als 30 beobachteten Orten je Zweck werden am seltensten aufgesuchte Orte über der Maximalanzahl ignoriert.

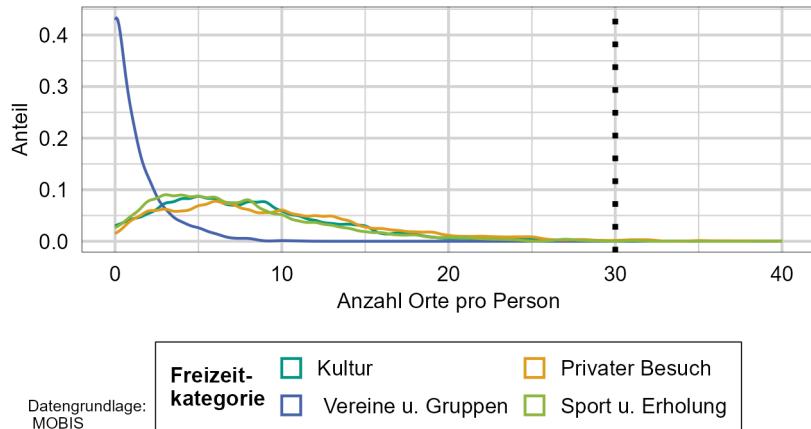


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Anzahl aufgesuchter Orte nach Freizeitkategorie

Die festgesetzte Anzahl der Alternativen wird nun in ausgewählten Stabilitätsindikatoren verwendet. HHI_m und DAL_m haben Stärken bei entweder der Replikationsinvarianz oder Skalierungsinvarianz (Diana & Pirra, 2016). Um beide Dimensionen zu erfassen, werden beide Indikatoren für die weitere Analyse verwendet. Die Indikatoren sind wie folgt definiert:

$$HHI_m = \frac{1}{m} \left[\frac{n \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{(\sum_{i=1}^n f_i)^2} + 1 \right] \quad (23)$$

$$DAL_m = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (f_i^{1-\varepsilon} - 1)}{\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_i \right)^{1-\varepsilon} - 1} \quad (24)$$

Analysen

Mit allen fünf Indikatoren wird die Zielwahlstabilität im vorliegenden Datensatz der MOBIS-Erhebung analysiert. Die Analysen werden separat für jede

Freizeitkategorie durchgeführt und nach soziodemografischen Charakteristiken differenziert.

Die Stabilität der Zielwahl wird mit kumulativen Häufigkeitsverteilungen verglichen (vgl. Abbildung 22). Je höher die Indikatoren im Mittel sind, als desto stabiler wird das Zielwahlverhalten in der jeweiligen Kategorie bewertet. Die Analyse zeigt eine höhere Variabilität der Zielwahl für private Besuche, kulturelle und Sport- und Erholungsaktivitäten. Im Gegensatz dazu gestalten sich Gruppen- und Vereinsaktivitäten räumlich deutlich stabiler. Die Analyse bestätigt Ergebnisse anderer Studien, dass es sowohl stabile als auch variable Verhaltensweisen gibt (Hanson & Huff, 1981). Möglich ist, dass intrapersonelle Korrelation zwischen der räumlichen Stabilität unterschiedlicher Freizeitkategorien besteht. Die Ergebnisse sind konsistent über alle Indikatoren zu beobachten, was für eine grundlegende Anwendbarkeit aller spricht. Folgende Aspekte können im Detail beobachtet werden.

- Die große Zahl der Alternativen führt insbesondere bei den Freizeitzwecken Kultur, Sport und Erholung und privater Besuch häufiger zu keiner Anteilsdifferenz zwischen den beiden häufigsten Alternativen (*DOFTS*). Damit wird eine Ausgeglichenheit angenommen, die aber nicht für alle Alternativen gelten muss. Je größer die Zahl der Alternativen, desto weniger bestimmt erscheint dieser Kennwert für die Zielwahlstabilität.
- Der Indikator HHI_m hat einen größeren Wertebereich als die anderen Indikatoren, der zudem abhängig von der Anzahl der Alternativen ist.
- Insbesondere beim Freizeitkategorie Vereine und Gruppen existiert ein hoher Anteil des jeweils maximalmöglichen Indikatorwertes, der anzeigt, dass lediglich eine Alternative gewählt wurde. Der *Dalton-Index* kann solche Fälle nicht abbilden, weshalb dieser nicht Teil der Darstellung in Abbildung 22 ist. Damit kommt es zu einer leichten Verzerrung der Ergebnisse.

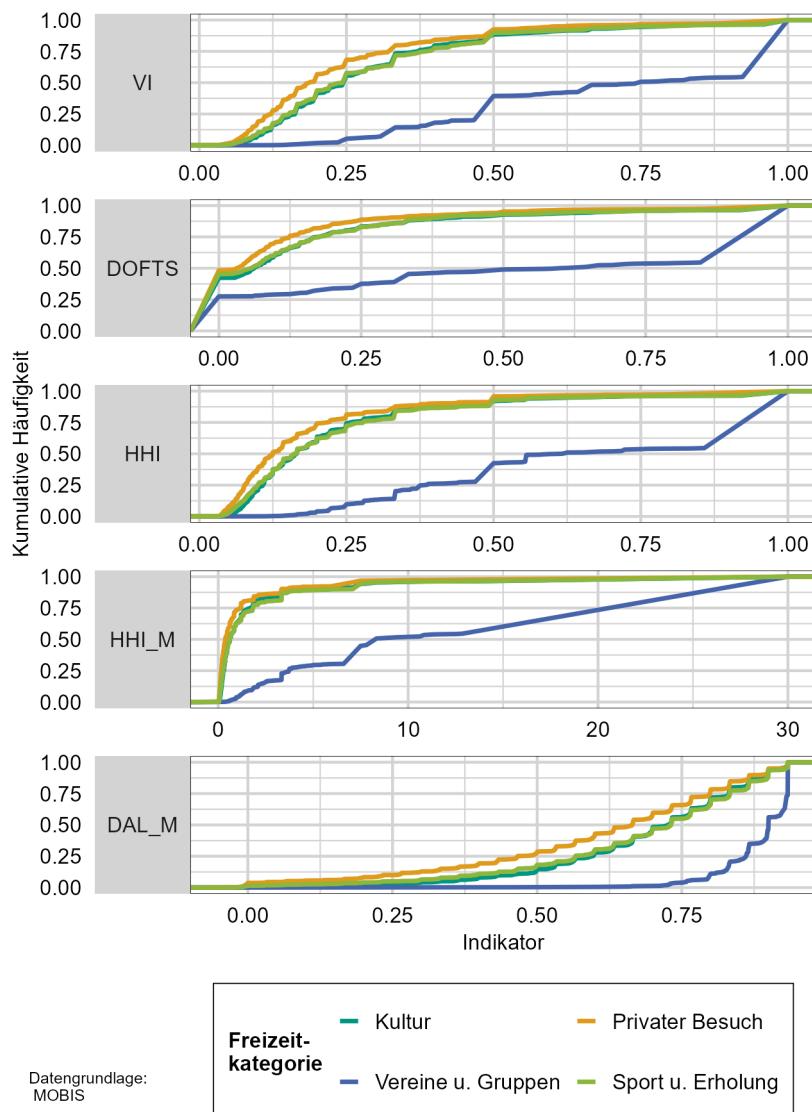


Abbildung 22: Zielwahlstabilität auf Basis unterschiedlicher Indikatoren nach Freizeitkategorie

Die Indikatoren werden auf Korrelationen untereinander untersucht (vgl. Tabelle 14). Der Variationsindikator *VI* korreliert sehr stark mit der nicht-normierten Version des *HHI* und stark mit den Indikatoren *DOFTS* und *HHI_m*. Nur eine vergleichsweise geringe Korrelation findet sich mit *DAL_m*. Der Indikator *DOFTS* weist nur eine relativ geringe bis fast keine Korrelation mit den anderen Indikatoren mit Ausnahme des *VI* auf. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass im Gegensatz zu den anderen Indikatoren eine Differenz zwischen den Anteilen berechnet wird. Die beiden Versionen des *HHI* korrelieren erwartungsgemäß stark miteinander. Den insgesamt eigenständigsten Indikator stellt der *DAL_m* dar. Hier ist zur berücksichtigen, dass der Indikator geringe Auswahlintensitäten durch einen separaten Parameter bevorzugt, und, dass er nicht für Situationen mit einer Alternative berechnet wurde und deshalb diese nicht in den Korrelationen berücksichtigt sind.

Tabelle 14: Pearson-Korrelation der Indikatoren über alle Freizeitkategorien

	VI	DOFTS	HHI	HHI_m	DAL_m
VI	1	0,78	0,93	0,77	0,54
DOFTS		1	0,56	0,32	0,14
HHI			1	0,92	0,67
HHI_m				1	0,60
DAL_m					1

Die über die Indikatoren erfasste Zielwahlstabilität wird im Folgenden auf Einflüsse von soziodemografischen Eigenschaften untersucht. Hierfür wird eine Auswahl der oben dargestellten Indikatoren verwendet. Die angepasste Version des *Dalton-Index DAL_m* wird aufgrund seiner geringeren Korrelation mit den anderen Indikatoren ausgewählt. Es ist davon auszugehen, dass er andere Aspekte der Stabilität erfasst. Darüber hinaus wird die angepasste Version der *Herfindahl-Hirschman-Index HHI_m* als einen Vertreter der stärker korrelierenden Indikatoren *VI*, *HHI* und *HHI_m* verwendet. Alle Unterschiede werden mit einer Analyse der Varianz (ANOVA) auf Signifikanz überprüft. Eine umfassende Darstellung der Ergebnisse findet sich im Anhang in Tabelle 38.

Die insgesamt geringste Stabilität des Zielwahlverhaltens kann im vorliegenden Datensatz für private Besuche beobachtet werden. Zu diesem Ergebnis kommen alle betrachteten Indikatoren. Innerhalb dieses Zwecks kann eine größere Stabilität bei Personen mit einem höheren Alter, ohne Vollzeiterwerbstätigkeit und in Ansätzen bei Frauen beobachtet werden. Damit sind insgesamt nur wenige Einflüsse zu beobachten und die Spannweite der Unterschiede bleibt gering.

Kulturelle Aktivitäten und Sport- und Erholungsaktivitäten weisen ein ähnliches Maß an Zielwahlstabilität in dieser Datengrundlage auf. Je nach Indikator ergeben sich nur leichte Unterschiede zwischen beiden Freizeitkategorien. Bei kulturellen Aktivitäten ist im Mittel bei Personen mit einem Alter über 30 Jahren, einer Vollzeiterwerbstätigkeit, einem geringeren Bildungsgrad, zunehmender Pkw-Verfügbarkeit und ohne Besitz einer ÖV-Zeitkarte eine höhere Zielwahlstabilität zu beobachten. Ein geringer Unterschied besteht des Weiteren beim Geschlecht: hier weisen Männer ein etwas stabileres Verhalten als Frauen auf. Sport- und Erholungsaktivitäten weisen teils ähnliche Muster auf, indem ebenfalls Personen ab einem Alter von 30 Jahren, Angestellte, Freiberuflische sowie Personen ohne eine ÖV-Zeitkarte und zusätzlich Frauen und Hausmänner bzw. -frauen eine höhere Zielwahlstabilität aufweisen.

Vereins- und Gruppenaktivitäten weisen mit deutlichem Abstand das stabilste Zielwahlverhalten auf. Dies spiegelt sich in allen Indikatoren wider. Im Gegensatz zu den anderen Freizeitkategorien zeigen sich hier unterschiedlichere Effekte. Etwa weisen ältere Menschen und insbesondere im Ruhestand befindliche Personen ein variableres Zielwahlverhalten auf als Jüngere. Ebenso zeigen Frauen, Freiberuflische, Teilzeit- und Nichtberufstätige ein variableres Verhalten. Dies kann ein Anzeichen dafür sein, dass tendenziell mehr Ortsbeziehungen bestehen, daher mehr Orte aufgesucht werden können und insgesamt mehr Freiheitsgrade zur Durchführung einer Aktivität bestehen. Weitere Effekte sind schwieriger zu interpretieren: Es zeigen sich Anzeichen, dass sowohl Haushalte ohne Kinder als auch Haushalte mit drei bis vier

Personen ein variables Verhalten aufweisen. Letztere sind aber häufig auch Haushalte mit Kindern.

6.4 Synthese

Freizeitmobilität ist durch eine Vielzahl unterschiedlicher aufgesuchter Orte geprägt, zu denen die Menschen zu einem nicht unerheblichen Teil weite Entfernung zurücklegen. Die Analyse zeigt, dass sowohl räumlich stabile und variable Verhaltensweisen von Personen existieren und deutliche Unterschiede zwischen Freizeitkategorien bestehen. Vereins- und Gruppenaktivitäten stechen in vielen Auswertungen als deutlich stabiler hervor. Darin spiegelt sich die andere Aktivitätsstruktur und eine überwiegende Abhängigkeit von den entsprechenden Institutionen und Organisationen wider. Freizeitaktivitäten werden überwiegend selbstbestimmt durchgeführt, sind aber aufgrund der häufigen sozialen Interaktion häufig mit Erwartungen und/oder Verbindlichkeit verbunden. Sie sind sowohl von Spontanität und damit Flexibilität als auch von Routine und damit Regelmäßigkeit geprägt. Die hohe Selbstbestimmtheit und häufiger räumliche Flexibilität bei der Durchführung von Aktivitäten kann mit den in vielen Teilen variablen Verhaltensweisen in Verbindung gebracht werden. Die Ergebnisse sind allerdings abhängig von der Datengrundlage: Schon bei der grundlegenden Verteilung von Kennwerten zeigen sich Unterschiede und durch die fusionierten Daten bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der Zuordnung von Verhaltensweisen zu den Freizeitkategorien.

7 Verhaltensmodelle und -simulation

Im vergangenen Kapitel wurde gezeigt, dass sich das räumlich-zeitliche Verhalten von Personen in seiner Ausdehnung, seiner Stabilität und den zu grunde liegenden Motiven unterscheidet. Das Ziel dieser Forschungsarbeit besteht neben der Analyse der Zielwahlstabilität insbesondere in der Modellierung dieser Verhaltensweisen und deren Anwendung in Verkehrssimulationen. Damit wird es möglich gemacht, das Zusammenspiel solcher Verhaltensweisen mit den Wirkungen verkehrlicher Maßnahmen in Prognosen zu berücksichtigen und zu quantifizieren. Im Folgenden werden die entwickelten Teilkomponenten des Zielwahlmodells, der Zusammenhang mit dem bestehenden Verkehrs nachfragemodell und die Datengrundlagen bzw. deren Aufbereitung beschrieben.

7.1 Gesamtmodell

Das auf eine detailliertere Modellierung der Zielwahl ausgerichtete Modellkonzept baut auf der grundlegenden Modellumgebung von *mobiTopp* auf (Mallig et al., 2013). *mobiTopp* besteht wie schon in Kapitel 3.3 erläutert aus einer Modellierung von lang- und kurzfristigen mobilitätsbezogenen Entscheidungen. Das Langfristmodul besteht im Wesentlichen aus einer Bevölkerungssynthese, die eine Aktivitätenplangenerierung, eine Zuweisung von festen Orten für Arbeit und Ausbildung und eine Modellierung von Mobilitätswerkzeugen inkludiert. Die Bevölkerungssynthese basiert auf einem Iterative-Proportional-Updating-Verfahren (IPU), welches die Bevölkerungsstruktur mikroskopisch entsprechend den realen Verteilungen nachbildet (Ye et al., 2009). Das Kurzfristmodul führt für den Simulationszeitraum die Ziel- und Verkehrsmittelwahlentscheidungen durch, die sich auf Basis der agentenspezifischen Aktivitätenpläne ergeben und in Interaktion mit dem

Verkehrssystem und anderen Agenten entschieden werden. Der Simulationszeitraum beträgt meist eine Woche, kann aber auch davon abweichen. Das im Folgenden vorgestellte Modellkonzept der Zielwahl erweitert sowohl das Langfrist- als auch das Kurzfristmodul. Eine Übersicht der erweiterten Modellumgebung findet sich in Abbildung 23.

Die zusätzliche Modellkomponente im Langfristmodul erweitert die Bevölkerungssynthese um eine Zuweisung von agentenspezifischen Ortsbeziehungen (im Weiteren Beziehungssynthese genannt). Es werden Umfang, Ausdehnung und räumlich-zeitliche Charakteristiken des Beziehungsnetzwerkes für die Agenten festgelegt. Damit wird das räumlich-zeitliche Verhalten mit einer langfristigen Perspektive im Modell verankert. Die Charakteristiken der Ortsbeziehungen wirken sich im Verlauf des Kurzfristmoduls probabilistisch auf die Zielwahlentscheidungen aus.

Die Modellkomponente der Zielwahl im Kurzfristmodul bleibt in ihrer zuvor bestehenden Grundstruktur bestehen und unterscheidet feste und flexible Ziele nach Aktivitätentyp. In der festen Zielwahl sind die Orte für die Aktivitätentypen Ausbildung und Arbeit fest definiert. Die flexible Zielwahl wählt in einem probabilistischen Wahlmodell situativ geeignete Orte für Aktivitäten aus und wird in dieser Arbeit durch die Integration der Ortsbeziehungen weiter beeinflusst. Die im Entscheidungsmodell bestehenden Einflüsse werden um Einflüsse aus den Ortsbeziehungen erweitert, die deren vermehrte, aber auch situationsspezifische Wahl beeinflusst.

Das Modell ist flexibel hinsichtlich des betrachteten Synthese- und Simulationszeitraumes. Es ist allerdings explizit für einen Zeitraum von mindestens einer Woche ausgelegt. Der tatsächliche Simulationszeitraum kann dabei aber auch kürzer sein als der Synthesezeitraum. Der Synthesezeitraum umfasst den Zeitraum, für den Aktivitätenpläne bereitgestellt werden müssen und auf dessen Basis Attribute der Ortsbeziehungen quantifiziert werden. Der Simulationszeitraum umfasst die letztendliche Dauer der Verkehrsnachfragesimulation im Kurzfristmodul.

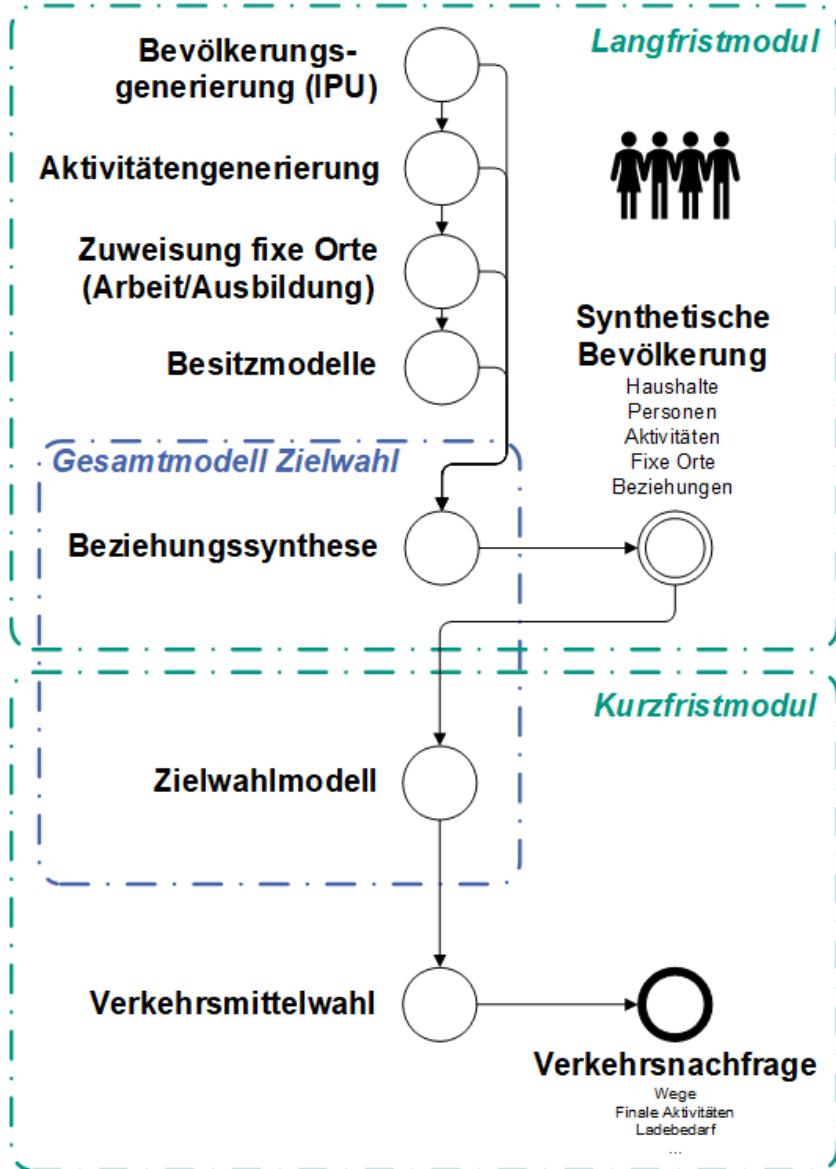


Abbildung 23: Modellübersicht agentenbasierte Verkehrsnachfragesimulation

Als Ortsbeziehungen werden im Rahmen dieses Modells soziale Bindungen zu Orten verstanden, die Zielwahlentscheidungen über rationale Kosten-Nutzen-Abwägungen hinaus beeinflussen. Dies setzt nicht zwingend voraus, dass Beziehungen zu einer anderen Person oder einer Personengruppe bestehen. Die Ortsbeziehungen nehmen die Rolle von „stabilen Grundmustern des Verhaltens“ (T. Kuhnimhof, 2007, S. 32) im Modell ein, die realistische Verhaltensänderung im Modell bewirken sollen.

Die Ortsbeziehungen werden den Agenten durch Anwendung mehrerer Teilmodelle in der Synthese zugewiesen. Die Synthese erfolgt dabei in drei aufeinander aufbauenden Schritten, die in Abbildung 24 dargestellt sind.

Anzahl der Ortsbeziehungen: Der Stand der Forschung über das Zielwahlerhalten weist darauf hin, dass Personen einen Wahrnehmungs- und Erfahrungsraum haben und nur eine bestimmte Anzahl von Orten kennen (vgl. Kapitel 2.2.2 und 2.2.3). Es bestehen darüber hinaus deutliche interpersonelle Unterschiede hinsichtlich der Anzahl (vgl. Kapitel 6.1). Unter Differenzierung unterschiedlicher Freizeitkategorien kann daher eine Zahl an Orten bestimmt werden, die im Betrachtungszeitraum von acht Wochen auftreten und die Grundlage der Ortsbeziehungen stellen. Daher wird auf Basis einer Verkehrserhebung ein Zählmodell zur Erfassung dieser Zusammenhänge erstellt.

Charakteristiken der Ortsbeziehungen: Die Charakteristiken der Ortsbeziehungen bestimmen, wie ausgeprägt eine Präferenz für diesen Ort ist, wann diese aktiviert wird und welche Motive für deren Besuch ausschlaggebend sind. Mehrere Studien weisen darauf hin, dass sowohl stabiles Verhalten und somit starke Präferenzen für einzelne Orte als auch variables Verhalten und somit mehrere wichtige Ortspräferenzen bzw. generell gering ausgeprägte Präferenzen existieren (Axhausen et al., 2002; Hanson & Huff, 1981). Zusätzlich wurde gezeigt, dass die Motive für das Aufsuchen von Orten sich unterscheiden und diese relevant sind, um das Aufsuchen der Orte zu erklären (K. Deutsch et al., 2013; K. E. Deutsch et al., 2011; Puhe et al., 2021). Die Eigenschaften der Ortsbeziehungen werden aus einer Erhebung entnommen und unter Berücksichtigung von übereinstimmenden Agenteneigenschaften

zufällig zugewiesen. Durch die Zuweisung gesamter Sets an Beziehungseigenschaften kann gewährleistet werden, dass intrapersonell realistische Verteilungen von unterschiedlichen Beziehungen mit unterschiedlichen Eigenschaften getroffen werden. Dabei geht es u. a. um ein Gleichgewicht zwischen intrinsisch und extrinsisch motivierten Ortsbeziehungen und eine sinnvolle Verteilung von Präferenzen über die Woche.

Orte der Ortsbeziehungen: Der letzte Schritt der Beziehungssynthese umfasst die räumliche Spezifizierung. Insbesondere die Betrachtung der Aktionsräumen von Personen zeigt auf, dass die Ausdehnung des räumlichen Verhaltens deutliche Unterschiede zwischen Aktivitätstypen und Personen(gruppen) aufweist (Schönfelder & Axhausen, 2003). Darüber hinaus fällt auf, dass die Konzentration von besuchten Orten um den Wohn- und Arbeitsort von Relevanz ist. Unter Anwendung eines diskreten Entscheidungsmodells werden in diesem Schritt personenspezifische Einflüsse, Erreichbarkeit und Attraktivität zur Erklärung der Ortswahl zurand gezogen. Zusätzliche inter- und intrapersonelle Zufallseinflüsse stellen sicher, dass die distanzbezogene Heterogenität im Modell angemessen erfasst wird. Durch die Wahl der Orte wird zugleich die Attraktivität der Ortsbeziehung bestimmt, die auf Basis einer Analyse von freizeitbezogenen Gelegenheiten kalkuliert wird.

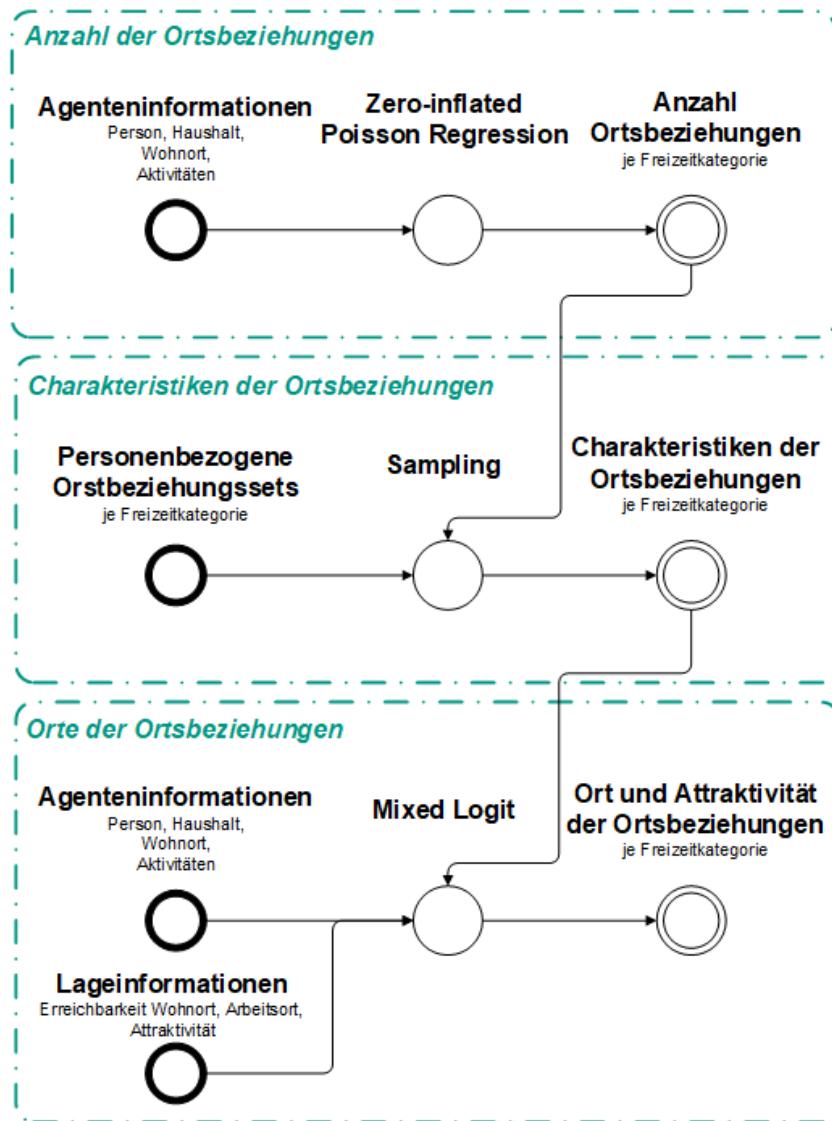


Abbildung 24: Übersicht Synthesisierung von Ortsbeziehungen

Die spätere Wahl der Ziele in der Simulation ist nicht auf die Ortsbeziehungen beschränkt. Diese stellen lediglich Orte dar, mit denen Personen etwas verbinden und die sich agenten- und situationsabhängig auf die Zielwahlentscheidung auswirken. Um innovatives Verhalten, also die Wahl neuer Orte, zu ermöglichen, können auch andere Orte eines Aktivitätentyps gewählt werden, da bestimmte Rahmenbedingungen zur situativen Unangemessenheit von Ortsbeziehungen führen kann. Thill (1992) weist auf diese Dimension der Auswahlmengenbildung hin, da der Analytiker außerhalb des Entscheidungsprozesses steht und diesen nicht vollständig erfassen kann.

Die zeitliche Gültigkeit der Ortsbeziehungen ist eine relevante Rahmenbedingung des Modellkonzepts. Die Ortsbeziehungen sind als kurzfristig gültige Einflüsse zu verstehen, welche sich allerdings mittel- bis langfristig ändern können und sozialen Prozessen und Veränderungen unterliegen. Die Anwendbarkeit dieses Modells beschränkt sich daher auf Maßnahmen mit kurzfristigem Prognosehorizont. Damit bestehen ähnliche Rahmenbedingungen wie bei der Untersuchung von Puhe, Briem, und Vortisch (2020), die kurzfristige Wahl von Einkaufsgelegenheiten prognostizieren.

Das Modell differenziert Orte und Aktivitätentypen. Damit hängt die Granularität der Differenzierung maßgeblich vom Detaillierungsgrad der räumlichen Analyse und der Einteilung der Freizeit-Aktivitätentypen ab. Je feiner die Detaillierung, desto genauer kann zwischen einzelnen Beziehungen bzw. Aktivitätenorten unterschieden werden. Die Einteilung orientiert sich an der räumlichen Analyse von Schönfelder und Axhausen (2016, S. 129–130).

7.2 Aufbereitung der räumlichen Datengrundlage zur Schätzung von Zielwahlmodellen

Im Folgenden werden die Erstellung der Auswahlmengen und die Attributierung der Auswahloptionen für die beiden Zielwahlmodelle erläutert. Sowohl die langfristige Zielwahl der Synthese als auch die kurzfristige Zielwahl der

Simulation bedürfen einer umfangreichen Aufbereitung und Anreicherung der Erhebungsdaten. Aufgrund der Vielzahl an Optionen, die an dieser Stelle möglich sind, wird diese Datenaufbereitung detaillierter als bei den anderen Teilmodellen beschrieben.

Gesamtmenge der Orte

Zuerst wird auf die Aufbereitung der insgesamt zur Auswahl stehenden Orte eingegangen. Orte können entweder als Punktkoordinaten oder aggregiert in einem Polygon dargestellt werden. Die Ortsinformationen der MOBIS-Erhebung liegen als Punktkoordinaten vor. Zum Zwecke der Anonymisierung der Ortsinformationen bestehen allerdings nur Informationen auf Rasterebene mit einer Zellenweite von 100 m. Die Rasterzellen werden als grundlegende räumliche Einheit für die folgenden Analysen gewählt. Die Nutzung von Rasterzellen erfolgte bereits in anderen Modellen, um eine räumlich detaillierte und strukturierte Einheit zu finden (Kitamura et al., 2005). Es sei darauf hingewiesen, dass mit einer anderen räumlichen Einteilung bzw. einem anderen Aggregationslevel andere Ergebnisse entstehen. Je detaillierter z. B. das Aggregationslevel ist, desto mehr Orte und desto weniger wiederholtes Zielwahlentscheidungen können im Mittel beobachtet werden und desto größer ist damit die Zielwahlvariabilität.

Attraktivität der Orte für Freizeitaktivitäten

Ob eine Zelle eine Gelegenheit für eine Freizeitaktivität darstellt, hängt von zwei Informationsgrundlagen ab. Zum einen werden *Points of Interest (POI)*, Landnutzungsdaten und Bevölkerungsdaten auf den unterschiedlichen Freizeitkategorien zuordenbare Elemente untersucht. Zum anderen werden die in der Erhebung berichteten Aktivitätenorte hinzugezogen. Erstere Analyse der Gelegenheiten nutzt in erster Linie *Openstreetmap*-Daten in Kombination mit den Attraktivitätsraten der POI-Kategorien, um Attraktivitätswerte für die drei Freizeitkategorien Kultur, Sport und Erholung sowie Vereine und Gruppen zu generieren. Die Anwendbarkeit der Methode wurde bereits in der Literatur aufgezeigt (Klinkhardt et al., 2021). Die Berechnung aggregiert je nach POI-Kategorie die Anzahl, Fläche oder Geschossfläche der POI innerhalb einer Zelle. Die Attraktivitätsraten übersetzen diese Größen in einen Anziehungswert von Personen pro Tag und nutzen dazu, wo möglich, Werte aus dem Sammelwerk *Ver_Bau*, welches erfahrungsbasierte Anziehungswerte von Gelegenheiten aus Deutschland zusammenfasst (Bosserhoff, 2018). Die Berücksichtigung unterschiedlicher POI-Kategorien deckt somit die gesamte Bandbreite der Freizeitkategorien ab und wird durch die Anwendung einer Linearkombination vereinheitlicht. Alle verwendeten POI-Kategorien inklusive deren Attraktivitätsrate sind im Anhang in Tabelle 39 zu finden. Da für die Freizeitkategorie Privater Besuch keine geeigneten POI-Kategorien zur Verfügung stehen, werden Bevölkerungsdaten der Schweizer Gemeinden mit Landnutzungsdaten verschnitten. Es werden durchschnittliche Bevölkerungsdichten einer Gemeinde berechnet, die sich auf die Gebiete mit Wohnnutzung bezieht. Es wird davon ausgegangen, dass Personen soziale Kontakte wahrscheinlicher an Orten mit höherer Bevölkerungsdichte haben. Eine Übersicht über die Datengrundlagen zur Bestimmung der Attraktivitätswerte ist in Tabelle 15 zu finden.

Für einen Großteil der Aktivitätenorte in der MOBIS-Erhebung können damit Attraktivitätswerte bestimmt werden. Es treten allerdings auch Aktivitätenorte auf, für die keine Informationen zu Freizeitgelegenheiten oder

Bevölkerungsdichte vorhanden sind. Als Attraktivitätswerte dieser Rasterzellen werden die Medianwerte aller Attraktivitäten eines Freizeitzwecks angenommen.

Tabelle 15: Datengrundlagen für Attraktivitätswerte der Rasterzellen

Datenquelle	Inhalt	Jahr
Openstreetmap	Gelegenheiten für Freizeitaktivitäten	2023
Bevölkerungsdaten SwissTopo	Anzahl Einwohner je Gemeinde	2022
Landnutzungsdaten Co-rine Landcover	Landnutzungsdaten; Auswahl Wohnnutzungen <i>continous urban fabric, discontinous urban fabric</i>	2018
MOBIS	Aktivitätenorte der Kategorie Freizeit	2020

Die Rasterzellen werden im Weiteren nur berücksichtigt, wenn ein Attraktivitätswert vorhanden ist oder ein Wohn-, Arbeits-, Ausbildungs- oder Freizeitaktivitätenort in der MOBIS-Erhebung berichtet wurde. Ein beispielhafter Ausschnitt der Rasterzellen (grau) und der freizeitbezogenen POI ist in Abbildung 25 dargestellt.

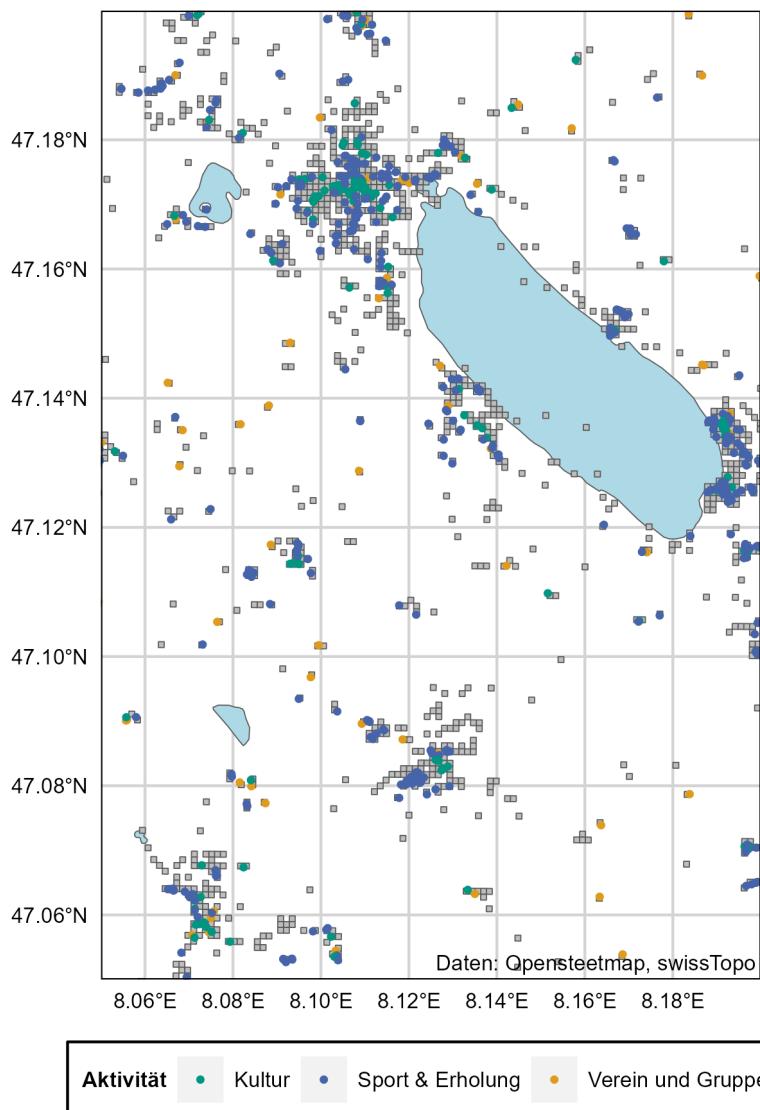


Abbildung 25: Gelegenheiten nach Freizeitkategorie für Region nahe Sursee (Schweiz)

Bestimmung der Auswahlmenge einer Zielwahl

Nach der Bildung der Gesamtmenge an Orten und der Charakterisierung ihrer Attraktivität für unterschiedliche Freizeitkategorien können für die individuellen Entscheidungssituationen der Zielwahl die Auswahlmengen zusammengestellt werden. Die Auswahlmenge für die Schätzung der Zielwahlmodelle wird auf insgesamt 30 alternative Orte reduziert. Die Zahl orientiert sich an den Erfahrungen aus Kapitel 4.2. Darunter befindet sich die gewählte Alternative, eine Reihe anderer Freizeitaktivitätenorte, die von der Person im gesamten Befragungszeitraum berichtet wurden, und zufällig zugewiesene Orte, die in der Erhebung von der Person nicht besucht wurden. Es können lediglich Orte zugewiesen werden, die eine Attraktivität für den Freizeitkategorie der Aktivität aufweisen und die innerhalb von 100 km erreicht werden können. Der Distanzwert wird aufgrund der Beschränkung der Modellierung auf Wege des Alltagsverkehrs verwendet. Wenn Befragte nur wenige Orte in der Erhebung aufgesucht haben, führt dies zu mehr nicht besuchten Zielen in der Auswahlmenge. Folglich kennt die Auswahlmenge den realisierten Aktionsraum mit Bezug auf Freizeitaktivitäten einer Person und macht ihn für die Entscheidungsmodellierung verfügbar.

Bestimmung der Erreichbarkeit

Zur Bestimmung der verkehrlichen Kenngrößen wurde eine Verkehrsangebotsmodell erstellt, welches die Abfrage von relationsbezogenen Kenngrößen des Verkehrs erlaubt. Das Modell basiert auf *Openstreetmap*-Daten für das Straßen- und Schienennetz und auf Fahrplandaten der Schweizer Bundesbahn (SBB) (vgl. Tabelle 16). Es werden Reisezeiten für die Verkehrsmodi Motorisierter Individualverkehr (MIV) und Öffentlicher Personenverkehr (ÖV) abgefragt.

Tabelle 16: Datengrundlagen des Verkehrsangebotsmodells zur Bestimmung verkehrlicher Kenngrößen

Datenquelle	Inhalt	Zeitraum	Bemerkung
Openstreetmap	Straßen- und Wegenetz des Individualverkehrs	2023	
Schweizer Bundesbahn (SBB)	Fahrplanangebot öffentlicher Nah- und Fernverkehr	Dez. 2023	Abruf über opentransportdata.swiss

Die Erreichbarkeit eines Ortes wird mittels des Nutzens eines Verkehrsmodus in einem Verkehrsmittelwahlmodells bestimmt. Berücksichtigt wird der Grundnutzen einer Alternative und der Einfluss der Reisezeit. Dies erlaubt eine Kombination von Erreichbarkeitswerten verschiedener Verkehrsmodi in einer Logsumme (vgl. Kapitel 4.3). Das Verkehrsmittelwahlmodell wurde auf Basis einer regionalen Haushaltsbefragung geschätzt und berücksichtigt die Reisezeit einer Verkehrsrelation.

7.3 Synthetisierung von Ortsbeziehungen

Die Synthetisierung der Ortsbeziehungen übernimmt einen mittel- bis langfristigen Entscheidungsprozess über die wichtigsten Orte von Freizeitaktivitäten einer Person. Die Ortsbeziehungen wirken sich kurzfristig in der Simulation auf die dortigen Zielwahlentscheidungen mit ihren Eigenschaften aus. Typischerweise betrachten Zielwahlmodelle individuelle Charakteristiken und Charakteristiken von Raum und Verkehrsinfrastruktur separat. In der Einführung einer zusätzlichen Ebene, die beide Dimensionen kombiniert, wird Potenzial für eine verbesserte Modellierung von individuellen Verhaltensmustern gesehen (Puhe et al., 2020). Die verschiedenen Teilmodelle der Beziehungssynthese sind in Abbildung 24 dargestellt.

Die langfristige Auswahl einer Ortsbeziehung übernimmt zum einen die Rolle, den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Zustand eines habitualisierten Verhaltens

zu simulieren, der eine bewusste Abwägung der Alternativen beinhaltet, die im weiteren Verlauf nicht mehr hinterfragt werden. Damit decken sie beispielsweise Entscheidungen über eine Vereinsmitgliedschaft oder ein Abonnement in einem Fitnessstudio ab. Zum anderen sind unregelmäßig oder einmalig aufgesuchte Orte in den Ortsbeziehungen enthalten, deren Beziehung sich aus der Summe aller Einzelentscheidungen ergibt. Damit kann eine Beziehung auch eine geringe Bindungskraft haben, die nur das bloße Kennen eines Ortes beinhaltet und ansonsten als emotionslos charakterisiert ist. Entsprechend bestimmen die folgenden Teilmodelle die Anzahl, die verhaltensspezifischen Charakteristiken und die Lage der Ortsbeziehungen.

7.3.1 Anzahl der Ortsbeziehungen

Die Anzahl der Ortsbeziehungen bestimmt den Umfang des ortsgebundenen Netzwerkes einer Person. Je größer dieses aktivitätspezifische Netzwerk ist, desto mehr Orte stehen in einer Zielwahl zur Auswahl, zu denen die Person eine bestimmte Art von Beziehung hat. Damit hat dieser Kennwert einen direkten Einfluss auf die Stabilität des Zielwahlverhaltens in der Nachfragesimulation.

Für die Modellierung wird ein Zählmodell verwendet. Zählmodelle besitzen die Eigenschaft, dass sie positive ganzzahlige Werte prognostizieren, weshalb sie auf den vorliegenden Zusammenhang angewandt werden können. Das angewandte Zählmodell trägt der beobachteten Verteilung der Anzahl an Ortsbeziehungen Rechnung, indem es das übermäßige Auftreten des Wertes Null mit einer zusätzlichen Modellkomponente bestimmt. In der *Zero-inflated Poisson Regression* wird die binäre Entscheidung, ob der Zählwert größer oder gleich Null ist, mit dem eigentlichen Zählmodell kombiniert. Die erste Modellkomponente besteht dabei aus einem binomialen logistischen Regressionsmodell. Die zweite Modellkomponente besteht aus einer Poisson-Regression. Das binäre Modell bestimmt die Wahrscheinlichkeit der Alternative, dass mindestens eine Ortsbeziehung in der Abwägung gegenüber keiner Ortsbeziehung vorhanden ist, mittels einer Nutzenfunktion, die Einflüsse der Attribute

x_i beinhaltet (25). Mittels des Logit-Aufteilungsmodells wird die Aufteilung der Wahrscheinlichkeiten zwischen den Alternativen bestimmt (26).

$$V = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i \quad (25)$$

$$P(Y = \# \text{Ortbeziehungen} > 0) = \frac{e^{V_i}}{1 + e^{V_i}} \quad (26)$$

Im Poisson-Modell ergibt sich die Wahrscheinlichkeit eines ganzzahlig positiven Zählwertes y_i aus Gleichung (27) und (28). Dabei ist λ_i der Poisson-Parameter, der eine logistische Linearkombination aus erklärenden Variablen x_i berücksichtigt, der Erwartungswert von $E[y_i]$. (Washington et al., 2011)

$$P(Y = y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (27)$$

$$\text{mit } \lambda_i = e^{\beta_i x_i} \quad (28)$$

Beide Modellkomponenten berücksichtigen Einflüsse aus Personeneigenschaften wie Alter, Geschlecht, Tätigkeitstatus, Bildungsstatus, Pkw-Verfügbarkeit und ÖV-Zeitkartenverfügbarkeit, Haushaltseigenschaften wie Haushaltgröße und Gemeindegröße des Wohnortes und Aktivitäteneigenschaften wie die Zahl der zweckspezifischen Aktivitäten über den Zeitraum von sechs Wochen. Jeweils signifikante Einflüsse werden im finalen Modell berücksichtigt. Als Datengrundlage dient die in Kapitel 5.1.2 beschriebene aufbereitete MOBIS-Erhebung. Es wird die Anzahl der Aktivitätenorte je Freizeitkategorie für jede Person bestimmt. Die Datengrundlage der Modellschätzung besteht damit aus 5.240 Beobachtungen für alle Freizeitkategorien.

Die Verwendung eines Poisson-Modells wird empfohlen, wenn der Erwartungswert des Modells der Varianz der Zählwerte gleicht (Washington et al., 2011). Im Falle von überdispersen Verteilungen wird hingegen eine negativ-binomiales Regressionsmodell aufgrund einer besseren Anpassung empfohlen. Eine Überdispersion kann allerdings auch durch einen überhöhten Anteil

von Nullwerten verursacht werden, was die Verwendung eines *Zero-inflated Poisson Regression (ZIPR)* oder einer *Zero-inflated Negative Binomial Regression (ZINB)* nahelegt. Die Kennwerte im vorliegenden Fall deuten auf überdisperse Verteilungen für alle Freizeitkategorien hin. Dabei werden Erwartungswert, Varianz und der Anteil an beobachteten Nullwerten betrachtet. Im Weiteren wurden für alle Zwecke jeweils ein ZIPR und ein ZINB-Modell unter Berücksichtigung der jeweils signifikanten Einflüsse geschätzt. Beim Vergleich der beiden Modelltypen hat das negativ-binomiale Modelle eine bessere Anpassung. Mit Ausnahme des Aktivitätentyps Vereins- und Gruppenaktivitäten weisen die negativ-binomialen Modelle auch signifikant bessere Modellergebnisse beim Vergleich der Modelle mit einem Chi²-Test auf. Aufgrund der besseren Möglichkeit der Verwendung im Prognosemodell werden für die Beziehungssynthese aber die Ergebnisse der *Zero-inflated Poisson Regression* angewandt.

Tabelle 17: Modellvergleich ZIPR und ZINB

	Vereins-/Gruppenaktivitäten	Kulturelle Aktivitäten	Sport und Erholung	Privater Besuch
Erwartungswert	1,11	8,06	7,59	9,75
Varianz	2,65	29,44	30,75	49,54
Anteil Nullwerte	52,0 %	3,1 %	2,6 %	1,3 %
ZIPR (AIC BIC)	3052 3194	7170 7357	6914 7081	7111 7285
ZINB (AIC BIC)	3024 3167	6848 6973	6622 6740	6898 7034
CHI² (ZINB – ZIPR)	0,58	0,00	0,00	0,00

Die resultierenden Modelle sollen an dieser Stelle hinsichtlich der wichtigsten Erkenntnisse interpretiert werden. Im binären Modell zeigen sich nur wenige Einflüsse. Der Nutzen ist überwiegend negativ, sodass die Wahrscheinlichkeit für keine Ortsbeziehungen aufgrund dieser Modellkomponente sehr gering ist. Deutlich mehr signifikante Einflüsse finden sich in der Poisson-Regression. Starke Einflüsse zeigen sich etwa in einer geringeren Anzahl Ortsbeziehungen des Aktivitätentyps Kultur sowie privater Besuch von Selbstständigen, in einer höheren Anzahl Ortsbeziehungen des Aktivitätentyps Sport und Erholung von in Ausbildung befindlichen und in der deutlich geringeren Anzahl

Ortsbeziehungen aller Aktivitätstypen von Sonstigen (z. B. Hausmänner/-frauen, Arbeitslose) und Vollzeitberufstätigen mit Ausnahme privater Besuche.

Zusätzliche Möglichkeiten der Mobilität wie Pkw-Verfügbarkeit und der Besitz einer ÖV-Zeitkarte können nur in geringem Maß mit einer höheren Anzahl an Orten in Verbindung gebracht werden. Die Annahme, dass sie komplexere Verhaltensmuster an unterschiedlicheren Orten erleichtern und daher mehr Orte aufzufinden sind, bestätigt sich nur in Ansätzen für die Aktivitätenzwecke Sport und Erholung sowie private Besuche. Das Wohnen in kleineren Städten und Gemeinden reduziert durchgängig die Wahrscheinlichkeit von zusätzlichen Aktivitätenorten in allen Freizeitkategorien mit stärkeren Einflüssen bei Vereins- und Gruppenaktivitäten. Hier kann ein angebotsseitiger Einfluss aufgrund einer geringeren Zahl an Optionen vermutet werden.

Als ein wichtiger Einflussfaktor zeigt sich ebenfalls die Anzahl der entsprechenden Aktivitäten. Dabei ist sowohl zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Personengruppen unterschiedliche mittlere Aktivitätenhäufigkeiten aufweisen als auch, dass das Verhältnis von Orten und Aktivitäten sich unterscheidet (vgl. Tabelle 13). Die Kombination aus Tätigkeitsstatus und Gemeindegröße zeigte sich in der Modellierung als beste Differenzierung der aktivitätspezifischen Einflüsse mit Hinsicht auf einen hohen Erklärungsgehalt der Modelle.

Tabelle 18: Modellergebnisse Anzahl Ortsbeziehungen

	Vereine und Gruppen	Kultur	Sport und Erholung	Privater Besuch
Binomial logistische Regression				
Konstante	-16.63	-4,495 ***	-3,794 ***	-4,962 ***
Alter: 50-59 Jahre	-	0,929 .	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	2,202 ***	-	-
Tätigkeit: in Ruhestand	-	1,989 **	-	-
Haushaltsgröße 3	-	-	1,742 *	-
Gemeindegröße < 150 Tsd.	-	-	-1,775 *	-
Poisson-Regression				
Konstante	0,669 ***	2,196 ***	1,344 ***	1,751 ***
Alter: 30-39 Jahre	-	-0,079 *	-	-
Alter: 40-49 Jahre	-	-0,123 ***	-	-0,057 *
Alter: 50-59 Jahre	0,126 .	-0,078 *	-0,062 *	-0,149 ***
Alter: >= 60 Jahre	-	-0,108 **	-	-0,096 **
Geschlecht: männlich	-	-	-0,072 **	-0,045 *
Tätigkeit: selbstständig	-	-0,193 *	-	-0,360 ***
Tätigkeit: in Ausbildung	-0,435 ***	-0,111 .	0,2147 ***	
Tätigkeit: im Ruhestand	-	-	-	
Tätigkeit: Sonstige	-1,070 ***	-	-1,156 **	0,226 ***
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-1,181 ***	-0,188 ***	-0,045 .	0,057 *
Bildung: Hochschulabschluss	-	-	-	-0,079 *
Bildung: Allgemeine Hochschulreife	-	-	-	-0,074 *
ÖV-Zeitkarte	-	-	0,042 .	0,060 **
Pkw-Verfügbarkeit	-	-0,264 **	0,241 *	-
Haushaltsgröße 2	-	-	-0,078 ***	-
Haushaltsgröße 3	-	0,049 .	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	0,071 **	-	0,052 **
Gemeindegröße < 20 Tsd.	-0,529 ***	-0,206 ***	-	-0,097 **
Gemeindegröße 20-100 Tsd.	-0,347 **	-	-0,271 ***	-
# Aktivitäten (Berufstätige x Gemeindegröße < 20 Tsd.)	0,098 ***	0,037 ***	0,041 ***	0,047 ***
# Aktivitäten (Selbstständig x Gemeindegröße < 20 Tsd.)	0,116 ***	0,047 ***	0,040 ***	0,078 ***
# Aktivitäten (in Ausbildung x Gemeindegröße < 20 Tsd.)	0,075 ***	0,029 ***	0,036 ***	0,038 ***
# Aktivitäten (im Ruhestand x Gemeindegröße < 20 Tsd.)	0,118 ***	0,023 ***	0,041 ***	0,045 ***
# Aktivitäten (Sonstige x Gemeindegröße < 20 Tsd.)	0,204 ***	0,027 ***	0,047 ***	0,032 ***

# Aktivitäten (Berufstätige x Gemeindegröße 20-100 Tsd.)	0,096 ***	0,026 ***	0,063 ***	0,042 ***
# Aktivitäten (Selbstständig x Gemeindegröße 20-100 Tsd.)	0,617 *	0,032 ***	0,050 ***	0,077 ***
# Aktivitäten (in Ausbildung x Gemeindegröße 20-100 Tsd.)	0,223 ***	0,027 ***	0,041 ***	0,032 ***
# Aktivitäten (im Ruhestand x Gemeindegröße 20-100 Tsd.)	0,055 ***	0,042 ***	0,074 ***	0,052 ***
# Aktivitäten (Sonstige x Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,063 ***	0,014 ***	0,077 ***	0,040 ***
# Aktivitäten (Berufstätige x Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,043 ***	0,028 ***	0,044 ***	0,042 ***
# Aktivitäten (Selbstständig x Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,057 ***	0,049 ***	0,043 ***	0,070 ***
# Aktivitäten (in Ausbildung x G Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,065 ***	0,036 ***	0,030 ***	0,027 ***
# Aktivitäten (im Ruhestand x G Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,134 ***	0,042 ***	0,074 ***	0,052 ***
# Aktivitäten (Sonstige x Gemeindegröße >100 Tsd.)	0,210 ***	0,027 ***	0,057 ***	0,035 ***

Signifikanzniveau: *** <0,1%, ** <1%, * <5%, . <10%

7.3.2 Charakteristiken der Ortsbeziehungen

Neben der Anzahl der Ortsbeziehungen sind deren Charakteristiken von Bedeutung. Sie geben wieder, was eine Person mit diesem Ort assoziiert, und bestimmen das mit dem Ort verbundene Verhalten. Es bietet sich daher an, sowohl die räumlich-zeitliche Struktur der Aktivitäten eines Aktivitätentyps als auch die zugrundeliegenden Motive des Verhaltens zu berücksichtigen. Ersteres betrachtet Häufigkeit, Konzentration und Zeitpunkte des Verhaltens, wohingegen letzteres zusätzlich ein Verständnis über das Warum ermöglicht.

Die Ortsbeziehungen in diesem Modell werden zum einen durch die Analyse des realisierten Verhaltens bestimmt, welches über einen Zeitraum von sechs Wochen an den jeweiligen Orten beobachtet wurde. Zum anderen können sich die Ortsbeziehungen durch die wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben zugewiesenen Motive des Aufsuchens und der Planung von Aktivitäten an einem Ort

charakterisieren. Letztere Option wird in dieser Arbeit aber nicht weiterverfolgt.

Die verhaltensbasierte Präferenz (VBP) verarbeitet das realisierte Verhalten an einem Ort i. Sie wird mit Bezug auf alle Aktivitäten, die Aktivitäten eines Wochentages und einer Tageszeit bestimmt. Damit wird zusätzlich erfasst, inwiefern die Präferenz für einen Ort an einen spezifischen Zeitpunkt gekoppelt ist. Etwa können damit wöchentliche Treffen oder tageszeitspezifische Aspekte wie typische Aktivitätenzeiten und Öffnungszeiten erkannt werden. Die Präferenz exkludiert jeweils die aktuelle Beobachtung, sodass nur alle anderen in der Berechnung berücksichtigt werden. Die Berechnung orientiert sich an der Präferenzbildung von Mallig (2019) für die Verkehrsmittelwahl. Das wiederholte Aufsuchen eines Ortes ist damit eine Voraussetzung für die Zuweisung einer Präferenz. Zudem stellt sie in der Zielwahlschätzung in Kapitel 7.4 sicher, dass abhängige und unabhängige Variablen nicht übereinstimmen. Die Tageszeit wird in Drei-Stunden-Intervallen analysiert. Die Präferenzwerte ergeben sich wie folgt:

$$VBP_{Gesamt,p,i} = \frac{n_{p,i} - 1}{N_p - 1} \quad (29)$$

$$VBP_{WT,p,i} = \frac{n_{WT,p,i} - 1}{N_{WT,p} - 1} \quad (30)$$

$$VBP_{TZ,p,i} = \frac{n_{TZ,p,i} - 1}{N_{TZ,p} - 1} \quad (31)$$

Wobei gilt:

$n_{p,i}$ $n_{WT,p,i}$	Anzahl Aktivitäten einer Person p an einem Ort i insgesamt an einem Wochentag WT zu einer Tageszeit TZ
N_p $N_{WT,p}$ $N_{TZ,p}$	Anzahl Aktivitäten einer Person p insgesamt an einem Wochentag WT zu einer Tageszeit TZ

Die probabilistische Zuweisung der Charakteristiken der Ortsbeziehungen erfolgt je Agent und je Freizeitkategorie für die Gesamtheit der Ortsbeziehungen in einem Satz. Dies stellt eine realistische Verteilung von stabilen und

variablen Verhaltensmustern sicher, die sich aus der Verteilung der Präferenzen über alle Ortsbeziehungen eines Freizeitzwecks hinweg ergeben. Beispielsweise ergeben gleichverteilte Präferenzen über mehrere Ortsbeziehungen ein tendenziell variables Zielwahlverhalten als lediglich eine starke Ortsbeziehung. Die Zuweisung erfolgt neben der Anzahl der Ortsbeziehungen über soziodemografische Eigenschaften wie Alter, Geschlecht und Tätigkeitsstatus. Wie in Tabelle 38 gezeigt, haben diese soziodemografischen Eigenschaften einen deutlichen Einfluss auf das Zielwahlverhalten, weshalb diese für eine Zuweisung entsprechend relevant befunden werden.

Die Ortsbeziehungen werden auf Grundlage der wie in Kapitel 5.1.2 beschriebenen aufbereiteten MOBIS-Erhebung erstellt. Die verfügbare Datengrundlage umfasst über alle Freizeitkategorien ca. 4.000 Sätze, die für die Zuweisung zur Verfügung stehen. Der Anteil der Sätze, die mindestens eine wirksame Ortspräferenz (VBP) mit Wert größer Null aufweisen, liegt zwischen 43 und 64 %.

Tabelle 19: Datengrundlage der Ortsbeziehungssätze für die Zuweisung in der Beziehungssynthese

Freizeitkategorie	Anzahl Sätze	Anteil Sätze mit positiver Ortspräferenz (VBP)
Kultur	1.140	63,9 %
Vereine u. Gruppen	562	43,1 %
Privater Besuch	1.161	58,8 %
Sport u. Erholung	1.148	60,0 %

7.3.3 Orte der Ortsbeziehungen

Nach Festlegung der Anzahl und der Eigenschaften der Ortsbeziehungen werden im nächsten Teilmodell die Orte anhand individueller Eigenschaften und Rahmenbedingungen festgelegt. Das Modell bildet Zielwahlentscheidungen von Aktivitätenorten bzw. Ortsbeziehungen mit einer langfristigen Perspektive ab. Anstelle situativer Einflüsse wie der Reisezeit von einem aktuellen zu

einem möglichen Ort werden situationsunabhängige Kenngrößen zur Erklärung des Zielwahlverhaltens genutzt.

Die unabhängigen Variablen des langfristigen Zielwahlmodells in der Beziehungssynthese umfassen die Attraktivität eines Ortes für eine entsprechende Freizeitkategorie und die Erreichbarkeit eines möglichen Ortes ausgehend vom Wohnort und, falls zutreffend, vom Ausbildungs- oder Arbeitsort der Person. Die Erreichbarkeit wird für die Verkehrsmodi Pkw und öffentlicher Personenverkehr modelliert. Alle Einflüsse der Attraktivität und Erreichbarkeit interagieren mit personenspezifischen und ortsbeziehungsspezifischen Attributen. So wird beispielsweise abgebildet, dass Personen mit unterschiedlichen Tätigkeiten unterschiedliche Erreichbarkeitssensitivitäten aufweisen und nur am Wochenende relevante Ortsbeziehungen sich räumlich unterschiedlich strukturieren.

Die Attraktivität geht mit einer logarithmischen Transformation in die Nutzenfunktion ein. Die Annahme ist, dass zusätzliche Attraktivitätsgewinne mit wachsenden Attraktivitätswerten eine zunehmend geringere Rolle spielen. Die logarithmische Berücksichtigung der Attraktivität als Skalenwert wurde bereits in der Literatur empfohlen (M. E. Ben-Akiva & Lerman, 1985). Die Erreichbarkeit basiert auf den Nutzenwerten der Verkehrsmodi eines Verkehrsmittelwahlmodells. Diese werden mit Euler-Funktion und natürlichem Logarithmus so transformiert, dass keine negativen Werte entstehen und ab bestimmten Werten der Reisezeit die Erreichbarkeit sich 0 annähert.

Das Entscheidungsmodell ist als Mixed-Logit-Modell definiert. Das Modell unterscheidet sich von einem multinomialen Logit-Modell durch zufälligen Nutzenkomponenten innerhalb des deterministischen Nutzens, die über eine definierte Verteilung abgebildet werden und deren Parametrisierung im Modell geschätzt wird. Die zufälligen Nutzenkomponenten können interpersonell und intrapersonell definiert sein, um nichtbeobachtbare Heterogenität entweder zwischen Personen oder zwischen Entscheidungen einer Person zu erfassen. In diesem Modell wird eine normalverteilte zufällige interpersonelle Nutzenkomponente für die Erreichbarkeit eines Ortes mit dem Pkw

ausgehend vom Wohnort angenommen. Mit der zusätzlichen interpersonellen Nutzenkomponente können die varierenden Sensitivitäten von Personen mit sonst gleichen Merkmalen besser erfasst werden. Mit dieser Modellkonfiguration kann zudem die Abhängigkeit von Alternativen berücksichtigt werden, was in der Literatur als angemessen für die Zielwahl gesehen wird (vgl. Kapitel 4.4). Die vollständige Nutzenfunktion der Zielwahl der Ortsbeziehungen ist in Gleichung (32) definiert.

$$\begin{aligned}
 V_{i,p} = & (\beta_A + \sum_k \delta_{A,k} X_{k,p} + \sum_s \delta_{A,t} X_{t,b,p}) * \ln(A_i + 1) + \\
 & \sum_m \left[(\beta_{EW,m} + \sum_k \delta_{EW,m,k} X_{k,p} + \sum_t \delta_{EW,m,t} X_{t,b,p} + \right. \\
 & \quad \left. \sigma_{EW,m,inter} Z_{EW,p}) \ln(e^{EW_{m,i}} + 1) \right] + \\
 & \sum_m \left[(\beta_{EA,m} + \sum_k \delta_{EA,m,k} X_{k,p} + \sum_t \delta_{EA,m,t} X_{t,b,p}) \right. \\
 & \quad \left. \ln(e^{EA_{m,i}} + 1) \right]
 \end{aligned} \tag{32}$$

Wobei gilt:

A_i	Attraktivität einer Rasterzelle i je Aktivitätentyp
$EW_{m,i}$	Erreichbarkeit von Rasterzelle i vom Wohnort w mit Modus m
$EA_{m,i}$	Erreichbarkeit von Rasterzelle i von Arbeits-/Ausbildungsort a mit Modus m
$X_{k,p}$	Personencharakteristika k einer Person p
$X_{t,b,p}$	Aktivitätencharakteristika t einer Ortsbeziehung b einer Person p
β, δ	Parameter der Haupteinflüsse und Interaktionseffekte
$\sigma_{EW,m,inter}$	Interpersonelle zufällige normalverteilte Komponente
$Z_{EW,p}$	Normalverteilte Zufallszahl einer Person p

Die Wahlmodelle werden mit dem R-Paket *Apollo* geschätzt (Hess & Palma, 2019). Die Datengrundlage der Modellschätzung besteht aus ca. 9.300 Beobachtungen für alle Freizeitkategorien. Die Anteile der Freizeitkategorien

spiegeln deren Häufigkeit in der Gesamtstichprobe wider, weshalb etwa für Vereine und Gruppen nur eine kleine Datengrundlage von ca. 350 Beobachtungen zur Verfügung steht. Es wird zuerst ein Basismodell für alle Freizeitkategorien unter Berücksichtigung der Haupteinflüsse ohne Interaktionseffekte und Zufallskomponente geschätzt. In diesem Modell kann die Relevanz der jeweiligen Komponenten der Nutzenfunktion abgeschätzt werden. Dazu werden die Verhältnisse der Einflüsse von Erreichbarkeit des Wohnortes und des Arbeits- bzw. Ausbildungsortes und von der Erreichbarkeit mit dem Pkw und dem ÖV berechnet. Das Verhältnis der Einflüsse von Wohnort- und Arbeitsplatzerreichbarkeit ($\beta_{EW,Pkw}/\beta_{EA,Pkw}$) liefert nur teilweise sinnvoll interpretierbare Resultate. Es ist aber in allen Fällen zu beobachten, dass der Effekt der Wohnorterreichbarkeit bei allen Freizeitkategorien dominiert. Das Verhältnis der Einflüsse von Pkw- und ÖV-Erreichbarkeit ($\beta_{EW,Pkw}/\beta_{EW,ÖV}$) des Wohnortes kann hingegen besser interpretiert werden. Es dominiert die Pkw-Erreichbarkeit und damit aufgrund der hohen Korrelation zu Fuß- und Fahrraderreichbarkeit insgesamt die Erreichbarkeit mit Individualverkehrsmitteln. Die größte Rolle spielt die ÖV-Erreichbarkeit bei der Wahl von kulturellen Ortsbeziehungen. Diese sind meist innerstädtisch gelegen, weshalb dem ÖV eine größere Relevanz zukommt.

Im Anschluss wird ein vollständiges Mixed-Logit-Modell mit allen Einflüssen geschätzt. Die Modellanpassung verbessert sich für alle Freizeitkategorien durch die Ergänzung der personen- und ortbeziehungsspezifischen Interaktionseffekte und der zufälligen Nutzenkomponente. Die Modellkennwerte bei der Modellstufen finden sich in Tabelle 20.

Tabelle 20: Modellübersicht – Zielwahl der Ortsbeziehungen

	Vereine u. Gruppen	Kultur	Sport u. Er- holung	Privater Besuch
Datensatz				
# Beobachtungen	355	2.762	2.674	3.538
Modellkennwerte Basismodell				
LL	-832,5	-6.631,1	-7.457,1	-8.941,0
BIC	1699,3	13.309,1	14.960,9	17.930,4
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,331	0,294	0,180	0,257
Modellcharakteristiken Basismodell				
$\beta_{EW,Pkw} / \beta_{EA,Pkw}$	-20,89	12,90	-9,60*	3,65***
$\beta_{EW,Pkw} / \beta_{EW,ÖV}$	4,26*	3,30***	5,44***	5,66***
Modellkennwerte Mixed-Logit-Modell				
LL	-777,3	-6.463,9	-7.202,6	-8.459,1
BIC	1.675,0	13.131,2	14.592,0	17.111,5
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,356	0,312	0,208	0,297

Signifikanzniveau: *** <0,1%, ** <1%, * <5%, . <10%

Im Folgenden werden einige Charakteristiken der Modelle beschrieben. Sowohl die Einflüsse der Erreichbarkeit als auch die der Attraktivität von Orten bestimmen die langfristige Ortswahl der Personen. Auffällig ist, dass Sport- und Erholungsortsbeziehungen nur unmerklich von der Attraktivität beeinflusst werden. Dies kann sowohl davon beeinflusst sein, dass die zugeordneten POI die Gelegenheiten für Sport- und Freizeit nicht vollständig abbilden, als auch davon, dass größere Gelegenheiten nicht zwingend attraktiver für eine Ortsbeziehung sind. Sonst dominiert die Erreichbarkeit eines Ortes mit dem Pkw ausgehend vom Wohnort mit Ausnahme der Freizeitkategorie Vereine und Gruppen, deren Ortsbeziehungen sich auffällig stark an der Nähe zum Arbeits- oder Ausbildungsort orientieren.

Darüber hinaus sind ein paar auffällige Einflüsse von Personen- oder Ortsbeziehungseigenschaften zu verzeichnen. Es wäre zu erwarten, dass Charakteristiken wie die vollzeitige Berufstätigkeit oder ein Ausbildungsstatus damit einhergehen, dass die Erreichbarkeit des Arbeits- bzw. Ausbildungsortes

wichtiger wird. Dies ist allerdings nur bei den Kategorien Sport und Erholung sowie privater Besuch zu beobachten, wohingegen bei den Kategorien Kultur sowie Vereine und Gruppen leichte gegenteilige Effekte zu beobachten sind. Der Besitz einer ÖV-Zeitkarte führt hingegen wie erwartet bei fast allen Zwecken dazu, dass die gute Erreichbarkeit mit den ÖV ausgehend vom Wohnort relevanter wird. Häufigere Aktivitäten an einer Ortsbeziehung gehen mit einer stärkeren Orientierung am Wohnort und einer größeren Nähe zu diesem einher. Die Lage zum Arbeits- bzw. Ausbildungsort wird weniger wichtig. Ortsbeziehungen, die nur am Wochenende relevant sind, weisen ebenfalls eine zunehmende Unabhängigkeit vom Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz auf. Dies ist nur eine Auswahl der auffälligsten Einflüsse. Ein Gesamtübersicht über alle Modelle findet sich in Tabelle 21.

Tabelle 21: Mixed-Logit-Modelle der Ortswahl von Ortsbeziehungen

	Attraktivität	Erreichbarkeit			
		Pkw, Wohnort	Pkw, Ar- beitsort	ÖV, Wohnort	ÖV, Ar- beitsort
Vereins-/ Gruppenaktivitäten					
Referenzgruppe	0,31***	0,16	0,75*	0,15	0,55***
Alter: < 30 Jahre	-	-	0,56*		-
Alter: >= 60 Jahre	-	-	-	-	-
Geschlecht: männlich	-	-	-	-	-
Tätigkeit: berufstätig	-	0,35*	-	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-	-	-	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-	0,42*	-	-	-
Bildung: Hochschulabschluss	-0,14*	-	-	-	-
ÖV-Zeitkarte	-0,14.	-	-	0,46**	-0,57*
Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-	-	-
Haushaltsgröße 2-3	-	0,69*	-0,92*	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	-	-	-	-
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	0,66*	-	-	-
# Aktivitäten Ortsbeziehung	-	0,36*	-0,28*	-	-
Aktivitäten nur am Wochene.	-	-	-0,22.	-0,23.	-
Sigma interpersonell	-	0,20	-	-	-
Kulturelle Aktivitäten					
Referenzgruppe	0,30***	0,57***	0,42**	0,06	0,73*
Alter: < 30 Jahre	-	-	-	-	-
Alter: >= 60 Jahre	-	-	-	-	-0,21.
Geschlecht: männlich	-	-	-	-	-
Tätigkeit: berufstätig	-	0,42**	-0,46**	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-	-	-	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-0,04*	-0,19.	0,33*	-	-
Bildung: Hochschulabschluss	-	-	-	-0,23**	-
ÖV-Zeitkarte	0,04*	-	-	0,28**	-
Pkw-Verfügbarkeit	-0,06*	-	-	-	-0,56.
Haushaltsgröße 2-3	-	-	-	-	-
Haushaltsgröße 4+	-0,05**	-	0,24**	-	-
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-	-0,18*
# Aktivitäten Ortsbeziehung	-	0,06*	-0,05*	0,19*	-
Aktivitäten nur am Wochene.	-	0,18*	-0,35***		
Sigma interpersonell	-	0,32***	-	-	-

	Attraktivität	Erreichbarkeit			
		Pkw, Wohnort	Pkw, Ar- beitsort	ÖV, Wohnort	ÖV, Ar- beitsort
Sport und Erholung					
Referenzgruppe	0,02	0,87***	-0,22**	0,19***	0,37***
Alter: < 30 Jahre	-	0,23**	-	-	-
Alter: >= 60 Jahre	-	-	-	0,24.	-
Geschlecht: männlich	-	-	-	-0,18*	-
Tätigkeit: berufstätig	0,07**	0,14.	-	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-0,52***	0,60***	-	-0,24**
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-0,04*	-0,29**	0,20*	-	-
Bildung: Hochschulabschluss	-0,03*	-	-	-	-
ÖV-Zeitkarte	-	-	-	0,39***	-
Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-	-	-
Haushaltsgröße 2-3	-	-	-	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	-	-	-	-
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-0,29***	-
# Aktivitäten Ortsbeziehung	-	0,05*	-	-	-
Aktivitäten nur am Wochene.	-	-	-0,12**	-	-0,24*
Sigma interpersonell	-	0,35***	-	-	-
Privater Besuch					
Referenzgruppe	0,27**	1,36***	0,69***	0,21***	0,25**
Alter: < 30 Jahre	-	0,23*	-	0,14.	-
Alter: >= 60 Jahre	-	-	-0,26*	0,43*	-
Geschlecht: männlich	-0,08*	-	-0,32**	-	-
Tätigkeit: berufstätig	-	-0,24*	-	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-0,63**	0,23.	-0,18.	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-	0,17.	-	-	-
Bildung: Hochschulabschluss	0,06.	-	-	-	-
ÖV-Zeitkarte	-	-	-	-	-
Pkw-Verfügbarkeit	-0,17.	-0,36*	-	-	-0,25**
Haushaltsgröße 2-3	-	-	-	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	-	-	-	-
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-	-
# Aktivitäten Ortsbeziehung	-	0,03.	-	-	-
Aktivitäten nur am Wochene.	-	-	-0,35***	-	-
Sigma interpersonell	-	0,62***	-	-	-

Signifikanzniveau: *** <0,1%, ** <1%, * <5%, . <10%

7.4 Zielwahlmodellierung

Im Gegensatz zum vorangegangenen Kapitel wird für die nun folgenden Modelle eine kurzfristig-situative Perspektive eingenommen, indem einzelne Auswahlentscheidungen betrachtet werden. Der Kerngedanke der in diesem Teilkapitel entwickelten Zielwahlmodelle ist die Berücksichtigung von Ortspräferenzen in den Entscheidungen über die gewählten Freizeitziele. Ortspräferenzen beschreiben die Präferenz, die eine bestimmte Person für einen Ort hat. Diese Präferenz kann generell oder zeitspezifisch wirken. Das Ziel der entwickelten Modelle ist es, die Heterogenität des Zielwahlverhaltens besser zu erklären und stabile bzw. variable Verhaltensweisen in den Modellen zu verankern.

Der Modellansatz nutzt das über einen Zeitraum von mehreren Wochen beobachtete Zielwahlverhalten zur Bestimmung von Ortspräferenzen. Diese Präferenzen werden in dieser Arbeit verhaltensbasierte Präferenzen (VBP) genannt und sind wie in Kapitel 7.3.2 definiert. Dieses Modell macht sich das Wissen über das langfristige Verhalten und die dort beobachteten Dynamiken zu Nutze, um kurzfristiges Verhalten zu erklären (E. J. Miller, 2019). Es werden generelle Präferenzen bestimmt, um allgemeine Vorlieben für einen Ort und damit räumlich stabiles Verhalten zu erfassen. Es werden darüber hinaus zeitpunktspezifische Präferenzen genutzt, um zu berücksichtigen, ob ein Ort immer zu bestimmten Tageszeiten und Wochentagen aufgesucht wird und damit räumlich-zeitlich stabile Verhaltenskomponenten vorhanden sind. In beiden Fällen ist eine Präferenz für einen Ort vorhanden, wenn ein wiederholtes Aufsuchen desselben Ortes zum selben Zweck innerhalb des definierten Zeitraumes stattgefunden hat. Sobald zeitpunktspezifische Präferenzen für eine Ortsbeziehung vorhanden sind, wird die generell Präferenz nicht berücksichtigt.

Das Modell nutzt darüber hinaus situationsabhängige Kenngrößen wie die Attraktivität des Ortes, die Erreichbarkeit des Ortes, die Erreichbarkeit der nächsten festen Destination ausgehend von einem Ort und das Reisezeit-

Gesamtzeit-Verhältnis bis zur nächsten festen Destination, um das Zielwahlverhalten zu erklären. Diese Haupteinflüsse stehen im finalen Modell in Interaktion mit den soziodemografischen Eigenschaften der Person. Es werden jeweils separate Zielwahlmodelle für die verschiedenen Freizeitkategorien erstellt.

Die Attraktivität beinhaltet dieselben Kenngrößen wie im Zielwahlmodell der Ortsbeziehungen (vgl. Kapitel 7.3.3) und ist äquivalent über eine logarithmische Transformation in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Die Erreichbarkeit unterscheidet sich allerdings zu dem vorigen langfristigen Zielwahlmodell, indem es die situative Erreichbarkeit eines Ortes in Bezug auf den aktuellen Ort und die nächste feste Destination anstelle der Erreichbarkeit des Ortes ausgehend von Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsort berücksichtigt. Zudem wird in diesem Modell nur die Erreichbarkeit mit dem Individualverkehr berücksichtigt. Als vierter Haupteinfluss geht das Verhältnis von gesamter Reisezeit zwischen Ist-Ort, möglichem Ort und nächster fester Destination zu verbleibender Zeit bis zur nächsten festen Aktivität in das Modell ein. Für Werte nahe 1 bleibt nur wenig Zeit für eine Aktivität, wohingegen für Werte nahe Null sehr viel Zeit für die eigentliche Aktivität bleibt und nur ein geringer Anteil für die Ortsveränderungen verwendet wird. Studien zeigen, dass ein konstantes toleriertes Verhältnis zwischen Aktivitätendauer und Reisezeit besteht (vgl. Arbeiten zu *travel time ratio*, Kapitel 4.1). Die Erkenntnis macht sich das Modell zunutze, indem es ungünstige Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnisse berücksichtigt.

Die Modelle sind als multinomiale Logit-Modelle aufgebaut, deren Nutzenfunktion in Gleichung (33) definiert ist.

$$\begin{aligned}
 V_{j,p} = & (\beta_A + \sum_k \delta_{A,k} X_{k,p}) \ln(A_j + 1) + \\
 & (\beta_{E,Pkw} + \sum_k \delta_{E,Pkw,k} X_{k,p}) E_{Pkw,i,j} + \\
 & (\beta_{EFD,Pkw} + \sum_k \delta_{EFD,Pkw,k} X_{k,p}) EFD_{Pkw,j,f} + \\
 & (\beta_{TTR,Pkw} + \sum_k \delta_{TTR,Pkw,k} X_{k,p}) TTR_{Pkw,i,j,f,p}) + \\
 & \beta_{VBP} VBP_{Ges,j,p} + \beta_{VBP,W} VBP_{WT,j,p} + \beta_{VBP,TZ} VBP_{TZ,j,p}
 \end{aligned} \tag{33}$$

Wobei gilt:

A_j	Attraktivität einer Rasterzelle j je Aktivitätentyp
$E_{Pkw,i,j}$	Reisezeit zwischen aktueller Zelle i und Rasterzelle j mit dem Pkw
$EFD_{Pkw,j,f}$	Reisezeit zwischen Rasterzelle j und nächster fixer Destination f mit dem Pkw
$TTR_{Pkw,i,j,f,p}$	Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnis bis zur nächsten festen Destination f ausgehend von der aktuellen Zelle i mit dem Pkw
$X_{k,p}$	Personencharakteristika k einer Person p
$VBP_{Ges,j,p}$	Verhaltensbasierte Präferenz einer Zelle j und Person p
$VBP_{WT,j,p}$	Wochentagbezogene verhaltensbasierte Präferenz einer Zelle j und Person p
$VBP_{TZ,j,p}$	Tageszeitbezogene verhaltensbasierte Präferenz einer Zelle j und Person p
β, δ	Parameter der Haupteinflüsse und Interaktionseffekte

Die Modelle werden in drei Stufen geschätzt: Modellstufe 1 umfasst lediglich die Haupteinflüsse, Modellstufe 2 berücksichtigt ergänzend die zeitunabhängige verhaltensbasierte Präferenz und Modellstufe 3 umfasst zusätzlich die zeitabhängigen verhaltensbasierten Präferenzen. Für die drei Modellstufen werden zudem je zwei Konfigurationen unterschieden. Die Konfigurationen A

berücksichtigen keine Interaktionseffekte der Haupteinflüsse Attraktivität, Erreichbarkeit und Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnis mit soziodemografischen Eigenschaften der Personen. Die Konfigurationen B hingegen berücksichtigen diese. Die Wahlmodelle werden mit dem R-Paket *Apollo* geschätzt (Hess & Palma, 2019). Die Datengrundlage der Modellschätzung besteht aus ca. 18.800 Beobachtungen für alle Freizeitkategorien.

Der Anteil der Varianz, der mit den Modellen erklärt werden kann, liegt in Modellstufe 1 je nach Freizeitkategorie bei 30 bis 44 %. Durch die zusätzlichen Modellerweiterungen in Stufe 2 und 3 kann der Erklärungsgehalt der Modelle deutlich gesteigert werden (vgl. Tabelle 22). Es kann daraus geschlossen werden, dass das im Längsschnitt beobachtete repetitive Verhalten für die Erklärung kurzfristiger Zielwahlentscheidungen genutzt werden kann.

Es werden verschiedene Kennwerte gebildet, die die Stärke von Einflüssen in der Nutzenfunktion vergleicht und einen Vergleich unterschiedlicher Freizeitkategorien zulässt. Der Kennwert $\beta_{VBP}/\beta_{E,Pkw}$ vergleicht Einflüsse aus verhaltensbasierter Präferenz und Erreichbarkeit mit dem Pkw. Die verhaltensbasierte Präferenz überwiegt am deutlichsten für die Freizeitkategorie Kultur, wohingegen die Erreichbarkeit bei Vereins- und Gruppenaktivitäten vergleichsweise stärker wirkt. Dies sagt nicht zwingend etwas darüber aus, ob das Zielwahlverhalten deshalb variabler oder stabiler ist, da die Kennwerte in Interaktion mit der Verteilung der Präferenzwerte stehen. Es zeigt sich allerdings, dass deutliche Unterschiede zwischen den Freizeitkategorien bestehen. Der zweite Kennwert $\beta_{VBP,TZ}/\beta_{VBP,WT}$ vergleicht den Einfluss der zeitspezifischen Präferenz von Tageszeit und Wochentag. Ein deutliches Übergewicht des Einflusses der Tageszeit besteht bei den Freizeitkategorien Vereine und Gruppen sowie Kultur. Die Aktivitäten finden häufig in den Nachmittag- und Abendstunden statt, was zu einer zeitlichen Stabilität führt. Ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis der Einflüsse zeigt sich bei den anderen beiden Freizeitzwecken. Die Kennwerte wurden mit der Delta-Methode ermittelt und auf Signifikanz überprüft (Daly et al., 2012).

Tabelle 22: Modellkennwerte kurzfristige Zielwahl

	Vereine u. Gruppen	Kultur	Sport u. Er- holung	Privater Besuch
MNL 1 A				
# Parameter	4	4	4	4
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,43	0,32	0,32	0,29
MNL 1 B				
# Parameter	19	16	16	26
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,44	0,32	0,32	0,30
MNL 2				
# Parameter	5	5	5	5
R ²	0,64	0,40	0,39	0,34
$\beta_{VBP}/\beta_{E,Pkw}$	3,99***	5,35***	4,28***	4,54***
MNL 3 A				
# Parameter	7	7	7	7
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,69	0,46	0,44	0,38
$\beta_{VBP,TZ}/\beta_{VBP,WT}$	1,46***	1,20***	1,00***	0,95***
MNL 3 B				
# Parameter	22	24	19	25
R ² (Vgl.: gleiche Anteile)	0,69	0,46	0,44	0,39
$\beta_{VBP,TZ}/\beta_{VBP,WT}$	1,42***	1,20***	1,00***	0,95***

Signifikanzniveau: *** <0,1 %; ** <1 %; * <5 %

Die Parameter der Einflüsse der verhaltensbasierten Präferenzen sind durchweg positiv. Orte mit stärker ausgeprägten Präferenzen werden deshalb auch mit einer höheren Wahrscheinlichkeit ausgewählt. Die Gesamtpräferenz wirkt dabei stärker als die zeitspezifischen Präferenzen. Die Attraktivität hat einen durchwegs signifikanten und positiven Einfluss auf den Nutzen. Die Anzahl und Größe von geeigneten Gelegenheiten innerhalb einer Zelle vergrößert damit deren Auswahlwahrscheinlichkeit. Die Erreichbarkeit eines möglichen Ortes j ausgehend vom Ort der letzten Aktivität i ist ebenfalls ein wichtiger Einfluss. Dieser ist durchwegs positiv, weshalb eine bessere Erreichbarkeit bzw. eine kürzere Reisezeit zu einer höheren

Auswahlwahrscheinlichkeit führen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere bei Vereins- und Gruppenaktivitäten eine gute Erreichbarkeit von großer Relevanz ist. Die Erreichbarkeit der nächsten festen Destination k ausgehen vom möglichen Ort j variiert in ihrer Wirkung und weist je nach Freizeitkategorie und Personengruppe leicht negative bis leicht positive Werte auf. Damit spielt die vorrausschauende Betrachtung der Erreichbarkeit bei den folgenden Aktivitäten eine geringere Rolle. Das Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnis bildet einen Kennwert, der mögliche Aktivitätendauer und notwendige Reisezeit zum Erreichen eines Ortes gegeneinander abwägt. Ein größerer Wert des Verhältnisses bedeutet, dass die Reisezeit innerhalb der verfügbaren Zeit zunehmend überwiegt. Dies wird bei allen Freizeitkategorien negativ bewertet. Insbesondere kulturelle Aktivitäten und private Besuche weisen hier starke Effekte auf, was für einen hohen Nutzen der Aktivitätenzeit in der Alltagskonfiguration spricht. Die beschriebenen Ergebnisse der Modellstufe 3B sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Zielwahlmodelle mit verhaltensbasierten Präferenzen (MNL 3B)

Vereine und Gruppen				
	Attraktivität	Erreichbarkeit		Reisezeit/ Gesamtzeit
		i, j, Pkw	j, k, Pkw	
VBP Gesamt				1,13***
VBP Wochentag				3,67***
VBP Tageszeit				5,23***
Referenzgruppe	0,54***	2,09***	-0,28**	-2,06***
Alter: < 30 Jahre	-	-	-	-
Alter: >= 60 Jahre	-0,15*	-	-	-
Geschlecht: männlich	0,18**	-0,52.	0,54*	-
Tätigkeit: berufstätig	-	-	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-	-	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-0,22**	-0,73.	0,85*	-
Bildung: Hochschulabschluss	-0,13*	-	-0,14.	-
ÖV-Zeitkarte	-	-	-	0,73.
Pkw-Verfügbarkeit	-	-0,54**	-	-
Haushaltsgröße 2-3	0,09.	-	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	0,78**	-0,67**	1,18*

Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-
Kulturelle Aktivitäten				
VBP Gesamt	10,95***			
VBP Wochentag	4,22***			
VBP Tageszeit	5,06***			
	Attraktivität	Erreichbarkeit		Reisezeit/ Gesamtzeit
		i, j, Pkw	j, k, Pkw	
Referenzgruppe	0,53***	1,22***	-0,31***	-3,70***
Alter: < 30 Jahre	-	-	-	-
Alter: >= 60 Jahre	-	-0,25*	-	-1,24*
Geschlecht: männlich	-	-	-	-
Tätigkeit: berufstätig	-0,09*	-0,19*	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-0,12*	-0,45**	-	-2,03***
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	0,04.	-	0,18**	-
Bildung: Hochschulabschluss	-0,05*	-	-	-
ÖV-Zeitkarte	-0,05.	-	-	-
Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-	-
Haushaltsgröße 2-3	-0,08.	0,34.	-	2,33*
Haushaltsgröße 4+	-0,08.	0,43*	-	2,14*
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-
Sport und Erholung				
VBP Gesamt	9,23***			
VBP Wochentag	4,38***			
VBP Tageszeit	4,39***			
	Attraktivität	Erreichbarkeit		Reisezeit/ Gesamtzeit
		i, j, Pkw	j, k, Pkw	
Referenzgruppe	0,21***	1,26***	-0,31***	-1,70***
Alter: < 30 Jahre	-	-	-	-
Alter: >= 60 Jahre	0,07*	-	-0,28**	-1,40**
Geschlecht: männlich	0,04.	-	-	-
Tätigkeit: berufstätig	-	-	-	-
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-	0,18*	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-	-	-	-
Bildung: Hochschulabschluss	-0,07**	0,09.	-	-
ÖV-Zeitkarte	-	-	-	-
Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-	0,73*
Haushaltsgröße 2-3	0,07*	0,22.	-	-
Haushaltsgröße 4+	0,06.	0,19.	-	-

Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-	-
Privater Besuch				
VBP Gesamt	9,07***			
VBP Wochentag	4,92***			
VBP Tageszeit	4,66***			
	Attraktivität	Erreichbarkeit		Reisezeit/ Gesamtzeit
		i, j, Pkw	j, k, Pkw	
Referenzgruppe	0,18***	1,64***	-0,07	-4,78***
Alter: < 30 Jahre	-	0,33**	0,41***	2,65***
Alter: >= 60 Jahre	-	0,33**	-	-1,30*
Geschlecht: männlich	-	-0,18*	-	-
Tätigkeit: berufstätig	0,05*	-	0,31**	2,45***
Tätigkeit: in Ausbildung	-	-0,55***	-	-
Umfang der Tätigkeit Vollzeit	-	-	-0,19*	-0,92*
Bildung: Hochschulabschluss	-	0,34***	-	0,67*
ÖV-Zeitkarte	-	-	-0,28*	-1,59**
Pkw-Verfügbarkeit	-	-0,36**	-	-
Haushaltsgröße 2-3	-	-	-	-
Haushaltsgröße 4+	-	-	-	-
Gemeindegröße >= 100 Tsd.	-	-	-0,44*	-

Signifikanzniveau: *** <0,1 %; ** <1 %; * <5 %, . <10 %

7.5 Synthese

Das vorgestellte Modellkonzept der Zielwahl bildet den Entscheidungsprozess mit der Kombination einer Lang- und Kurzfristkomponente ab. Die Langfristkomponente des Zielwahlmodells synthetisiert Ortsbeziehungen von Personen in einem dreistufigen Modell. Die Ortsbeziehungen repräsentieren das typische Verhalten einer Person, welches im Längsschnitt in der Erhebung beobachtet werden kann, und sind in Teilen mit Präferenzen charakterisiert. Die Basis für die Ortspräferenzen sind wiederholt beobachtete Ortsentscheidungen von Personen im Allgemeinen oder zu bestimmten Zeitpunkten. Im eigentlichen Zielwahlmodell werden diese Ortspräferenzen zusätzlich zu üblichen Einflüssen der Attraktivität und Erreichbarkeit auf ihren Einfluss auf die Zielwahlauscheidungen untersucht. Es zeigen sich deutlich positive Einflüsse

in signifikant besseren Modellen durch die Berücksichtigung der Ortspräferenzen. Die Stärke dieser Einflüsse im Vergleich zu denen der Erreichbarkeit variiert je nach Freizeitkategorie.

Das Modellkonzept setzt einen Teil der Erkenntnisse aus Kapitel 4.8 methodisch um. Mit der Berücksichtigung des Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnisses berücksichtigt es die Erkenntnisse der Zeitgeografie und zum *Travel time ratio*, indem in einem Zeitfenster sinnvoll erreichbare Orte bevorzugt werden. Mit dem deterministischen Ansatz der Auswahlmengenbildung und einer räumlichen Eingrenzung der Auswahlmenge sowie einer zufälligen Auswahl von Orten in der Schätzung der Modelle wird ein allgemeingültiger Ansatz gewählt, um der großen Anzahl an Alternativen zu begegnen. Mit der Anwendung eines Mixed-Logit-Modells wird die Abhängigkeit der Alternativen in einem der Zielwahlmodelle berücksichtigt. Mit der Erstellung der verhaltensbasierten Präferenzen (VBP) wird das typische Verhalten über einen längeren Zeitraum erfasst und in der Erklärung der Zielwahlauscheidungen verwendet. Dies ähnelt der Berücksichtigung des historischen Verhaltens bzw. vorangegangenen Entscheidungen, vermeidet aber dessen Pfadabhängigkeit. Vielmehr nutzt es die Beobachtung von Horowitz und Louviere (1995) bei der Erstellung der Auswahlmengen, dass die vermehrte Wahrnehmung bestimmter Orte alternativenspezifischen Präferenzen gleicht, sodass diese im Fokus der Modellerstellung liegen.

Andere Aspekte des Zielwahlmodells rücken zur Fokussierung dieser Aspekte in den Hintergrund und werden nur in einer grundlegenden Form berücksichtigt. Die vorgestellte Konfiguration des Modells baut etwa auf einfachen Erreichbarkeitsmaßen auf und betrachtet lediglich den Pkw und in Teilen den ÖV. Dabei bleibt unberücksichtigt, welchen Einfluss andere Verkehrsmittel oder andere Nutzenkomponenten wie Kosten, Anzahl der Umstiege im ÖV oder Topografie haben. Diese Aspekte wären in weiteren Modellen zu überprüfen. Darüber hinaus nutzen beide Zielwahlmodelle aufgrund der aufwändigen Datenaufbereitung lediglich einen Bruchteil der zur Verfügung

stehenden Daten. Darin wird die Vorläufigkeit der Ergebnisse und das Potenzial der Daten mit ihrem Umfang deutlich.

Weiteres Potenzial bieten Ortspräferenzen auf Basis der Angaben der Personen zum sozialen Kontext. Eine Nutzung der Selbst- und Fremdbestimmtheit, der Verbindlichkeit und der räumlichen Flexibilität ermöglicht differenzierte Präferenzen unter verschiedenen Umständen und erfolgte bisher nicht. Damit ließen sich nicht nur allgemeine oder zeitspezifische Präferenzen erstellen, sondern auch Aspekte der Veränderlichkeit (z. B. alternative Orte für eine Aktivität, Vorliegen verbindlicher Absprachen) im Entscheidungsprozess berücksichtigen. Ebenfalls würden nicht nur Präferenzen an wiederholt aufgesuchten Orten berücksichtigt. Die Wirkungszusammenhänge könnten mit Hilfe von Latente-Variablen-Modellen (engl. *Integrated Choice and Latent Variable Model* oder *Hybrid Choice Model*) untersucht werden (Vij & Walker, 2016).

8 Anwendung der Modelle in der Verkehrsnachfragesimulation

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Modelle werden in einer Verkehrsnachfragesimulation angewendet, um deren Wirkungen zu untersuchen. Die Modelle beschränken sich auf den Aktivitätentyp Freizeit, werden aber mit bestehenden Zielwahlmodellen für die übrigen Aktivitätentypen kombiniert, um den gesamten Alltagsverkehr zu modellieren. In Kapitel 8.1 wird untersucht, inwiefern die Beziehungssynthese die Menge und Struktur der Ortsbeziehungen von Freizeitaktivitäten angemessen reproduziert. In Kapitel 8.2 werden die simulierten Zielwahlverhaltensmuster auf deren Stabilität untersucht. In Kapitel 8.3 wird der Einfluss der verhaltensbasierten Präferenzen auf die Veränderlichkeit des Verhaltens anhand einer Beispielmaßnahme untersucht.

Für die Verkehrsnachfragesimulationen wird ein bestehendes Modell der Region Karlsruhe verwendet. Das Modell bildet den Alltagverkehr der Stadt- und Landkreise Karlsruhe, Rastatt, Baden-Baden, Calw, Pforzheim und den Enzkreis ab. Die damit synthetisierte Bevölkerung umfasst ca. 1,47 Mio. Einwohnende, die über einen Zeitraum von sechs Wochen in Summe 226 Mio. Aktivitäten durchführen. Die Bevölkerung verteilt sich auf 1.067 Verkehrszellen und die Gesamtanzahl der Verkehrszellen in Planungs- und Außenraum beträgt 1.713. Unter Berücksichtigung der Attraktivitäten der Verkehrszellen für die vier definierten Freizeitkategorien ergibt sich die in Tabelle 24 beschriebene maximale Auswahlmenge.

Tabelle 24: Maximale Auswahlmengen nach Freizeitkategorie in der Zielwahl

Freizeitkategorie	Größe der maximalen Auswahlmenge
Kultur	1.423
Vereine u. Gruppen	1.036
Privater Besuch	1.687
Sport u. Erholung	1.571

Die sechswöchigen Aktivitätenpläne stammen aus der MOBIS-Erhebung und werden der Bevölkerung unter Berücksichtigung des Alters, Geschlechts und der Berufstätigkeit zufällig zugeordnet. Eine detaillierte Beschreibung der Aufbereitung der Aktivitätenpläne und eine Validierung der Aktivitäten finden sich in Anhang D. Da die Vergleichsstichprobe der MOBIS-Erhebung nur Personen im Alter von 18 bis 65 Jahren beinhaltet, wird lediglich diese Altersgruppe in den folgenden Auswertungen berücksichtigt.

Die Modellregion, die Datengrundlagen zur Schätzung der Modelle und die Vergleichserhebung zur Validierung der Ergebnisse stimmen räumlich nicht überein. Ein Teil der bestehenden Zielwahlmodelle basiert auf einer regionalen Erhebung des Stadt- und Landkreises Karlsruhe, wohingegen die in dieser Arbeit entwickelten Modelle auf der MOBIS-Erhebung aus der Schweiz basieren. Aufgrund des sechswöchigen Simulationszeitraumes wird die MOBIS-Erhebung ebenfalls für die Validierung der Ergebnisse verwendet. Die Räume stimmen lediglich dahingehend überein, dass es sich um Stadtregionen handelt. Für die Pilotanwendung der Modelle in dieser Arbeit können diese Einschränkungen hingenommen werden.

8.1 Synthese der Ortsbeziehungen

Mit der in Kapitel 7.3 beschriebenen Methode werden im Rahmen der Durchführung des Langzeitmoduls von *mobiTopp* Ortsbeziehungen der Agenten synthetisch erzeugt. Diese Ortsbeziehungen werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Anzahl und ihrer räumlichen Lage validiert. Die Ergebnisse werden mit den Input-Daten aus der Erhebung verglichen.

Die Verteilung der Anzahl der Ortsbeziehung je Agent ist in Abbildung 26 in Abhängigkeit der Freizeitkategorie dargestellt. Die Verteilungen der synthetisch erzeugten Ortsbeziehungen und denen der MOBIS-Erhebung stimmen grundsätzlich überein. So zeigt sich etwa bei Vereins- und Gruppenaktivitäten, dass der Zahl deutlich geringer ist als bei den anderen Freizeitkategorien und dass die Verteilungen sehr gut übereinstimmen. Auch die anderen Freizeitkategorien weisen passende Verteilungen auf, wobei Spitzen bei einer Anzahl von 20 Ortsbeziehungen vorzufinden sind. Das verwendete ZIPIR-Modell wurde aus Effizienzgründen auf eine Anzahl von 20 beschränkt, da die hohen Werte der Fakultätsfunktion einen anderen rechenintensiveren Datentyp erfordern würden. Daher finden sich unter den synthetisch erzeugten Ortsbeziehungen maximal 20 Ortsbeziehungen je Agent und Freizeitkategorie.

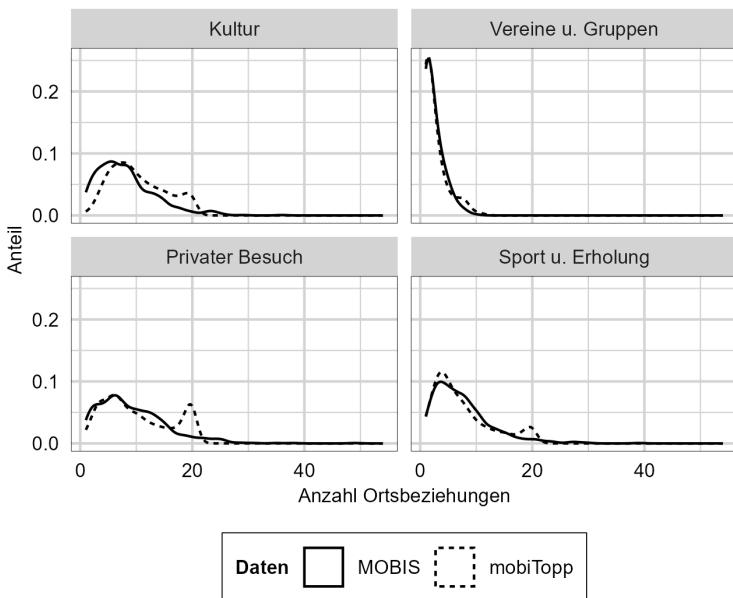


Abbildung 26: Verteilung der Anzahl an Ortsbeziehungen in MOBIS-Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie

Durch die Zuweisung von Ortsbeziehungssätzen werden den Personen je Freizeitkategorie verhaltensbasierte Präferenzen zugeordnet. Nicht alle Ortsbeziehungen eines Satzes weisen allerdings Präferenzen auf, da nicht in allen Fällen eine Wiederholung von Aktivitäten in der Erhebung zu beobachten war. Diese Wiederholung, entweder allgemein oder zu bestimmten Zeitpunkten ist Grundlage für die Festlegung einer verhaltensbasierten Präferenz. Zur Sicherstellung einer korrekten Gesamtverteilung werden allerdings alle Ortsbeziehungen erzeugt, selbst, wenn ein Anteil dieser keine Auswirkungen haben wird. Der Anteil der Ortsbeziehungen mit einer positiven verhaltensbasierten Präferenz (VBP) beträgt je nach Freizeitkategorie 14 bis 29 %. Die Werte stehen mit den in Kapitel 6.3 analysierten Unterschieden hinsichtlich der Stabilität in Zusammenhang. So ist etwa bei Vereins- und Gruppenaktivitäten ein im Vergleich zu anderen Freizeitkategorien höherer Anteil an Ortsbeziehungen mit positiven Präferenzen erkennbar. Eine Übersicht ist in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Anteil der Ortsbeziehungen mit positiver VBP nach Freizeitkategorie in mobiTopp-Simulation

Freizeitkategorie	Anteil
Kultur	15,1 %
Vereine u. Gruppen	29,0 %
Privater Besuch	14,5 %
Sport u. Erholung	14,3 %

Die räumliche Lage der Ortsbeziehungen orientiert sich stark am Wohnort einer Person. Daher wird die Entfernung der Ortsbeziehungen vom Wohnort in Modell und der Erhebung verglichen. Grundsätzlich ähneln sich die Distanzverteilungen dahingehend, dass die größten Anteile unter 10 km Entfernung liegen. Allerdings ist in der Erhebung ein höherer Anteil von Distanzen zwischen unter 10 km als bei den synthetisch erzeugten Ortsbeziehungen zu verzeichnen. Dafür besteht ein höherer Anteil an Distanzen zwischen 10 und 50 km. Die Verteilung der Distanzen vom Wohnort zu den Ortsbeziehungen ist in Abbildung 27 dargestellt. Im Mittel sind die synthetischen Ortsbeziehungen von Kultur-, Vereins- und Gruppenaktivitäten weiter vom Wohnort entfernt als in

der Erhebung beobachtet. Im Falle von privaten Besuchen gilt das Gegenteil und für Sport und Erholungsaktivitäten stimmen die mittleren Distanzen nahezu überein. Die mittleren Distanzen zu Ortsbeziehungen finden sich in Tabelle 26. Mit einer Kalibrierung wäre eine bessere Anpassung der Distanzverteilung möglich. Die Aufgrund des Pilotcharakters dieser Arbeit und der fehlenden Vergleichsgrundlage für den Planungsraum wird auf die Kalibrierung aber verzichtet.

Tabelle 26: Mittlere Distanzen der Ortsbeziehungen zum Wohnort in MOBIS-Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie

Freizeitkategorie	Mittlere Distanzen der Ortsbeziehungen zum Wohnort [km]	
	MOBIS	mobiTopp
Kultur	14,49	17,83
Vereine u. Gruppen	10,46	15,36
Privater Besuch	18,60	13,21
Sport u. Erholung	20,01	20,23

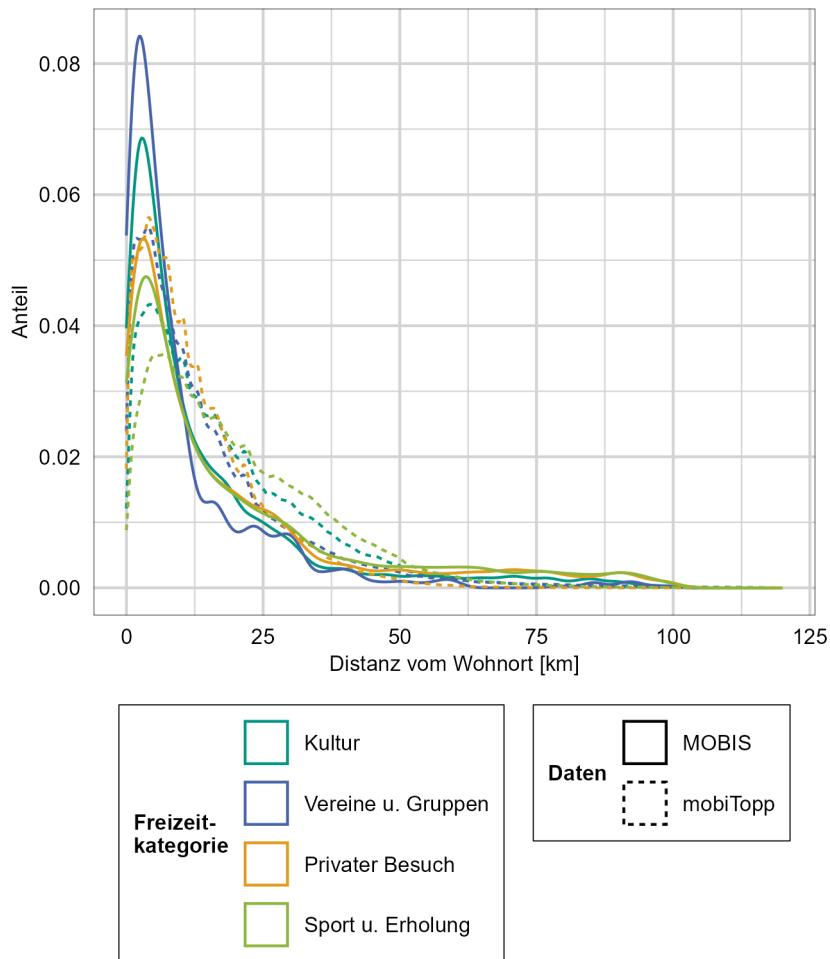


Abbildung 27: Verteilung der Distanzen der Ortsbeziehungen zum Wohnort in MOBIS-Erhebung und mobiTopp-Simulation nach Freizeitkategorie

8.2 Stabilität des Zielwahlverhaltens

Die Analysen des Zielwahlverhaltens im Kapitel 6.3 weisen darauf hin, dass Freizeitaktivitäten selbst bei einer Differenzierung in die vier verwendeten Freizeitkategorien überwiegend räumlich variabel sind. Sie zeigen zudem auf, dass zwischen den Freizeitkategorien deutliche Unterschiede bestehen. Als Beispiel kann der Vergleich zwischen mehrheitlich stabilem Zielwahlverhalten von Vereins- und Gruppenaktivitäten und dem deutlich variableren Zielwahlverhalten von privaten Besuchen herangezogen werden. Für Verkehrsnachfragemodelle wird es als wichtig angesehen, dass die Modelle in Summe ein angemessenes Maß an räumlicher Stabilität erzeugen. Daher wird eine Validierung durchgeführt, die das Maß an Zielwahlstabilität in Modell und Referenzerhebung mit Hilfe ausgewählter Indikatoren überprüft. In ähnlicher Weise wurde z. B. die Multimodalität und das Wechselverhalten von Verkehrsmitteln im Längsschnitt mittels Indikatoren in Simulation und Erhebung verglichen (T. Kuhnimhof, 2007).

Es werden zwei Verkehrsnachfragesimulationen durchgeführt, die sich in ihrem Zielwahlmodell unterscheiden. Das Basissimulation nutzt Zielwahlmodell MNL 1B, welches die Einflüsse aus Erreichbarkeit, Attraktivität und Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnis mit Interaktionseffekten berücksichtigt. Damit stellt es weitestgehend den Status quo von diskreten Zielwahlmodellen dar. Die VBP-Simulation nutzt das Zielwahlmodell MNL 3B, welches zusätzlich die Einflüsse der verhaltensbasierten Präferenzen inkludiert. Die Erwartung an dieses Modell ist, dass es die Heterogenität der Zielwahl besser erklärt und stabile und variable Verhaltensweisen besser differenziert. Ersteres wurde bereits in Kapitel 7.4 gezeigt. Beide Simulationen führen das mobiTopp-Kurzzeitmodul aus und nutzen die synthetische Bevölkerung inklusive ihrer Aktivitätenpläne und Ortsbeziehungen als Ausgangsgrundlage.

Im Vergleich der beiden Simulationen zeigt sich eine durchgängig höhere Stabilität des Zielwahlverhaltens für alle Indikatoren und Freizeitkategorien in der VBP-Simulation (vgl. Tabelle 27). Es kann die Schlussfolgerung getroffen

werden, dass die Agenten aufgrund der Synthese von Ortsbeziehungen und deren Berücksichtigung in der Zielwahl einem Teil der Ortsbeziehungen eine größere Bedeutung zumessen und diese daher anteilig häufiger aufsuchen, was zu einer größeren räumlichen Verhaltensstabilität führt. Damit liegen die Werte der Indikatoren überwiegend näher an denen der Erhebung. Insbesondere für Vereins-, Gruppen-, Sport- und Erholungsaktivitäten ergeben sich sichtbar stabilere Verhaltensweisen, die näher an denen der Erhebung liegen. Für die Freizeitkategorien Kultur und privater Besuch zeigen sich je nach Indikator unterschiedliche Ergebnisse. Während bei den Indikatoren VI , $DOFTS$ und HHI die Werte der VBP-Simulation näher an den Sollverteilungen der MOBIS-Erhebung liegen, ist dies bei HHI_M und DAL_M nicht der Fall oder kein Unterschied zu erkennen. Die Veränderungen sind im Vergleich zu den Sollveränderungen auf Basis der MOBIS-Erhebung insgesamt allerdings nur von geringem Umfang.

Die beste Übereinstimmung der Indikatorwerte in Simulation und Erhebung findet sich bei privaten Besuchen. Diese repräsentieren zugleich den räumlich variabelsten Freizeitzweck. Die größten Abweichungen zwischen Simulation und Erhebung ergeben sich für Vereins- und Gruppenaktivitäten, welche zugleich den räumlich stabilsten Freizeitkategorie repräsentieren. Damit zeigt sich der Handlungsbedarf bei den vergleichsweisen stabileren Aktivitätentypen. Es wird aber auch deutlich, dass die Simulationen räumlich variable Verhaltensweisen sehr gut reproduzieren können.

Tabelle 27: Stabilitätsindikatoren der Verkehrsnachfragesimulationen im Vergleich mit MOBIS-Erhebung

Indika-tor	Daten-grundlage	Vereine u. Grup-pen		Kultur		Sport u. Erho-lung		Privater Be-such	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
VI	MOBIS	0,718	0,275	0,321	0,215	0,332	0,210	0,282	0,202
	mT Basis	0,485	0,333	0,275	0,235	0,229	0,198	0,246	0,197
	mT VBP	0,502	0,331	0,282	0,243	0,238	0,209	0,264	0,207
DOFTS	MOBIS	0,548	0,43	0,156	0,237	0,156	0,232	0,125	0,211
	mT Basis	0,288	0,433	0,117	0,252	0,075	0,196	0,080	0,189
	mT VBP	0,308	0,435	0,127	0,263	0,087	0,211	0,098	0,206
HHI	MOBIS	0,673	0,307	0,244	0,209	0,254	0,204	0,211	0,197
	mT Basis	0,47	0,341	0,233	0,237	0,196	0,196	0,204	0,197
	mT VBP	0,482	0,341	0,239	0,245	0,203	0,205	0,216	0,205
HHI_M	MOBIS	15,746	12,623	2,630	5,952	2,685	5,692	2,206	5,494
	mT Basis	10,069	12,193	3,188	7,296	2,224	5,587	2,311	5,417
	mT VBP	10,369	12,266	3,352	7,535	2,374	5,874	2,498	5,704
DAL_M	MOBIS	0,934	0,071	0,719	0,178	0,728	0,187	0,665	0,213
	mT Basis	0,869	0,143	0,697	0,214	0,663	0,239	0,665	0,237
	mT VBP	0,874	0,137	0,697	0,216	0,664	0,240	0,673	0,232

Der Indikator **DAL_M** weist nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Simulationen auf. Da der Indikator für Personen, die lediglich einen Ort aufsuchen und damit eine Alternative wählen, nicht bestimmt werden kann, wird zusätzlich der Anteil der Personen ausgegeben, die je Freizeitkategorie jeweils nur einen Ort innerhalb der sechs Wochen aufsuchen (vgl. Tabelle 28). Wiederum weist die VBP-Simulation hierbei höhere Werte auf, was für eine höhere räumliche Verhaltensstabilität spricht.

Tabelle 28: Anteil Personen mit einer gewählten Alternative je Freizeitzweck

Daten	Vereine u. Gruppen	Kultur	Sport u. Erholung	Privater Besuch
MOBIS	43,03 %	3,99 %	3,61 %	3,28 %
mobiTopp	26,53 %	6,44 %	3,48 %	3,08 %
mobiTopp VBP	27,35 %	6,92 %	3,89 %	3,47 %

Zuletzt wird ein freizeitkategorieübergreifender Kennwert der Übereinstimmung gebildet, um die Güte der beiden Simulationen zu bestimmen. Die Abweichungen der Indikatorwerte zwischen Simulation und Erhebung über alle Freizeitkategorien werden mittels der Wurzelsumme der quadratischen Fehler (engl. *Root sum of square error*) (RSSE) zusammengefasst und verglichen (vgl. Tabelle 29). Es zeigt sich für alle Indikatoren ein geringerer Fehler und eine bessere Übereinstimmung der VBP-Simulation mit der Erhebung. Daher kann geschlussfolgert werden, dass die Modellerweiterungen bestehend aus der Synthese der Ortsbeziehungen und der Erweiterung des Zielwahlmodells eine Verbesserung der Zielwahlstabilität mit sich bringen. Der verbleibende Fehler weist aber dennoch darauf hin, dass weitere Verbesserungen notwendig sind.

Tabelle 29: Übereinstimmung der Stabilität der mobiTopp-Simulationsergebnisse mit der MOBIS-Erhebung

Indikator	RSSE Simulation – Erhebung	
	mobiTopp Basis	mobiTopp VBP
<i>VI</i>	0,095	0,091
<i>DOFTS</i>	0,279	0,253
<i>HHI</i>	0,212	0,198
<i>HHI_M</i>	5,724	5,442
<i>DAL_M</i>	0,261	0,239

8.3 Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens

Die Wirkung der im Modell implementierten Beziehungscharakteristiken auf die Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens wird im Rahmen einer Prognose der Wirkungen einer Maßnahme aufgezeigt. Es soll überprüft werden, inwiefern Personen im Falle einer Maßnahme, die die Erreichbarkeit eines Ortes beeinflusst, ihr Verhalten beibehalten oder anpassen. Die Maßnahme beeinflusst die Erreichbarkeit mehrerer Freizeitgelegenheiten der Aktivitätentypen Kultur sowie Sport und Erholung dahingehend, dass sich die Reisezeit mit dem privaten Pkw konstant für alle Relationen zu diesen Orten um zehn Minuten

verlängert. Es wird angenommen, dass ein verändertes Parkraumangebot und Anfahrtsmanagement zu dieser Veränderung führen.

Die betrachteten Freizeitgelegenheiten der Kategorie Sport und Erholung sind das Rheinstrandbad Rappenwörth und das Sportzentrum Waldbronn (vgl. Abbildung 28). Das Rheinstrandbad Rappenwörth ist am Stadtrand gelegen und stellt eine städtische Freizeitgelegenheit dar, die sowohl gut mit dem Pkw als auch mit den ÖPNV erreichbar ist. Das Sportzentrum Waldbronn ist außerhalb urbaner Gebiete gelegen und lediglich mit dem Pkw gut erreichbar. Die Reisezeit vom Karlsruher Hauptbahnhof beträgt etwa 15 Minuten mit dem Pkw und 50 bis 60 Minuten mit dem ÖPNV. Das Sportzentrum umfasst eine Eislaufhalle, ein Freibad und weitere Anlagen des Vereinssports.

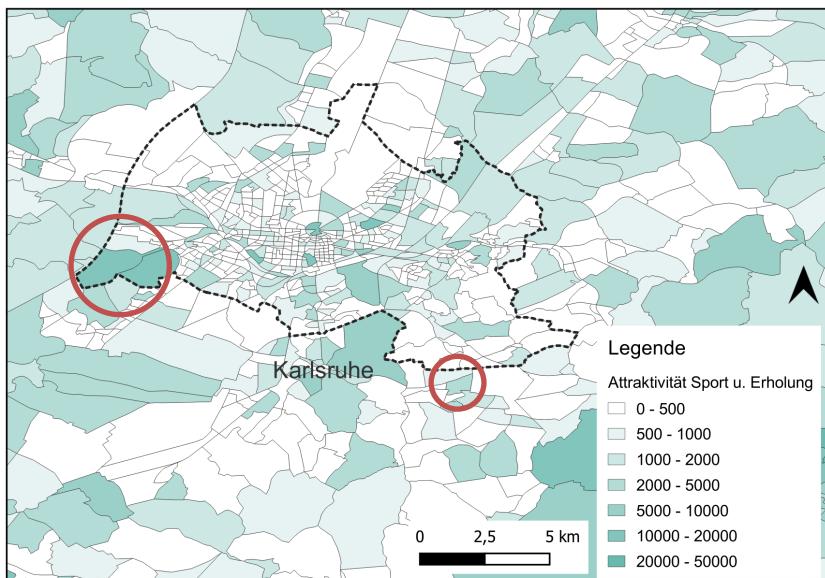


Abbildung 28: Maßnahmen Orte Sport und Erholung

Die betrachteten Freizeitgelegenheiten der Kategorie Kultur sind das Zentrum für Kunst und Medien (ZKM) in Karlsruhe und die Freilichtbühne Ötigheim

(vgl. Abbildung 29). Das ZKM ist ein bekanntes Museum für Medienkunst mit überregionalem Besucherkreis. Benachbart zu dem Museum liegt ein Kino. Beide Einrichtungen sind innerstädtisch gelegen und daher sehr gut mit Pkw und ÖPNV erreichbar. Die Freilichtbühne Ötigheim ist eine Veranstaltungsanlage für Theateraufführungen und Konzerte, die in einem Dorf von etwa 5.000 Einwohnern südlich von Karlsruhe liegt. Die Reisezeit vom Karlsruher Hauptbahnhof beträgt etwa 20 Minuten mit dem Pkw und 40 bis 45 Minuten mit dem ÖPNV. Zusätzlich werden die Bars und Restaurants im Umfeld des Freibads Rappenwörth als gemeinsamer kultureller Ort betrachtet. Das Freibad Rappenwörth wird in dieser Analyse als gemeinsame Gelegenheit für Sport-, Erholungs- und Kulturaktivitäten berücksichtigt.

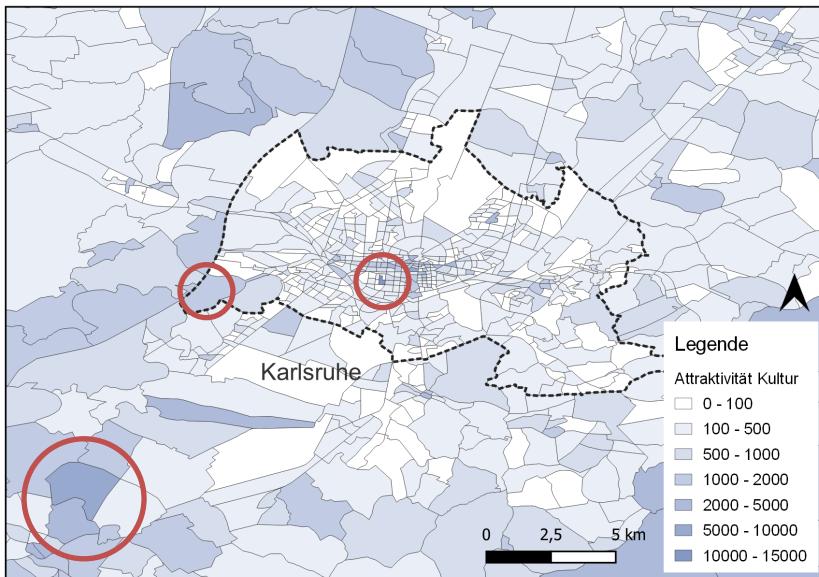


Abbildung 29: Maßnahmen Ort Kultur

Für die Untersuchung der Wirkungen wurden zwei zusätzliche Simulationen zu den bereits in Kapitel 8.2 beschriebenen durchgeführt, die die Maßnahme des veränderten Parkraummanagements berücksichtigen und daher eine

verändere Erreichbarkeit aufweisen. Die Verkehrsnachfragesimulationen unterscheiden sich im verwendeten Zielwahlmodell, wobei das Basis-Zielwahlmodell Effekte aus Attraktivität, Erreichbarkeit und Reisezeit-Gesamtzeit-Verhältnis berücksichtigt und das VBP-Zielwahlmodell zusätzlich die verhaltensbasierten Präferenzen der Ortsbeziehungen berücksichtigt. Die folgende Analyse betrachtet die relative Veränderung der Anzahl Aktivitäten in den Verkehrszellen der beschriebenen Orte über alle Agenten (vgl. Abbildung 30). Es werden daher keine individuellen Entscheidungsänderungen, sondern mittlere relative Veränderungen berücksichtigt.

Die Anzahl der Aktivitäten reduziert sich durch die Maßnahme über alle Orte hinweg um 60 bis 70 % im Falle der Simulationen mit dem Basiszielwahlmodell (vgl. Abbildung 30). Die Wege zum Freibad Rappenwörth weisen die im Mittel weitesten Wege auf, weshalb die Reduktion der Aktivitäten am geringsten ausfällt. Die zusätzliche Reisezeit fällt weniger ins Gewicht. Die Reaktion der Simulationen auf die Maßnahme fällt insgesamt unerwartet stark aus, zeigt aber, dass die reine Bewertung anhand objektiver Kriterien wie der Erreichbarkeit zu kurz greift, um Veränderungsprozesse sinnvoll erfassen zu können.

Mit der Berücksichtigung der VBP im Modell wird an allen Orten eine geringere relative Veränderung verursacht (vgl. Abbildung 30). Im Rahmen der maßnahmenbedingten schlechteren Erreichbarkeit wechseln die Personen im Mittel seltener auf einen anderen Ort als dies im Basismodell der Fall ist. Die Präferenzen bewirken ein weniger veränderliches Zielwahlverhalten der Personen. Der größte Unterschied zwischen den Zielwahlmodellen ist in den Simulationen bei der Freilichtbühne Ötigheim zu beobachten. Die Unterschiede bleiben über alle Personen im unteren einstelligen Prozentbereich.

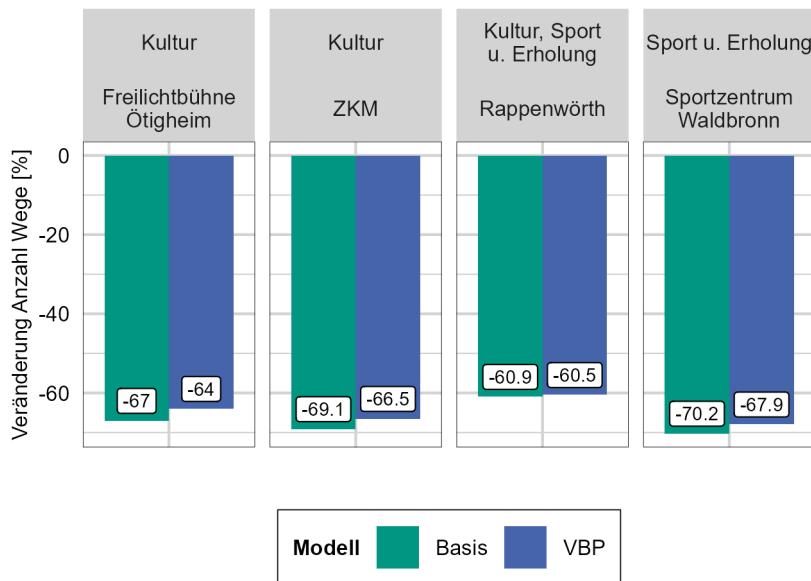


Abbildung 30: Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens an ausgewählten Orten in Folge der Beispielmaßnahme

Zusätzlich wird beispielhaft für die kulturellen Orte bei der Analyse der Veränderlichkeit unterschieden, ob die entsprechenden Personen eine wirksame Ortsbeziehung an den jeweiligen Orten haben (vgl. Abbildung 31). Es ergeben sich im Basismodell für die Personen mit Ortsbeziehung mit bis zu 74 % generell größere Veränderungen, da diese Personen im Mittel näher an den Orten wohnen und die Reisezeitänderung relativ stärker ins Gewicht fällt. Die modellbedingten Unterschiede der Veränderlichkeit werden deutlicher, wenn lediglich die Personengruppe betrachtet wird, die eine wirksame Ortsbeziehung an den Orten besitzt, damit eine Präferenz für diesen Ort aufweist und eine größere Verhaltenspersistenz erwartbar ist. Die Unterschiede der Veränderlichkeit zwischen den beiden Zielwahlmodellen weisen nun absolut bis zu 22 Prozentpunkte auf, sodass substantiell weniger Personen von der Aktivität an den ausgewählten kulturellen Orten absehen.

Damit wird ein Verhalten simuliert, das deutlich weniger auf verkehrliche Maßnahmen reagiert.

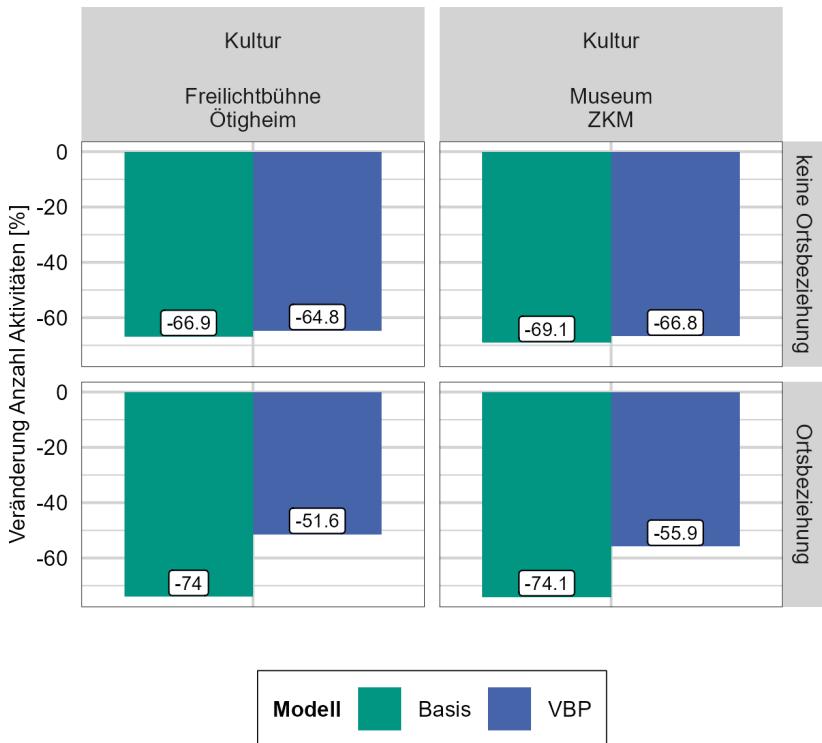


Abbildung 31: Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens an ausgewählten kulturellen Orten in Folge der Beispielmaßnahme nach Vorhandensein einer Ortsbeziehung

8.4 Synthese

Mit der Anwendung des vorgestellten Konzepts der Zielwahlmodellierung von Freizeitaktivitäten in Rahmen eines Verkehrs nachfragemodells wird dessen Wirkung auf das simulierte Zielwahlverhalten untersucht. Die Anwendung erfolgt für eine Verkehrs nachfrage von sechs Wochen für den gesamten

Planungsraum des Verkehrsnachfragemodells. Das simulierte Verhalten wird mit den Referenzwerten der MOBIS-Erhebung validiert. Zusätzlich erfolgt eine Untersuchung der Maßnahmensempfindlichkeit des Modellkonzeptes.

Die Validierung der Beziehungssynthese zeigt, dass die Menge und Struktur der Ortsbeziehungen in wesentlichen Charakteristiken der Referenzerhebung gleichen. Damit besteht für jeden Agenten ein individuelles Netzwerk an synthetischen Ortsbeziehungen und des damit assoziierten langfristig typischen Verhaltens. Das Netzwerk ermöglicht die Berücksichtigung der VBP in der Zielwahl der Verkehrsnachfragesimulation. Die Untersuchung der Stabilität der Zielwahl zeigt für alle Freizeitkategorien ein räumlich stabileres Verhalten als Ergebnis des Zielwahlmodells mit VBP im Vergleich zum Basismodell. Die variablen Freizeitkategorien können mit den Modellen realitätsgerechter abgebildet werden. Herausforderungen zeigen sich bei den räumlich stabileren Aktivitätstypen (z. B. Vereine und Gruppen). Hier können Verbesserungen beobachtet werden, dennoch bleibt das räumliche Verhalten noch zu variabel. Die Wirkungen der VBP auf die Veränderlichkeit zeigt sich bei der Analyse der Maßnahmensempfindlichkeit im Rahmen einer Beispielmaßnahme. Es ist generell eine hohe Veränderlichkeit zu beobachten, welche bei der Anwendung der VBP geringer wird. Damit geht in dieser Verkehrsnachfragesimulation ein höheres Maß an räumlicher Stabilität im Längsschnitt auch mit einer höheren Veränderlichkeit des Verhaltens einher. Die Ergebnisse zur Maßnahmensempfindlichkeit können aufgrund einer fehlenden Vergleichsgrundlage nicht validiert werden. Sie erscheinen aber für beide Modelle zu groß zu sein.

Der deutlich höhere Erklärungsgehalt der Modelle mit den VBP (vgl. Kapitel 7.4) lässt auch deutliche Effekte in der Anwendung der Modelle erwarten. Die beiden getätigten Analysen zeigen diese aber nur in Teilen. Ein Grund hierfür kann die fehlende zeitliche Abstimmung der Präferenzen und der Aktivitäten bei der Zuweisung der Charakteristiken sein (vgl. Kapitel 7.3.2). Die Synthese orientiert sich zwar bereits hinsichtlich der Menge und Lage der Ortsbeziehungen an der Person und ihrem Aktivitätsplan, verknüpft allerdings die tageszeit- und wochentagspezifischen Ortspräferenzen nicht mit dem

Aktivitätenplan. Deshalb besteht die Möglichkeit, dass ein Teil der synthetisch erzeugten Ortspräferenzen wirkungslos bleibt.

Darüber hinaus wird deutlich, dass die Bestimmung von Ortspräferenzen ausschließlich auf Basis von Wiederholungsmustern nicht ausreicht, um in allen Bereichen stabiles Zielwahlverhalten erklären und simulieren zu können. Insbesondere bei Verhaltensweisen, die seltener als alle sechs Wochen auftreten, sind weitere Verbesserungen notwendig. Dies betrifft beispielsweise Vereins- und Gruppenaktivitäten, deren Aktivitätenhäufigkeit im Mittel deutlich geringer ist als bei den anderen Freizeitkategorien (vgl. Tabelle 13). Eine Möglichkeit wird darin gesehen, Ortspräferenzen mittels latenter Variablen zu erstellen, die auf berichteten Items des sozialen Kontexts der Ortsbeziehung basieren. Wie in Kapitel 7.5 bereits erläutert, könnten aus Informationen zu Motiven, Verbindlichkeiten und räumlicher- bzw. zeitlicher Flexibilität Präferenzwerte für eine größere Anzahl Ortsbeziehungen bestimmt werden, die zudem für weitere Wirkmechanismen wie die zeitliche Verschiebung von Aktivitäten genutzt werden könnten.

9 Schluss

9.1 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Arbeit betrachtet das Zielwahlverhalten hinsichtlich seiner Stabilität bzw. Variabilität im Längsschnitt und seiner individuellen Hintergründe. Die Erkenntnisse nutzt sie für die Erstellung eines Modellkonzepts für agentenbasierte Verkehrsnachfragemodelle, um stabiles Zielwahlverhalten synthetisch in den Modellen zu erzeugen. Das Modellkonzept bildet die Wirkungszusammenhänge der Zielwahl besser ab und gestaltet das simulierte Verhalten realitätsgerechter. Die Arbeit fokussiert sich auf den Aktivitätentyp Freizeit und differenziert die vier Freizeitkategorien Vereine und Gruppen, Kultur, Sport und Erholung sowie privater Besuch.

Die Arbeit zeigt, dass eine Betrachtung des Zielwahlverhaltens der Bevölkerung im Längsschnitt sinnvoll ist. Während etwa für die Verkehrsmittelwahl die Betrachtung einer Woche meist ausreichend ist, um Mono- und Multimodalität zu analysieren, erfordert die Zielwahl einen Zeitraum von mehreren Wochen, um für viele Aktivitätentypen wiederholt auftretendes und damit stabiles Verhalten beobachten zu können. Die Literatur verwendet daher fast ausschließlich Tagebucherhebungen von mehr als einer Woche, um Muster des räumlich-zeitlichen Verhaltens zu untersuchen. Die Arbeit hat mit der Verwendung der mehrwöchigen MOBIS-Erhebung gezeigt, dass Tracking-Erhebungen hierfür geeignet sind, aber in Teilen zu anderen mobilitätsbezogenen Kennwerten kommen. Das Zielwahlverhalten von Freizeitaktivitäten ist vermehrt räumlich variabel geprägt. Die Freizeitkategorien sind dabei heterogen und reichen von sehr variablem Zielwahlverhalten bei privaten Besuchen bis hin zu überwiegend stabilem Zielwahlverhalten bei Vereins- und Gruppenaktivitäten. Die Aktivitätenorte orientieren sich deutlich an der Erreichbarkeit

ausgehend vom Wohnort und die Menge, Zusammensetzung und Lage der Aktivitätenorte weist viele soziodemografische Einflüsse auf.

Die Arbeit zeigt zudem deutlich, dass die Mensch-Ort-Interaktion eine wichtige Rolle in der Zielwahl einnimmt. Die Beziehungen zu Aktivitätenorten wurden hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Flexibilität, der Verbindlichkeit und der Motivation des Aufsuchens untersucht. Es zeigt sich, dass für alle Freizeitkategorien eine hohe Selbstbestimmtheit, überwiegend geringe Verbindlichkeit und häufig räumliche Flexibilität bei der Durchführung von Aktivitäten an den Orten besteht. Die Ergebnisse basieren auf einer in dieser Arbeit konzipierten und durchgeführten Erhebung von Aktivitätenorten.

Das in der Arbeit erstelle Modellkonzept der Zielwahl für Verkehrsnachfragemodelle besteht in einem ersten Schritt aus der Synthese von Ortsbeziehungen. Die Ortsbeziehungen repräsentieren eine Menge von Orten, mit denen eine Person im Allgemeinen in Interaktion steht. Innerhalb der Synthese werden Anzahl, Charakteristiken und Lage der Ortsbeziehungen aller vier betrachteten Freizeitkategorien für die Agenten bestimmt. Die Synthese verwendet ein Zählmodell, eine zufallsbasierte Zuweisung von Erhebungseigenschaften und ein diskretes Entscheidungsmodell. Die Modelle beachten interpersonelle Unterschiede aufgrund von Haushalts-, Personen- und Aktivitätencharakteristiken und bringen die Ortsbeziehungen in Interaktion mit den modellierten Freizeitgelegenheiten und dem Verkehrsangebot. Das eigentliche Zielwahlmodell ist wiederum ein diskretes Entscheidungsmodell und erweitert die sonst üblichen Einflüsse aus Attraktivität und Erreichbarkeit um den Einfluss der Ortsbeziehungen. So wird erreicht, dass die typischerweise aufgesuchten Orte in den Zielwahlentscheidungen entsprechend berücksichtigt werden.

Das Modellkonzept kommt in einem Verkehrsnachfragemodell zum Einsatz. Mit einer Dauer von sechs Wochen bewegt sich die Simulation deutlich über dem sonst üblichen Simulationszeitraum und ermöglicht die Analyse von Zielwahlstabilität und -variabilität in der simulierten Verkehrsnachfrage. Eine Reihe ausgewählter Stabilitätsindikatoren werden für die Simulationen

bestimmt. Die heute typischen Zielwahlmodelle schaffen es gut, für die variablen Freizeitkategorien wie etwa privaten Besuche ein realistisches Maß an Variation zu erzeugen. Deutliche Schwierigkeiten haben sie bei den stabilen Freizeitzwecken wie Vereine und Gruppen sowie Sport und Erholung. Ähnliche Schwierigkeiten werden für ähnlich stabile Aktivitätentypen wie Einkauf oder private Erledigungen erwartet. Das erstellte Modellkonzept zeigt bei der Anwendung auf die Freizeitkategorien eine Annäherung an die Realität, obwohl sich auch dessen simuliertes Verhalten immer noch als räumlich zu variabel darstellt.

Die Arbeit untersucht zusätzlich die Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens unter der Hypothese, dass im Längsschnitt stabileres Verhalten auch eine geringere Veränderlichkeit aufweist. Bei einer beispielhaften Maßnahme eines Parkraummanagements und einer deshalb verlängerten Pkw-Reisezeit wurde generell eine hohe Maßnahmensempfindlichkeit in den Simulationen beobachtet. Diese wurde geringer, wenn Ortsbeziehungen im Zielwahlmodell Berücksichtigung fanden.

9.2 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Mit den beschriebenen Analysen, Modellen und der Validierung der simulierten Verkehrs nachfrage stellt diese Arbeit nach Wissen des Autors die erste umfassende Betrachtung der Zielwahlstabilität in mikroskopischen Verkehrs nachfragermodellen dar. Trotz ihres Pilotcharakters an vielen Stellen legt sie damit den Grundstein für weitere detailliertere Betrachtungen des Themas in der Modellierung.

Der Pilotcharakter kommt zum einen durch die Datengrundlage zustande. Die verwendeten Erhebungen und Verkehrsmodelle stimmen in ihrer Referenzregion nicht überein, weshalb etwa eine Validierung mit der Annahme einhergehen muss, dass sich Zielwahlstabilität räumlich nicht unterscheidet. Es ist allerdings zu erwarten, da die Stabilität z. B. von der Menge an verfügbaren

Optionen abhängig ist, weshalb der Vergleich unterschiedlicher Regionen mit Einschränkungen versehen ist. Des Weiteren wurde aufgrund fehlender Informationen über detaillierte Freizeitkategorien eine Datenfusion der Aktivitätenorte von Erhebungen durchgeführt. Die zugeordneten Freizeitkategorien der mobidrive-Erhebung wurde auf Basis von Verhaltens-, Lage- und Personencharakteristiken mit einem Nächste-Nachbar-Verfahren bestimmt. Eine externe Validierung der Datenfusion wurde aufgrund fehlender Vergleichsdaten nicht durchgeführt. Zuletzt wies die in dieser Arbeit durchgeführte Aktivitätenorterhebung eine geringe Zahl an Aktivitätenorten auf, wobei davon auszugehen ist, dass insbesondere die selten aufgesuchten Orte mit geringerer Wahrscheinlichkeit berichtet wurden. Daher ist von einer Verzerrung der Ergebnisse auszugehen. Die Grundlage für weiterführende Arbeiten zur Analyse und Modellierung der Zielwahlstabilität ist eine Aktivitätenerhebung von mehreren Wochen, die mit der Modellregion räumlich übereinstimmt, detailliert auf Aktivitätentypen eingeht und im Optimalfall Charakteristiken der Ortsbeziehung erfragt. Detaillierte Aktivitätentypen sind erforderlich, da nur in diesem Fall stabile und variable Verhaltensmuster angemessen beobachtet werden können. Aufgrund des hohen Aufwandes des Berichtens wird eine passive Erhebung der Aktivitäten empfohlen, welche von den Befragten validiert und mit weiteren Informationen angereichert wird.

Die Modellergebnisse dieser Arbeit zeigen die Notwendigkeit, dass die Wirkungsmechanismen des Modells für mehrheitlich stabile Aktivitätentypen besser abgebildet werden müssen. Zum einen sticht hier die Synthese der Ortsbeziehungen hervor. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um die Synthese besser mit dem Gesamtmodell zu verzahnen, etwa bei der Generierung des Aktivitätenplanes und der Ortsbeziehungen. Beide haben eine zeitliche Dimension, die aufeinander abzustimmen ist, sodass die Ortsbeziehungen ihre volle Wirkung entfalten können. Dies kann in einer kombinierten Aktivitätenplan- und Ortsbeziehungsgenerierung geschehen. Zum anderen geraten die im Zielwahlmodell verwendeten Ortspräferenzen in den Blick. Die Präferenzen der Ortsbeziehungen basieren in dieser Arbeit lediglich auf wiederholtem Zielwahlverhalten. Jedoch können auch Ortspräferenzen bestehen, ohne dass

ein wiederholtes Aufsuchen eines Ortes stattfindet. Etwa kann bei privaten Besuchen davon ausgegangen werden, dass jeweils hohe Präferenzen zu vielen Ortsbeziehungen aufgrund von Freundschaft oder Verwandtschaft bestehen, deren Regelmäßigkeit der Treffen allerdings teils seltener als die Dauer des Erhebungszeitraumes ist. Solche Präferenzen müssen für die Aktivitätenorte zusätzlich erhoben werden, um sie in der Modellierung berücksichtigen zu können. Der Erhebungsansatz wurde hierzu bereits demonstriert und dessen Ergebnisse wurden vorbereitend den Aktivitätenorten der MOBIS-Erhebung zugeordnet (vgl. Kapitel 5.3.2). Es kann untersucht werden, inwiefern die Motive des Aufsuchens der Orte die Zielwahlentscheidungen von Freizeitaktivitäten beeinflussen. Mit den Informationen über z. B. Verbindlichkeit, Selbst- und Fremdbestimmtheit könnten über latente Konstrukte Präferenzwerte gebildet werden. Darüber hinaus können Aspekte der zeitlichen und räumlichen Flexibilität von Aktivitäten in der kurzfristigen Planung berücksichtigt werden, indem der Aktivitätenplan mit den Flexibilitätseigenschaften einer Ortsbeziehung abgeglichen wird und mögliche Anpassungen vorgenommen werden. Ein konzeptuelles Modell, das solche Aspekte berücksichtigt, findet sich bei Puhe (2023).

In letzterer Arbeit wird ebenfalls das Thema der Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens behandelt. Über die Rahmenbedingungen, unter denen Personen bereit sind, ihr in Teilen routiniertes Zielwahlverhalten anzupassen, ist noch wenig bekannt. Die Hypothese dieser Arbeit besteht darin, dass im Längsschnitt stabileres Verhalten auch mit einer geringen Veränderlichkeit einhergeht. Die Hypothese kann auf Basis der Simulationsergebnisse bestätigt werden. Sie zeigen aber auch, dass die Veränderlichkeit des Zielwahlverhaltens vergleichsweise hoch ist (vgl. Kapitel 8.3). Ob dies realistisch ist, muss mit Erfahrungswerten von Vorher-Nachher-Untersuchungen von verkehrlichen Maßnahmen abgeglichen werden. Das Verhalten von Personen würde im zeitlichen Zusammenhang einer Maßnahme auf intrapersonelle Veränderung untersucht und eine Veränderlichkeit des Verhaltens in Verbindung mit dem Charakter der Ortbeziehung gebracht werden.

Literaturverzeichnis

- Aarts, H., & Dijksterhuis, A. P. (2000). The automatic activation of goal-directed behaviour: The case of travel habit. *Journal of environmental psychology*, 20(1), 7582.
- Aarts, H., Verplanken, B., & Knippenberg, A. (1998). Predicting Behavior From Actions in the Past: Repeated Decision Making or a Matter of Habit? *Journal of Applied Social Psychology*, 28(15), 1355–1374.
<https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1998.tb01681.x>
- Adamowicz, W. L. (1994). Habit formation and variety seeking in a discrete choice model of recreation demand. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 19–31.
- An, Z., Heinen, E., & Watling, D. (2023). The level and determinants of multimodal travel behavior: Does trip purpose make a difference? *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(2), 103–117.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1985195>
- Arentze, T. A., & Timmermans, H. J. P. (2005). Representing mental maps and cognitive learning in micro-simulation models of activity-travel choice dynamics. *Transportation*, 32(4), 321340.
- As, D. (1978). Studies of Time-Use: Problems and Prospects. *Acta Sociologica*, 21(2), 125–141.
<https://doi.org/10.1177/000169937802100203>
- Axhausen, K. W. (2008). Social Networks, Mobility Biographies, and Travel: Survey Challenges. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(6), 981–996. <https://doi.org/10.1068/b3316t>
- Axhausen, K. W., & Fell, B. (2000). *Mobidrive questionnaires*.
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004233079>
- Axhausen, K. W., Löchl, M., Schlich, R., Buhl, T., & Widmer, P. (2007). Fatigue in long-duration travel diaries. *Transportation*, 34(2), 143–160.
<https://doi.org/10.1007/s11116-006-9106-4>

- Axhausen, K. W., Zimmermann, A., Schönfelder, S., Rindsfürer, G., & Haupt, T. (2002). Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary. *Transportation*, 29(2), 95–124.
- Balmer, M., Axhausen, K. W., & Nagel, K. (2006). Agent-Based Demand-Modeling Framework for Large-Scale Microsimulations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1985(1), 125–134.
<https://doi.org/10.1177/0361198106198500114>
- Bamberg, S. (2002). Effects of Implementation Intentions on the actual Performance of new Environmentally Friendly Behaviours—Results of two Field Experiments. *Journal of environmental psychology*, 22(4), 399–411. <https://doi.org/10.1006/jenv.2002.0278>
- Bamberg, S., Rölle, D., & Weber, C. (2003). Does habitual car use not lead to more resistance to change of travel mode? *Transportation*, 30(1), 97–108. <https://doi.org/10.1023/A:1021282523910>
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73–80.
- Barker, R. (1968). *Ecological psychology, Concepts and Methods for Studying the Environment of Human Behavior*. Stanford University Press.
- Barthelmes, L., Görgülü, M. E., Kübler, J., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2023). Microscopic Agent-Based Parcel Demand Model for the Simulation of CEP-Based Urban Freight Movements to and from Companies. In U. Clausen & M. Dellbrügge (Hrsg.), *Advances in Resilient and Sustainable Transport* (S. 75–92). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28236-2_6
- Bastarianto, F. F., Hancock, T. O., Choudhury, C. F., & Manley, E. (2023). Agent-based models in urban transportation: Review, challenges, and opportunities. *European Transport Research Review*, 15(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00590-5>
- Battelle Transportation Division (Hrsg.). (1997). *Lexington Area Travel Data Collection Test*. <https://www.fhwa.dot.gov/ohim/lextrav.pdf>

- Bayart, C., Bonnel, P., & Morency, C. (2009). Survey mode integration and data fusion: Methods and challenges. In *Transport survey methods: Keeping up with a changing world* (S. 587–611). Emerald Group Publishing Limited.
- Beckmann, M. J., Golob, T. F., & Zahavi, Y. (1983a). Travel Probability Fields and Urban Spatial Structure: 1. Theory. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 15(5), 593–606.
<https://doi.org/10.1068/a150593>
- Beckmann, M. J., Golob, T. F., & Zahavi, Y. (1983b). Travel Probability Fields and Urban Spatial Structure: 2. Empirical Tests. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 15(6), 727–738.
<https://doi.org/10.1068/a150727>
- Bekhor, S., & Prashker, J. N. (2008). GEV-based destination choice models that account for unobserved similarities among alternatives. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(3), 243–262.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2007.08.003>
- Ben-Akiva, M., & Boccara, B. (1995). Discrete choice models with latent choice sets. *International Journal of Research in Marketing*, 12(1), 9–24. [https://doi.org/10.1016/0167-8116\(95\)00002-J](https://doi.org/10.1016/0167-8116(95)00002-J)
- Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. MIT Press.
- Bernardin, V. L., Koppelman, F., & Boyce, D. (2009). Enhanced Destination Choice Models Incorporating Agglomeration Related to Trip Chaining While Controlling for Spatial Competition. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2132(1), 143–151. <https://doi.org/10.3141/2132-16>
- Bhat, C. R., & Guo, J. (2004). A mixed spatially correlated logit model: Formulation and application to residential choice modeling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), 147–168.
[https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00005-5)

- Biemann, T., Koch-Bayram, I. F., Meier-Barthold, M., & Aguinis, H. (2025). Using Markov Chains to Detect Careless Responding in Survey Research. *Organizational Research Methods*, 28(4), 543–568. <https://doi.org/10.1177/10944281251334778>
- Borgers, A. W. J., & Timmermans, H. J. P. (1988). A context-sensitive model of spatial choice behaviour. In R. G. Golledge & H. J. P. Timmermans (Hrsg.), *Behavioural modelling in geography and planning* (S. 159–179). Croom Helm.
- Borgers, A. W. J., Van Der Heijden, R. E. C. M., & Timmermans, H. J. P. (1989). A Variety Seeking Model of Spatial Choice-Behaviour. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 21(8), 1037–1048. <https://doi.org/10.1068/a211037>
- Bosserhoff, D. (2018). *Programm Ver_Bau: Abschätzung des Verkehrsaufkommens durch Vorhaben der Bauleitplanung mit Excel-Tabellen am PC*. <http://www.dietmar-bosserhoff.de/Programm.html>
- Bowling, N. A., Huang, J. L., Brower, C. K., & Bragg, C. B. (2023). The Quick and the Careless: The Construct Validity of Page Time as a Measure of Insufficient Effort Responding to Surveys. *Organizational Research Methods*, 26(2), 323–352. <https://doi.org/10.1177/10944281211056520>
- Bowman, J. L., & Ben-Akiva, M. E. (2001). Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(1), 1–28. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00043-9)
- Bradley, M., Bowman, J. L., & Griesenbeck, B. (2010). SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution. *Journal of Choice Modelling*, 3(1), 5–31. [https://doi.org/10.1016/S1755-5345\(13\)70027-7](https://doi.org/10.1016/S1755-5345(13)70027-7)
- Buliung, R. N., Roorda, M. J., & Remmel, T. K. (2008). Exploring spatial variety in patterns of activity-travel behaviour: Initial results from the Toronto Travel-Activity Panel Survey (TTAPS). *Transportation*, 35(6), 697–722.

- Canzler, W., & Knie, A. (1998). *Möglichkeitsräume: Grundrisse einer modernen Mobilitäts- und Verkehrspolitik*. Böhlau.
- Carrasco, J. A., & Miller, E. J. (2006). Exploring the propensity to perform social activities: A social network approach. *Transportation*, 33(5), 463–480. <https://doi.org/10.1007/s11116-006-8074-z>
- Cascetta, E., Pagliara, F., & Axhausen, K. W. (2007). The Use of Dominance Variables in Choice Set Generation. *11th World Conference on Transport Research*.
- Cascetta, E., Pagliara, F., & Papola, A. (2007). Alternative approaches to trip distribution modelling: A retrospective review and suggestions for combining different approaches. *Papers in regional Science*, 86(4), 597–620.
- Cascetta, E., & Papola, A. (2009). Dominance among alternatives in random utility models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(2), 170–179.
- Castaigne, M., Cornelis, E., Walle, F., Frederix, R., Tampere, C., Toint, P., & Viti, F. (2009). Behaviour and mobility within the week 'BMW Final Report'. *Brussels: Belgian Science Policy*, 120.
- Castanedo, F. (2013). A Review of Data Fusion Techniques. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2013/704504>
- Castiglione, J., Bradley, M., & Glibe, J. (2015). *Activity-based Travel Demand Models: A Primer*. Transportation Research Board.
- Chaix, B., Kestens, Y., Perchoux, C., Karusisi, N., Merlo, J., & Labadi, K. (2012). An Interactive Mapping Tool to Assess Individual Mobility Patterns in Neighborhood Studies. *American Journal of Preventive Medicine*, 43(4), 440–450.
<https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.06.026>
- Chlond, B., Ecke, L., Magdolen, M., Vallée, J., & Vortisch, P. (2024). The German Mobility Panel: – Lessons Learned from a Longitudinal Travel Behavior Survey over 30 Years. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 03611981241252782.
<https://doi.org/10.1177/03611981241252782>

- Cho, E., Myers, S. A., & Leskovec, J. (2011). Friendship and mobility: User movement in location-based social networks. *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1082–1090.
<https://doi.org/10.1145/2020408.2020579>
- Chowdhury, S., La Paix, L., & Geurs, K. (2020). *Inter- and Intrapersonal variation in destination choice*.
<https://doi.org/10.18757/ejtir.2020.20.4.3951>
- Cordell, H. K., Green, G. T., & Betz, C. J. (2002). Recreation and the Environment as Cultural Dimensions in Contemporary American Society. *Leisure Sciences*, 24(1), 13–41.
<https://doi.org/10.1080/01490400252772818>
- Couclelis, H., Golledge, R. G., Gale, N., & Tobler, W. (1987). Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 7(2), 99–122.
[https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(87\)80020-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(87)80020-8)
- Cowell, F. A. (2011). *Measuring inequality*. Oxford University Press.
- Cullen, I. G. (1978). The treatment of time in the explanation of spatial behavior. *Timing space and spacing time. vol. 2: human activity and time geography*, 27–38.
- Cullen, I., & Godson, V. (1975). Urban networks: The structure of activity patterns. *Progress in planning*, 4, 1–96.
- Cyganski, R. (2020). *Was zieht uns an? Empirische Grundlagen für eine verbesserte Abbildung der Einkaufszielwahl in Verkehrsnachfragemodellen*. Humboldt-Universität zu Berlin.
<https://doi.org/10.18452/22101>
- Daly, A. (1981). Some Issues in the Application of Disaggregate Choice Models. In *New Horizons in Travel Behavior Research* (S. 55–72).
- Daly, A., Hess, S., & De Jong, G. (2012). Calculating errors for measures derived from choice modelling estimates. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(2), 333–341.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.10.008>

- De Jong, G., Daly, A., Pieters, M., & Van Der Hoorn, T. (2007). The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(9), 874–889. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.10.002>
- De Maesschalck, R., Jouan-Rimbaud, D., & Massart, D. L. (2000). The Mahalanobis distance. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 50(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(99\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(99)00047-7)
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7>
- Deutsch, K. E., Yoon, S. Y., & Goulias, K. G. (2011). *Using Sense of Place to Model Behavioral Choices*.
- Deutsch, K., & Goulias, K. (2010). Exploring Sense-of-Place Attitudes as Indicators of Travel Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2157(1), 95–102. <https://doi.org/10.3141/2157-12>
- Deutsch, K., Yoon, S. Y., & Goulias, K. (2013). Modeling travel behavior and sense of place using a structural equation model. *Journal of Transport Geography*, 28, 155–163.
- Diana, M., & Mokhtarian, P. L. (2008). *Travelers' segmentation based on multimodality behaviors and attitudes*.
- Diana, M., & Pirra, M. (2016). A comparative assessment of synthetic indices to measure multimodality behaviours. *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(9), 771–793. <https://doi.org/10.1080/23249935.2016.1177133>
- Dieleman, F., & Wegener, M. (2004). Compact city and urban sprawl. *Built environment*, 30(4), 308–323.
- Dijst, M. (1999). Action space as planning concept in spatial planning. *Netherlands Journal of Housing and the Built Environment*, 14(2), 163–182. <https://doi.org/10.1007/BF02496820>

- Dijst, M., & Vidakovic, V. (2000). Travel time ratio: The key factor of spatial reach. *Transportation*, 27(2), 179–199.
<https://doi.org/10.1023/A:1005293330869>
- Doherty, S. T. (2005). How Far in Advance Are Activities Planned?: Measurement Challenges and Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1926(1), 41–49. <https://doi.org/10.1177/0361198105192600106>
- Doherty, S. T. (2006). Should we abandon activity type analysis? Redefining activities by their salient attributes. *Transportation*, 33(6), 517–536.
- D’Orazio, M., Di Zio, M., & Scanu, M. (2006). *Statistical matching: Theory and practice*. John Wiley & Sons.
- Downs, R. M., & Stea, D. (1977). *Maps in minds: Reflections on cognitive mapping*. Harper & Row,.
- Duan, Z., Zhao, H., & Li, Z. (2023). Non-linear effects of built environment and socio-demographics on activity space. *Journal of Transport Geography*, 111, 103671.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103671>
- Ecke, L., Vallée, J., Chlond, B., & Vortisch, P. (2023). *Deutsches Mobilitätspanel (MOP)—Statistiken zur Alltagsmobilität sowie zu Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch 2013—2022* (S. 190,6 kB) [Application/x-tar]. Karlsruhe Institute of Technology.
<https://doi.org/10.35097/1824>
- Ecke, L., Vallée, J., Chlond, B., & Vortisch, P. (2023). Deutsches Mobilitätspanel (MOP)—Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2022/2023: Alltagsmobilität und Fahrleistung. *Karlsruher Institut für Technologie (KIT): Karlsruhe, Germany*.
- Follmer, R. (2018). *Mobilität in Deutschland—Tabellarische Grundauswertung Baden Württemberg*. infas, DLR, IVT, infas 360.
- forsa. (2024). *Ehrenamtsatlas NRW 2024*. forsia.

- Fotheringham, A. S. (1983). A New Set of Spatial-Interaction Models: The Theory of Competing Destinations. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 15(1), 15–36.
<https://doi.org/10.1177/0308518X8301500103>
- Fotheringham, A. S., & Curtis, A. (2005). Encoding spatial information: The evidence for hierarchical processing. *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space: International Conference GIS—From Space to Territory: Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning Pisa, Italy, September 21–23, 1992 Proceedings*, 269–287.
- Fotheringham, A. S., & O'Kelly, M. E. (1989). *Spatial interaction models: Formulations and applications* (Bd. 1). Kluwer Academic Publishers Dordrecht.
- Frei, A., & Axhausen, K. W. (2007). *Size and structure of social network geographies* (S. 37 p.) [Application/pdf]. ETH Zurich.
<https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-005562753>
- Frei, A., & Ohnmacht, T. (2016). Egocentric Networks in Zurich: Quantitative Survey Development, Data Collection and Analysis. In M. Kowald & K. W. Axhausen, *Social networks and travel behaviour* (S. 51–98). Routledge.
- Gärling, T., & Axhausen, K. W. (2003). Introduction: Habitual travel choice. *Transportation*, 30(1), 1–11.
- Gärling, T., Fujii, S., & Boe, O. (2001). Empirical tests of a model of determinants of script-based driving choice. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 4(2), 89–102.
[https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(01\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(01)00016-X)
- Gertz, C. (2013). Raumwiderstände zwischen Freiheit und Zwang. In O. Schwedes (Hrsg.), *Räumliche Mobilität in der zweiten Moderne: Freiheit und Zwang bei Standortwahl und Verkehrsverhalten*. LIT Verlag Münster.

- Golledge, R. G., & Stimson, R. (1997). *Spatial behavior: A geographic perspective*. Guilford Press.,
<http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0651/96047144-s.html>
- Goodwin, P., Kitamura, R., & Meurs, H. (1990). Some principles of dynamic analysis of travel behaviour. In P. Jones, *Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis*. Avebury.
- Gould, P. R., & White, R. R. (1968). The mental maps of British school leavers. *Regional studies*, 2(2), 161–182.
- Gramsch-Calvo, B., & Axhausen, K. W. (2023). *Place generator & place interpreter: A new methodology to understand regular mobility patterns* [Application/pdf]. 24 p. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000606363>
- Gramsch-Calvo, B., & Axhausen, K. W. (2024a). Exploring the influence of social relations and knowledge of the urban environment on leisure travel. *Journal of Transport Geography*, 117, 103860.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103860>
- Gramsch-Calvo, B., & Axhausen, K. W. (2024b). Place Generator and Place Interpreter: A new methodology to collect data on regular mobility patterns. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-024-10526-0>
- Gu, X. S., & Rosenbaum, P. R. (1993). Comparison of Multivariate Matching Methods: Structures, Distances, and Algorithms. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 2(4), 405–420.
<https://doi.org/10.1080/10618600.1993.10474623>
- Haab, T. C., & Hicks, R. L. (1997). Accounting for Choice Set Endogeneity in Random Utility Models of Recreation Demand. *Journal of Environmental Economics and Management*, 34(2), 127–147.
<https://doi.org/10.1006/jeem.1997.1009>
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, 7–21.

- Hannes, E., Kusumastuti, D., Espinosa, M. L., Janssens, D., Vanhoof, K., & Wets, G. (2012). Mental maps and travel behaviour: Meanings and models. *Journal of Geographical Systems*, 14(2), 143–165.
<https://doi.org/10.1007/s10109-010-0144-2>
- Hanson, S. (1980). The importance of the multi-purpose journey to work in urban travel behavior. *Transportation*, 9(3), 229–248.
- Hanson, S., & Huff, J. O. (1981). Assessing day-to-day variability in complex travel patterns. *Transportation Research Record*, 891, 18–24.
- Hanson, S., & Huff, J. O. (1986). Classification issues in the analysis of complex travel behavior. *Transportation*, 13(3), 271293.
- Hanson, S., & Huff, J. O. (1988). Systematic variability in repetitious travel. *Transportation*, 15(1), 111135.
- Harb, M., Walker, J. L., Malik, J., & Circella, G. (2022). Estimating short-term travel demand models that incorporate personally owned autonomous vehicles. *Travel Behaviour and Society*, 26, 279–289.
<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.10.008>
- Harding, C., Patterson, Z., & Miranda-Moreno, L. (2013). Activity space geometry and its effect on mode choice. *92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC: 2013*.
- Haynes, K. E., & Fotheringham, A. S. (1984). Gravity and Spatial Interaction Models. *Web Book of Regional Science*.
- Haynes, K. E., & Fotheringham, A. S. (1990). The impact of space on the application of discrete choice models. *Review of Regional Studies*, 20(2), 39–49.
- Heidemann, C. (1981). Spatial behavior studies: Concepts and contexts. In P. R. Stopher, A. H. Meyburg, & W. Brög, *New Horizons in Travel Behavior Research* (S. 289–315). Lexington Books Lexington, Massachusetts.
- Heilig, M., Mallig, N., Schröder, O., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2018). Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model. *Travel Behaviour and Society*, 12, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.02.002>

- Heinen, E., & Chatterjee, K. (2015). The same mode again? An exploration of mode choice variability in Great Britain using the National Travel Survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.015>
- Hensher, D. A., Rose, J. M., & Greene, W. H. (2015). *Applied Choice Analysis*. Cambridge University Press.
- Herfindahl, O. C. (1997). *Concentration in the steel industry*. Columbia University.
- Hess, S., & Palma, D. (2019). Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of choice modelling*, 32, 100170.
- Hicks, R. L., & Strand, I. E. (2000). The extent of information: Its relevance for random utility models. *Land Economics*, 374–385.
- Ho, D. E., Imai, K., King, G., & Stuart, E. A. (2011). MatchIt: Nonparametric Preprocessing for Parametric Causal Inference. *Journal of Statistical Software*, 42(8). <https://doi.org/10.18637/jss.v042.i08>
- Holzapfel, H. (1980). *Verkehrsbeziehungen in Städten*. Institut für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, Technische Universität Berlin.
- Horni, A., & Axhausen, K. W. (2012). *MATSim agent heterogeneity and a one-week scenario*. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000061926>
- Horowitz, J. L., & Louviere, J. J. (1995). What is the role of consideration sets in choice modeling? *International Journal of Research in Marketing*, 12(1), 39–54. [https://doi.org/10.1016/0167-8116\(95\)00004-L](https://doi.org/10.1016/0167-8116(95)00004-L)
- Horton, F. E., & Reynolds, D. R. (1970). Action space formation: A behavioral approach to predicting urban travel behavior. *Highway Research Record*, 322, 136–148.
- Huff, J., & Hanson, S. (1990). Measurement of habitual behaviour: Examining systematic variability in repetitive travel. *Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis*, 229–249.

- Huff, J. O., & Hanson, S. (1986). Repetition and Variability in Urban Travel. *Geographical Analysis*, 18(2), 97–114.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1986.tb00085.x>
- Hunt, L. M., Boots, B., & Kanaroglou, P. S. (2004). Spatial choice modelling: New opportunities to incorporate space into substitution patterns. *Progress in Human Geography*, 28(6), 746–766.
<https://doi.org/10.1191/0309132504ph517oa>
- infas, DLR, IVT, & infas 360. (2025). *Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr (FE-Nr. VB600001)*.
www.mobilitaet-in-deutschland.de
- Jakle, J. A., Brunn, S. D., & Roseman, C. C. (1976). *Human spatial behavior: A social geography*. Duxbury Press.
- Jonnalagadda, N., Freedman, J., Davidson, W. A., & Hunt, J. D. (2001). Development of Microsimulation Activity-Based Model for San Francisco: Destination and Mode Choice Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1777(1), 25–35. <https://doi.org/10.3141/1777-03>
- Jorgensen, B. S., & Stedman, R. C. (2001). Sense of Place as an Attitude: Lakeshore Owners Attitudes toward their Properties. *Journal of Environmental Psychology*, 21(3), 233–248.
<https://doi.org/10.1006/jevp.2001.0226>
- Kagerbauer, M., Mallig, N., Vortisch, P., & Pfeiffer, M. (2015). Modellierung von Variabilität und Stabilität des Verkehrsverhaltens im Längsschnitt mithilfe der Multi-Agenten-Simulation mobiTopp. *Straßenverkehrstechnik*, 5, 375–384.
- Karnick, N., Simonson, J., & Hagen, C. (2022). Organisationsformen und Leitungsfunktionen im freiwilligen Engagement. In J. Simonson, N. Kelle, C. Kausmann, & C. Tesch-Römer (Hrsg.), *Freiwilliges Engagement in Deutschland* (S. 183–202). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35317-9_10
- Kiesl, H., & Rässler, S. (2006). *How valid can data fusion be*.

- Kim, H.-M., & Kwan, M.-P. (2003). Space-time accessibility measures: A geocomputational algorithm with a focus on the feasible opportunity set and possible activity duration. *Journal of Geographical Systems*, 5(1), 71–91.
<https://doi.org/10.1007/s101090300104>
- Kitamura, R., Kikuchi, A., Fujii, S., & Yamamoto, T. (2005). An Overview of PCATS/DEBNetS Micro-simulation System: Its Development, Extension, and Application to Demand Forecasting. In *Simulation Approaches in Transportation Analysis* (S. 371–399). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-387-24109-4_14
- Kitamura, R., Yamamoto, T., Kishizawa, K., & Pendyala, R. M. (2000). Stochastic Frontier Models of Prism Vertices. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1718(1), 18–26. <https://doi.org/10.3141/1718-03>
- Klinkhardt, C., Woerle, T., Briem, L., Heilig, M., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2021). Using OpenStreetMap as a Data Source for Attractiveness in Travel Demand Models. *Transportation Research Record*, 2675(8), 294–303. <https://doi.org/10.1177/0361198121997415>
- Koppelman, F. S., & Hauser, J. R. (1978). Destination choice behavior for non-grocery-shopping trips. *Transportation Research Record*, 673.
- Kuhnimhof, T. (2007). *Längsschnittmodellierung der Verkehrs nachfrage zur Abbildung multimodalen Verhaltens*. Universität Karlsruhe (TH).
- Kuhnimhof, T., Fabre, L., & Cools, M. (2024). Workshop synthesis: Data Fusion - Generating More Than a Sum of Parts. *Transportation Research Procedia*, 76, 670–677.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.12.090>
- Kuhnimhof, T. G. (2009). Measuring and Modeling Multimodal Mode Use in the Longitudinal Section. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting Transportation Research Board*.
- Kwan, M.-P. (1999). Gender, the home-work link, and space-time patterns of nonemployment activities. *Economic geography*, 75(4), 370–394.

- Larsen, J., Axhausen, K. W., & Urry, J. (2006). Geographies of Social Networks: Meetings, Travel and Communications. *Mobilities*, 1(2), 261–283. <https://doi.org/10.1080/17450100600726654>
- Lenntorp, B. (1979). Das PESASP-Modell: Seine theoretische Grundlegung im Rahmen des zeitgeographischen Ansatzes und Anwendungsmöglichkeiten. *Geographische Zeitschrift*, 67(4), 336–353.
- Löchl, M., Schönfelder, S., Schlich, R., Buhl, T., Widmer, P., & Axhausen, K. W. (2005). *Untersuchung der Stabilität des Verkehrsverhaltens: Schlussbericht* (S. 141 p.). ETH Zurich.
<https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000023529>
- Luce, R. D. (1959). *Individual choice behavior* (Bd. 4). Wiley New York.
- Lynch, K. (1964). *The image of the city*. MIT press.
- Mallig, N. (2019). *Modellierung der Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl in einem mikroskopischen Verkehrsnachfragermodell* [PDF].
<https://doi.org/10.5445/IR/1000091993>
- Mallig, N., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2013). mobiTopp – A Modular Agent-based Travel Demand Modelling Framework. *Procedia Computer Science*, 19, 854–859.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.06.114>
- Mallig, N., & Vortisch, P. (2017). Measuring Stability of Mode Choice Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2664(1), 1–10.
<https://doi.org/10.3141/2664-01>
- Manaugh, K., & El-Geneidy, A. (2012). What makes travel „local“: Defining and understanding local travel behaviour. *Journal of Transport and Land Use*, 5(3). <https://doi.org/10.5198/jtlu.v5i3.300>
- Manski, C. F. (1977). The structure of random utility models. *Theory and decision*, 8(3), 229.
- Marble, D. F., & Bowlby, S. R. (1968a). *Direct and indirect measurement of urban information fields: Some examples*. Northwestern University, Department of Geography.

- Marble, D. F., & Bowlby, S. R. (1968b). Shopping alternatives and recurrent travel patterns. *Geographic studies of urban transportation and network analysis*, 42–75.
- McFadden, D. (1978). Modelling the choice of residential location. *Transportation Research Record*, 673.
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1978/673/673-012.pdf>
- Meade, A. W., & Craig, S. B. (2012). Identifying careless responses in survey data. *Psychological Methods*, 17(3), 437–455.
<https://doi.org/10.1037/a0028085>
- Menzl, M. (2013). Subjektive Raumwiderstände. Die Relevanz lokaler Bindungen bei der Konstitution von räumlichen Alltagsmustern. In O. Schwedes (Hrsg.), *Räumliche Mobilität in der zweiten Moderne: Freiheit und Zwang bei Standortwahl und Verkehrsverhalten*. LIT Verlag Münster.
- Meyer, L., Diniz-Filho, J. A. F., & Lohmann, L. G. (2017). A comparison of hull methods for estimating species ranges and richness maps. *Plant Ecology & Diversity*, 10(5–6), 389–401.
<https://doi.org/10.1080/17550874.2018.1425505>
- Meyer, R. (1979). Theory of destination choice-set formation under informational constraint. *Transportation Research Record*, 750(1), 6–12.
- Miller, E. J. (1999). *Panels and other survey extensions to the Transportation Tomorrow Survey*. Data Management Group, Joint Program in Transportation, University.
- Miller, E. J. (2019). Agent-based activity/travel microsimulation: What's next? In *The Practice of Spatial Analysis* (S. 119–150). Springer.
- Miller, E. J., & O'Kelly, M. E. (1983). Estimating shopping destination choice models from travel diary data. *The Professional Geographer*, 35(4), 440–449.
- Miller, H. J. (1991). Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International journal of geographical information systems*, 5(3), 287–301.
<https://doi.org/10.1080/02693799108927856>

- Miller, H. J. (2005). What about people in geographic information science. *Re-presenting geographic information systems*, 215–242.
- Mollov, J., Castro, A., Götschi, T., Schoeman, B., Tchervenkov, C., Tomic, U., Hintermann, B., & Axhausen, K. W. (2023). The MOBIS dataset: A large GPS dataset of mobility behaviour in Switzerland. *Transportation*, 50(5), 1983–2007. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10299-4>
- Moore, E. G. (1970). Some Spatial Properties of Urban Contact Fields. *Geographical Analysis*, 2(4), 376–386.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00866.x>
- More, K., & Ingman, D. (2008). Quality approach for multi-parametric data fusion. *NDT & E International*, 41(3), 155–162.
<https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2007.10.010>
- Neu, M., Schubert, D., & Petermann, S. (2024). *Rein digital, nur gelegentlich oder im Ausland? Neue Formen des freiwilligen Engagements junger Menschen in Stadt und Land* (No. 24). Zentrum für Interdisziplinäre Sozialforschung. <http://www.zefir.ruhr-uni-bochum.de/zefirpub.html>
- Newsome, T. H., Walcott, W. A., & Smith, P. D. (1998). Urban activity spaces: Illustrations and application of a conceptual model for integrating the time and space dimensions. *Transportation*, 25(4), 357–377.
<https://doi.org/10.1023/A:1005082827030>
- Nobis, C., & Kuhnimhof, T. (2018). *Mobilität in Deutschland- MiD: Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*. www.mobilitaet-in-deutschland.de
- Ordóñez Medina, S. A. (2016). *Multi-day activity models: An extension of the Multi-Agent Transport Simulation (MATSIM)* [Application/pdf]. 25 p.
<https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000120636>
- Ortúzar S., J. de D., & Willumsen, L. G. (2024). *Modelling transport* (Fifth edition). Wiley.
- Pagliara, F., & Timmermans, H. (2009). Choice set generation in spatial contexts: A review. *Transportation Letters*, 1(3), 181–196.

- Parady, G., Ory, D., & Walker, J. (2021). The overreliance on statistical goodness-of-fit and under-reliance on model validation in discrete choice models: A review of validation practices in the transportation academic literature. *Journal of Choice Modelling*, 38, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2020.100257>
- Parady, G. T., Katayama, G., Yamazaki, H., Yamanami, T., Takami, K., & Harata, N. (2019). Analysis of social networks, social interactions, and out-of-home leisure activity generation: Evidence from Japan. *Transportation*, 46(3), 537–562. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9873-8>
- Parsons, G. R., & Hauber, A. B. (1998). Spatial Boundaries and Choice Set Definition in a Random Utility Model of Recreation Demand. *Land Economics*, 74(1), 32. <https://doi.org/10.2307/3147211>
- Parsons, G. R., & Kealy, M. J. (1992). Randomly Drawn Opportunity Sets in a Random Utility Model of Lake Recreation. *Land Economics*, 68(1), 93. <https://doi.org/10.2307/3146746>
- Pas, E. I. (1987). Intrapersonal variability and model goodness-of-fit. *Transportation Research Part A: General*, 21(6), 431–438. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(87\)90032-X](https://doi.org/10.1016/0191-2607(87)90032-X)
- Patterson, Z., & Farber, S. (2015). Potential Path Areas and Activity Spaces in Application: A Review. *Transport Reviews*, 35(6), 679–700. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1042944>
- Pendyala, R. M., Yamamoto, T., & Kitamura, R. (2002). On the formulation of time-space prisms to model constraints on personal activity-travel engagement. *Transportation*, 29(1), 73–94. <https://doi.org/10.1023/A:1012905110686>
- Peters, T., Adamowicz, W. L., & Boxall, P. C. (1995). Influence of Choice Set Considerations in Modeling the Benefits From Improved Water Quality. *Water Resources Research*, 31(7), 1781–1787. <https://doi.org/10.1029/95WR00975>
- Peterson, G. L., Dwyer, J. F., & Darragh, A. J. (1983). A behavioral urban recreation site choice model. *Leisure Sciences*, 6(1), 61–81. <https://doi.org/10.1080/01490408309513022>

- Pirie, G. H. (1979). Measuring Accessibility: A Review and Proposal. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 11(3), 299–312. <https://doi.org/10.1068/a110299>
- Puhe, M. (2023). *Stabilität und Variabilität mobilitätsbezogener Alltagshandlungen – eine qualitative soziale Netzwerkanalyse*. Karlsruher Institut für Technologie.
- Puhe, M., Briem, L., & Vortisch, P. (2020). Understanding social processes of shopping destination choice-An approach to model stability and variability. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100183.
- Puhe, M., Schippl, J., Fleischer, T., & Vortisch, P. (2021). Social network approach to analyze stability and variability of travel decisions. *Transportation research record*, 2675(9), 398–407.
- Puhe, M., Wörle, T., & Kübler, J. (2024). *Social Obligations and Spatial Decisions – a Conceptual Framework for Modeling Locational Choices based on Relationships to People, Things, and Places*. International Conference on Travel Behavior Research, Wien.
- Rai, R. K., Balmer, M., Rieser, M., Vaze, V. S., Schönfelder, S., & Axhausen, K. W. (2007). Capturing Human Activity Spaces: New Geometries. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021(1), 70–80. <https://doi.org/10.3141/2021-09>
- Raine, J. W. (1978). Summarizing Point Patterns with the Standard Deviational Ellipse. *Area*, 10(5), 328–333.
- Raux, C., Ma, T.-Y., & Cornelis, E. (2016). Variability in daily activity-travel patterns: The case of a one-week travel diary. *European transport research review*, 8(4), 114.
- Reiffer, A., Kübler, J., Briem, L., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2021). Integrating Urban Last-Mile Package Deliveries into an Agent-Based Travel Demand Model. *Procedia Computer Science*, 184, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.028>

- Reuber, P. (1993). *Heimat in der Großstadt: Eine sozialgeographische Studie zu Raumbezug und Entstehung von Ortsverbindung am Beispiel Kölns und seiner Stadtviertel.*
https://scholar.google.com/citations?user=83galvwaaaaj&hl=de&oi_ssra
- Rhoades, S. A. (1993). The Herfindal-Hischman Index. *Fed. Res. Bull.*, 79.
- Ritsema van Eck, J., Burghouwt, G., & Dijst, M. (2005). Lifestyles, spatial configurations and quality of life in daily travel: An explorative simulation study. *Journal of Transport Geography*, 13(2), 123–134.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.04.013>
- Robinson, J. P., & Godbey, G. (2005). Busyness as Usual. *Social Research*, 72(2), 407–426.
- Ronis, D. L., Yates, J. F., & Kirscht, J. P. (1989). Attitudes, decisions, and habits as determinants of repeated behaviour. In A. R. Pratkanis, S. J. Breckler, & A. G. Greenwald (Hrsg.), *Attitude Structure and Function*. Taylor and Francis.
- Roorda, M. J., & Miller, E. J. (2004). Toronto activity panel survey—Demonstrating the benefits of a multiple instrument panel survey. *7th international conference on travel methods, Costa Rica*.
- Rosenbaum, P. R. (2002). *Observational Studies*. Springer New York.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3692-2>
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41–55. <https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.41>
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1985). Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods That Incorporate the Propensity Score. *The American Statistician*, 39(1), 33–38.
<https://doi.org/10.1080/00031305.1985.10479383>
- Rosenbluth, G. (1955). Measures of Concentration. In National Bureau of Economic Research (Hrsg.), *Business Concentration and Price Policy* (S. 55–99). Princeton University Press.
- Rubin, D. B. (1973). Matching to Remove Bias in Observational Studies. *Biometrics*, 29(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529684>

- Rubin, D. B. (2001). Using Propensity Scores to Help Design Observational Studies: Application to the Tobacco Litigation. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2(3/4), 169–188.
<https://doi.org/10.1023/A:1020363010465>
- Scheiner, J. (1998). *Aktionsraumforschung auf phänomenologischer und handlungstheoretischer Grundlage*.
<https://www.jstor.org/stable/27818798>
- Scheiner, J. (2013). Wohnstandortwahl und Verkehrshandeln im Kontext von Individualisierung und strukturellen Zwängen. In O. Schwedes (Hrsg.), *Räumliche Mobilität in der zweiten Moderne: Freiheit und Zwang bei Standortwahl und Verkehrsverhalten*. LIT Verlag Münster.
- Schlisch, R. (2001). Measurement issues in identifying variability in travel behaviour. *1st Swiss Transport Research Conference (STRC 2001)*.
- Schlisch, R., & Axhausen, K. W. (2003). Habitual travel behaviour: Evidence from a six-week travel diary. *Transportation*, 30(1), 13–36.
- Schlisch, R., Schönfelder, S., Hanson, S., & Axhausen, K. W. (2004). Structures of leisure travel: Temporal and spatial variability. *Transport Reviews*, 24(2), 219–237.
- Schlisch, R., Simma, A., & Axhausen, K. W. (2004). *Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde*.
- Schnabel, W., & Lohse, D. (1997). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*. Verlag für Bauwesen.
- Schönfelder, S., & Axhausen, K. W. (2001). Mobidrive-Längsschnitterhebungen zum individuellen Verkehrsverhalten: Perspektiven für raum-zeitliche Analysen. *Tagungsband CORP*, 2, 315–321.
- Schönfelder, S., & Axhausen, K. W. (2003). Activity spaces: Measures of social exclusion? *Transport Policy*, 10(4), 273–286.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2003.07.002>
- Schönfelder, S., & Axhausen, K. W. (2016). *Urban rhythms and travel behaviour: Spatial and temporal phenomena of daily travel*. Routledge.

- Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2009). *Accounting for similarities in destination choice modelling: A concept*. ETH Zurich.
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005916843>
- Selten, R. (1990). Bounded Rationality. *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE) / Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 146(4), 649–658.
- Shapcott, M. (1978). Comparison of the use of time in Reading, England, with time use in other countries. *Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies*, 3, 231–257.
- Sharmeen, F., Arentze, T., & Timmermans, H. (2014). Dynamics of face-to-face social interaction frequency: Role of accessibility, urbanization, changes in geographical distance and path dependence. *Journal of Transport Geography*, 34, 211–220.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.12.011>
- Shocker, A. D., Ben-Akiva, M., Boccara, B., & Nedungadi, P. (1991). Consideration set influences on consumer decision-making and choice: Issues, models, and suggestions. *Marketing Letters*, 2(3), 181–197. <https://doi.org/10.1007/BF02404071>
- Simon, H. A. (1957). *Models of man: Social and rational; mathematical essays on rational human behavior in society setting*. John Wiley & Sons.
- Sivakumar, A., & Bhat, C. R. (2007). Comprehensive, Unified Framework for Analyzing Spatial Location Choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2003(1), 103–111.
<https://doi.org/10.3141/2003-13>
- Smith, T. A., Butts, M. M., Courtright, S. H., Duerden, M. D., & Widmer, M. A. (2022). Work-leisure blending: An integrative conceptual review and framework to guide future research. *Journal of Applied Psychology*, 107(4), 560–580. <https://doi.org/10.1037/apl0000924>
- Stouffer, S. A. (1940). Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance. *American Sociological Review*, 5(6), 845.
<https://doi.org/10.2307/2084520>

- Stuart, E. A. (2010). Matching Methods for Causal Inference: A Review and a Look Forward. *Statistical Science*, 25(1).
<https://doi.org/10.1214/09-STS313>
- Susilo, Y. O., & Axhausen, K. W. (2014). Repetitions in individual daily activity–travel–location patterns: A study using the Herfindahl–Hirschman Index. *Transportation*, 41(5), 995–1011.
- Susilo, Y. O., & Kitamura, R. (2005). Analysis of Day-to-Day Variability in an Individual’s Action Space: Exploration of 6-Week Mobidrive Travel Diary Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1902(1), 124–133.
<https://doi.org/10.1177/0361198105190200115>
- Swait, J., & Ben-Akiva, M. (1987). Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 21(2), 91–102.
[https://doi.org/10.1016/0191-2615\(87\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0191-2615(87)90009-9)
- Swait, J. D. (1984). *Probabilistic choice set generation in transportation demand models* [PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology.
- Tardiff, T. J. (1979). Definition of alternatives and representation of dynamic behavior in spatial choice models. *Transportation Research Record*, 723.
- Theil, H. (1979). The measurement of inequality by components of income. *Economics Letters*, 2(2), 197–199. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(79\)90173-3](https://doi.org/10.1016/0165-1765(79)90173-3)
- Thill, J.-C. (1992). Choice set formation for destination choice modelling. *Progress in human geography*, 16(3), 361–382.
- Thomas, T., Puello, L. L. P., & Geurs, K. (2019). Intrapersonal mode choice variation: Evidence from a four-week smartphone-based travel survey in the Netherlands. *Journal of Transport Geography*, 76, 287–300.
- Timmermans, H., & Golledge, R. G. (1990). Applications of behavioural research on spatial problems II: preference and choice. *Progress in human geography*, 14(3), 311–354.

- Tindall, D. B., & Wellman, B. (2001). Canada as Social Structure: Social Network Analysis and Canadian Sociology. *Canadian Journal of Sociology / Cahiers canadiens de sociologie*, 26(3), 265.
<https://doi.org/10.2307/3341889>
- Train, K. E. (1998). Recreation Demand Models with Taste Differences over People. *Land Economics*, 74(2), 230.
<https://doi.org/10.2307/3147053>
- Tuan, Y.-F. (1975). Place: An experiential perspective. *Geographical review*, 151–165.
- Van Der Putten, P., Kok, J. N., & Gupta, A. (2002). Data Fusion through Statistical Matching. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.297501>
- Verplanken, B., & Orbell, S. (2003). Reflections on Past Behavior: A Self-Report Index of Habit Strength 1. *Journal of Applied Social Psychology*, 33(6), 1313–1330. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2003.tb01951.x>
- Vij, A., & Walker, J. L. (2016). How, when and why integrated choice and latent variable models are latently useful. *Transportation Research Part B: Methodological*, 90, 192–217.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.04.021>
- Von Haefen, R. H., & Domanski, A. (2018). Estimation and welfare analysis from mixed logit models with large choice sets. *Journal of Environmental Economics and Management*, 90, 101–118.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.05.002>
- Washington, S., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. L. (2011). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis* (2nd ed.). CRC Press.
- Weston, L., & Handy, S. (2004). Mental Maps. In D. A. Hensher, K. J. Button, K. E. Haynes, & P. R. Stopher (Hrsg.), *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems* (S. 533–545). Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781615832538-030>
- Wilson, A. G. (1974). *Urban and Regional Models in Geography and Planning*. John Wiley & Sons, Ltd.

- Winkler, C., Meister, A., & Axhausen, K. W. (2024). The TimeUse+ data set: 4 weeks of time use and expenditure data based on GPS tracks. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-024-10517-1>
- Wörle, T., Briem, L., Heilig, M., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2021). Modeling intermodal travel behavior in an agent-based travel demand model. *Procedia Computer Science*, 184, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.020>
- Wörle, T., Briem, L., Kübler, J., Heilig, M., Ecke, L., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2024). *On the Variation in Mode Choice Behavior in Agent-based Travel Demand Models* [PDF]. <https://doi.org/10.5445/IR/1000167498>
- Ye, X., Konduri, K., Pendyala, R. M., Sana, B., & Waddell, P. (2009). A methodology to match distributions of both household and person attributes in the generation of synthetic populations. *88th Annual Meeting of the transportation research Board, Washington, DC*, 36.
- Yoon, S. Y., Deutsch, K., Chen, Y., & Goulias, K. G. (2012). Feasibility of using time-space prism to represent available opportunities and choice sets for destination choice models in the context of dynamic urban environments. *Transportation*, 39(4), 807–823. <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9407-8>

Anhang

A Erhebungsgrundlagen

Tabelle 30: Charakteristiken ausgewählter Personengruppen der MOBIS-Erhebung

Merkmal	Ausprägung	Beobachtungen		Mittlere tägliche Aktivitätenhäufigkeit [-]	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Freizeit	Gesamt
Alter	19-29 J.	333	25,4%	1,17	4,09
	30-39 J.	245	18,7%	0,94	3,60
	40-49 J.	304	23,2%	0,94	3,79
	50-59 J.	251	19,2%	0,89	3,71
	60-69 J.	177	13,5%	0,92	3,64
Geschlecht	männlich	650	49,6%	1,02	3,85
	weiblich	660	50,4%	0,96	3,74
Tätigkeit	angestellt	940	71,8%	0,96	3,73
	freiberuflich	74	5,6%	1,00	4,05
	in Ausbildung	114	8,7%	1,15	4,40
	in Rente	46	3,5%	1,09	3,53
	sonstige	136	10,4%	1,05	3,67
Umfang Tätig- keit	nicht erwerbst.	277	21,1%	1,08	3,84
	teilzeit	339	25,9%	0,96	3,77
	vollzeit	694	53,0%	0,97	3,79
Bildungs-ab- schluss	Hochschulab- schluss	547	41,8%	1,01	3,84
	Allg. Hochschul- reife	663	50,6%	0,99	3,79
	Haupt-/Real- schulabschl.	100	7,6%	0,87	3,59
Haushalt mit Kindern	ja	162	12,4%	0,97	3,82
	nein	307	23,4%	0,96	3,72
	keine Angabe	841	64,2%	1,00	3,82
Haushalts- größe	1	154	11,8%	1,02	3,78
	2	407	31,1%	0,96	3,66
	3	261	19,9%	0,99	3,75
	4	375	28,6%	1,00	3,90
	5+	113	8,6%	1,02	4,07
	> 12 Tsd. CHF	292	22,3%	0,97	3,90

Haushalts-nettoeinkommen	8-12 Tsd. CHF	387	29,5%	0,99	3,72
	< 8 Tsd. CHF	526	40,2%	0,99	3,75
	keine Angabe	105	8,0%	1,01	3,98
Homeoffice	ja	135	10,3%	0,92	3,81
	nein	214	16,3%	0,97	3,79
	keine Angabe	961	73,4%	1,00	3,79
Hund im Haushalt	ja	68	5,2%	1,11	3,84
	nein	401	30,6%	0,94	3,74
	keine Angabe	841	64,2%	1,00	3,82
ÖV-Zeitkarte	ja	314	24,0%	1,04	3,96
	nein	996	76,0%	0,97	3,74
Pkw-Verfügbarkeit	immer	1154	88,1%	0,97	3,75
	nach Abstimmung	144	11,0%	1,11	4,08
	nie	12	0,9%	1,20	4,39

Tabelle 31: Stadt- und Landkreise des Erhebungsräum der Piloterhebung

RS	Name	RS	Name
6411	Darmstadt Stadt	7331	Alzey-Worms
6412	Frankfurt am Main	7332	Bad Dürkheim
6413	Offenbach am Main	7333	Donnersbergkreis
6414	Wiesbaden	7334	Germersheim
6431	Bergstraße	7337	Südliche Weinstraße
6432	Darmstadt-Dieburg	7338	Rhein-Pfalz-Kreis
6433	Groß-Gerau	7339	Mainz-Bingen
6434	Hochtaunuskreis	8211	Baden-Baden
6435	Main-Kinzig-Kreis	8212	Karlsruhe Stadt
6436	Main-Taunus-Kreis	8215	Karlsruhe Landkreis
6437	Odenwaldkreis	8216	Rastatt
6438	Offenbach Landkreis	8221	Heidelberg
6439	Rheingau-Taunus-Kreis	8222	Mannheim
6440	Wetteraukreis	8226	Rhein-Neckar-Kreis
7311	Frankenthal (Pfalz)	8231	Pforzheim
7313	Landau in der Pfalz	8235	Calw
7314	Ludwigshafen am Rhein	8236	Enzkreis
7315	Mainz	9661	Aschaffenburg Stadt
7316	Neustadt a. d. Weinstraße	9671	Aschaffenburg Land
7318	Speyer	9676	Miltenberg
7319	Worms		

Tabelle 32: Erhebungskonzept Übersicht Fragen

Frage	Antwortoptionen
Person	
Was ist ihr aktuelles Alter?	10 - 18 Jahre; 19 - 29 Jahre; 30 - 39 Jahre; 40 - 49 Jahre; 50 - 59 Jahre; 60 - 69 Jahre; 70 - 79 Jahre; 80 Jahre oder älter
Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?	Weiblich; männlich; divers; keine Angabe
Welchen Tätigkeitsstatus haben Sie aktuell?	Angestellte/r, Arbeiter/in, Beamte/r; Selbstständige/r, Freiberufler/in; Hausmann-/Hausfrau; Rentner/Rentnerin; Schüler/in; im Studium; in Ausbildung; arbeitslos; sonstiges
Was ist Ihr höchster Schulabschluss?	Haupt-/Volksschulabschluss; Realschulabschluss oder Mittlere Reife; (Fach-)Hochschulreife; (noch) keinen Abschluss; sonstige
Haben Sie einen Berufsausbildungs- oder Hochschulabschluss?	ja, einen beruflichen Ausbildungsabschluss; ja, einen Hochschulabschluss (Bachelor, Master, Diplom, Promotion); ja, anderer; nein
Haushalt	
Wie groß ist der Haushalt, in dem Sie aktuell leben?	1 Person; 2 Personen; 3 Personen; 4 Personen; 5 oder mehr Personen
Wohnen Kinder oder Jugendliche in Ihrem Haushalt?	Nein; ja, Kinder unter 6 Jahren: [Anzahl]; ja, Kinder zw. 6 und 10 Jahren: [Anzahl]; ja, Jugendliche zw. 11 und 17 Jahren: [Anzahl]
Wie hoch ist Ihr monatliches Haushalts-Nettoeinkommen?	unter 1.500 €; 1.500 € bis unter 3.000 €; 3.000 € bis unter 4.000 €; 4.000 € bis unter 5.000 €; 5.000 € bis unter 6.000 €; über 6.000 €; keine Antwort
Haben Sie (mindestens) einen Hund in Ihrem Haushalt?	Ja; nein
Verkehrsverhalten	
Wie viele private Pkw stehen Ihrem Haushalt zur Verfügung?	Keine; 1 Pkw; 2 Pkw; 3 oder mehr Pkw
Haben Sie einen Führerschein zum Führen eines Pkw?	Ja; nein
Haben Sie eine Bahncard?	ja, eine Bahncard 25; ja, eine Bahncard 50; ja, eine Bahncard 100; nein
Verfügen Sie über eine ÖPNV-Zeitkarte?	Ja; nein
Haben Sie einen Zugang zu einem Car-sharing-Angebot?	Ja; nein
Haben Sie einen Zugang zu einem Bike-sharing-Angebot?	Ja; nein

Haben Sie einen Zugang zu einem E-Tretrollersharing-Angebot?	Ja; nein
Wohnort	
Wo befindet sich Ihr hauptsächlicher Wohnort?	[Markierung des Ortes auf Karte]
Wie lange wohnen Sie bereits in der Gemeinde Ihres aktuellen Wohnortes?	1-2 Jahre; 3-5 Jahre; 6-10 Jahre; 10-19 Jahre; 20 oder mehr Jahre
Wie weit entfernt von ihrem aktuellen Wohnort haben Sie Ihre Kindheit und Jugend verbracht?	0-10 km; 10-20 km; 20-50 km; 50-100 km; mehr als 100 km; kann ich nicht sagen
Sind Sie in Deutschland geboren?	Ja; nein, sondern in: [Textangabe] [Aufmerksamkeitscheck]
Haben Sie einen Zweitwohnsitz?	Ja; nein
Was ist der Zweck des Zweitwohnsitzes?	Dienstlicher Zweck; Ferienunterkunft; Sonstiges
Wie häufig und die lange haben Sie sich innerhalb der letzten 3 Monate an Ihrem Zweitwohnsitz aufgehalten?	Häufigkeit: [Angabe] Dauer: [Angabe in Tagen]
Wie weit liegt ihr Zweitwohnsitz von Ihrem Erstwohnsitz entfernt?	unter 10 km; 10-19 km; 20-49 km; 50-99 km; 100 km oder weiter
Ausbildung (falls zutreffend)	
Wo befindet sich Ihr hauptsächlicher Ausbildungsort?	[Markierung des Ortes auf Karte]
Um welche Art der Ausbildung handelt es sich?	Schule; Berufsausbildung; Studium; Duales Studium; Berufsbegleitendes Studium; Sonstiges
Befinden Sie sich neben Ihrer Ausbildung auch in einem Arbeitsverhältnis?	Ja; nein
Arbeit (falls zutreffend)	
In welchem Umfang sind Sie zurzeit erwerbstätig?	Vollzeit; Teilzeit (18-35h/Woche); geringfügig (11-17h/Woche); nicht erwerbstätig; sonstiges
Wie häufig arbeiten Sie normalerweise?	Tage pro Woche: [Angabe] oder Tage pro Monat: [Angabe]
Welches Arbeitszeitmodell trifft am ehesten zu?	Feste Arbeitszeiten; Schichtarbeit; flexible Arbeitszeiten; sonstiges
Wie gestalten sich Ihre Arbeitszeiten im Rahmen der flexiblen Möglichkeiten tatsächlich?	[5er Skala: gleich bis variabel]
Besteht die Möglichkeit, an manchen Werktagen ausschließlich von zu Hause auszuarbeiten? Wenn ja, wie hoch ist der Anteil, an dem Sie davon Gebrauch machen?	Nein; ja, zu folgendem Anteil [%] mache ich davon Gebrauch: [Angabe]
Wo befindet sich Ihr hauptsächlicher Arbeitsort?	[Markierung des Ortes auf Karte]
In welchem Rahmen suchen Sie auch andere Arbeitsorte auf?	Ich habe keine weiteren Arbeitsorte; Andere Firmenstandorte; Arbeitstätigkeit findet

	üblicherweise an unterschiedlichen Orten außerhalb des Firmenstandortes statt (z. B. Baustellen, Hausbesuche); Sonstiges
Räumliche-zeitliche Spezifizierung der Aktivitätenorte	
Bitte geben Sie Beziehung [X] einen Namen!	[Name Ortsbeziehung]
Welcher Unterkategorie würden Sie Beziehung [X] zuordnen?	Ehrenamt, Vereinstreffen oder Kurse; Religiöse Zentren; Sonstiges; Kino, Theater oder Museum; Restaurant, Kneipe oder Café; Bar oder Nachtclub; Kulturelle Großveranstaltung (z. B. Konzert, Stadionbesuch, Stadtfest); Sonstiges; Vereins- und Mannschaftssport (z. B. Basketball, Handball, Tennis); Einzelsport (z. B. Joggen, Krafttraining, Radfahren); Erholung (z. B. Spaziergang, Spielplatz, Aufenthalt im Wald); Ausflug (z. B. Zoo, Wanderung, Stadtbesuch); Garten und Ferienhaus; Sonstiges; Familien- und Verwandtschaftsbesuch; Freundschaftsbesuch; Sonstiges
An welchem Ort außerhalb ihres Zu-hauses wird diese Aktivität durchgeführt?	[Markierung des Ortes auf Karte]
Suchen Sie für diese Aktivität auch andere Orte auf?	[5er Skala: nie, selten, manchmal, häufig, immer, weiß nicht]
Wie häufig haben Sie diese Aktivität innerhalb der letzten zwei Monate an diesem Ort durchgeführt?	Anzahl in den letzten 2 Monaten: [Angabe]; Anzahl pro Woche: [Angabe]; Kann keine Angabe machen
Wann haben diese Aktivitäten an diesem Ort innerhalb der Woche stattgefunden?	Montag; Dienstag; Mittwoch; Donnerstag; Freitag; Samstag, Sonntag; kann keine Angabe machen
Wann haben diese Aktivitäten an diesem Ort innerhalb des Tages stattgefunden?	00:00 - 06:00 Uhr; 06:00 - 09:00 Uhr; 09:00 - 12:00 Uhr; 12:00 - 15:00 Uhr; 15:00 - 18:00 Uhr; 18:00 - 21:00 Uhr; 21:00 - 24:00 Uhr; kann keine Angabe machen
Wie lange dauert diese Aktivität typischerweise an diesem Ort?	< 15 Minuten; 15 - 30 Minuten; >30 - 60 Minuten; >1 - 3 Stunden; >3 - 24 Stunden; >24 Stunden
Mit welchen Personen führen Sie diese Aktivität typischerweise an diesem Ort durch?	Partner oder Partnerin; Kinder unter 10 Jahre; andere Haushaltsmitglieder; Freunde und Verwandte; Personen mit vorwiegend professioneller Beziehung (Arbeitskollegen/-innen, Kommilitonen/-innen, Mitschüler/-innen); andere bekannte Personen; andere unbekannte Personen; alleine
Spezifizierung des sozialen Kontexts der Aktivitätenorte	

Wenn ich die Aktivität [X] ausführe ...	
... muss ich mich vorher mit anderen Personen absprechen.	[5er Skala: Trifft nicht zu; Trifft eher nicht zu; Teils teils; Trifft eher zu; Trifft voll zu; Weiß nicht]
... plane ich das mindestens zwei Tage im Voraus.	
... ist das eingespielt und routiniert.	
... entscheide ich spontan, ob und wann ich hingeho.	
Wer sind die Personen, mit denen Sie die Aktivität absprechen müssen?	Partner oder Partnerin; Kinder unter 10 Jahre; andere Haushaltsglieder; Freunde und Verwandte; Arbeitskollegen oder Personen in ähnlich professioneller Beziehung; andere bekannte Personen
Inwiefern stimmen Sie folgenden Aussagen in Bezug auf Aktivität [X] zu?	
Bei der Aktivität habe ich nur oberflächliche Beziehungen.	
Bei der Aktivität fühle ich mich fehl am Platz.	
Die Aktivität tue ich, weil ich das wirklich will.	
Bei der Aktivität treffe ich Menschen, die mir etwas bedeuten und denen ich etwas bedeute.	[5er Skala: Trifft nicht zu; Trifft eher nicht zu; Teils teils; Trifft eher zu; Trifft voll zu; Weiß nicht]
Die Aktivität wird von mir erwartet.	
Bei der Aktivität kann ich sein, wer ich wirklich bin.	
Bei der Aktivität erfülle ich nur eine Verpflichtung.	
Die Aktivität ist zeitlich mit meinem sonstigen Alltag gut ver einbar.	
Die Aktivität ist örtlich mit meinem sonstigen Alltag gut ver einbar.	

Tabelle 33: Charakteristiken ausgewählter Personen der Aktivitätenorterhebung

Merkmal	Ausprägung	Beobachtungen		MOP*	Mittlere Anzahl	
		Anzahl [-]	Anteil [%]	Anteil [%]	Orte	Aktivitäten / Tag [-]
Alter	0-18. J.	3	0,16%	-	-	-
	19-29 J.	105	5,76%	6,64%	4,63	1,04
	30-39 J.	300	16,47%	12,30%	4,39	0,92
	40-49 J.	309	16,96%	14,19%	4,19	0,89
	50-59 J.	372	20,42%	23,33%	4,07	0,82
	60-69 J.	431	23,66%	26,26%	4,12	0,87
	70-79 J.	276	15,15%	12,71%	3,64	0,83
	80+ J.	26	1,43%	4,57%	3,13	0,60
Geschlecht	männlich	973	53,40%	49,05%	4,03	0,82
	weiblich	842	46,21%	50,95%	4,21	0,92
	divers	7	0,38%	0,00%	2,50	1,16
Tätigkeit	angestellt	1014	55,65%	60,48%	4,22	0,89
	freiberuflich	117	6,42%		4,22	0,77
	in Ausbildung	63	3,46%	3,46%	4,65	0,95
	in Rente	540	29,64%	31,74%	3,82	0,83
	sonstige	88	4,83%	4,31%	4,19	0,95
Umfang Tätigkeit	nicht erwerbst.	632	34,69%	39,52%	3,93	0,86
	teilzeit	309	16,96%	19,72%	4,23	0,82
	vollzeit	881	48,35%	40,76%	4,20	0,89
Bildungsabschluss	Hochschulabschluss	727	39,90%	44,32%	4,58	0,93
	Allg. Hochschulreife	388	21,30%	15,81%	4,02	0,86
	Haupt-/Real-schulabschl.	688	37,76%	38,67%	3,68	0,80
	Sonstiges	19	1,04%	1,19%	4,06	1,23
Haushalt mit Kindern	ja	415	22,78%	22,35%	4,37	0,87
	nein	1407	77,22%	77,65%	4,04	0,87
Haushaltsgröße	1	452	24,81%	26,68%	4,01	0,90
	2	820	45,01%	39,41%	4,05	0,85
	3	260	14,27%	14,80%	4,12	0,82
	4	217	11,91%	15,78%	4,42	0,93
	5+	73	4,01%	3,32%	4,63	0,87
Haushaltsnettoeinkommen	> 5 Tsd. €	189	10,37%	27,42%	4,77	0,95
	3-5 Tsd. €	614	33,70%	37,06%	4,20	0,88
	< 3 Tsd. €	809	44,40%	34,18%	3,98	0,87
	keine Angabe	210	11,53%	1,34%	3,78	0,79
Homeoffice	ja	666	36,55%	29,01%	4,43	0,92
	nein	1156	63,45%	70,99%	3,92	0,84
	ja	442	24,26%	-	4,10	1,12

Hund im Haushalt	nein	1380	75,74%	-	4,12	0,80
ÖV-Zeitkarte	ja	598	32,82%	17,41%	4,44	0,89
	nein	1224	67,18%	82,59%	3,96	0,86
Pkw im Haushalt	0	214	11,75%	17,03%	4,05	0,85
	1	1001	54,94%	49,29%	3,98	0,86
	2 oder mehr	607	33,32%	33,68%	4,34	0,90
Dauer des Wohnsitzes	unter 2 Jahre	119	6,53%	-	4,21	0,87
	2-5 Jahre	199	10,92%	-	4,37	0,91
	6-10 Jahre	253	13,89%	-	4,11	0,87
	10-20 Jahre	379	20,80%	-	4,28	0,86
	über 20 Jahre	872	47,86%	-	3,97	0,87

* MOP-Stichprobe des Jahres 2022/23 unter Berücksichtigung der Haushaltsgewichte

Tabelle 34: Balance-Kriterien Fusionsschritt 1: MOBIS-mobidrive

Distanzverfahren: logistische Regression	Std. Mean Diff.	Variance ratio
Distanzmaß: Probit		
Keine Grenzwerte (Caliper)		
Exakte Kovariate: Mittlere Aktivitätendauer, Innerhalb bebauter Gebiete		
Anzahl nicht verwendeter Elemente mobidrive: 164 von 1457		
Distanz	0,007	1,242
Besuche innerhalb 8 Wochen	-0,080	2,678
Mind. ein Besuch an einen Montag	-0,120	-
Mind. ein Besuch an einen Dienstag	-0,068	-
Mind. ein Besuch an einen Mittwoch	0,090	-
Mind. ein Besuch an einen Donnerstag	0,207	-
Mind. ein Besuch an einen Freitag	0,076	-
Mind. ein Besuch an einen Samstag	0,130	-
Mind. ein Besuch an einen Sonntag	-0,071	-
Anzahl unterschiedlicher Wochentage mit Besuchen	0,150	1,529
Besuche nur an Wochenenden	-0,031	-
Besuche nur an Werktagen	-0,027	-
HHI der Besuchshäufigkeit über Wochentage	-0,203	2,001
HHI der Besuchshäufigkeit über 3h-Tageszeitinterv.	-0,132	1,477
Mind. ein Besuch zw. 6 und 12 Uhr	-0,124	-
Mind. ein Besuch zw. 12 und 15 Uhr	-0,068	-
Mind. ein Besuch zw. 15 und 18 Uhr	-0,004	-
Mind. ein Besuch zw. 18 und 21 Uhr	0,211	-
Mind. ein Besuch zw. 21 und 24 Uhr	0,193	-
Mittlere Aktivitätendauer	0,000	0,985
Distanz vom Wohnort	0,122	2,202
Distanz von Arbeits-/ Ausbildungsplatz	0,169	1,884
Innerhalb bebauter Gebiete	0,000	-
Alter	-0,140	1,452
Geschlecht	0,644	1,608
Tätigkeitsstatus berufstätig	-0,079	-
Tätigkeitsstatus selbstständig	0,195	-
Tätigkeitsstatus in Ausbildung	0,052	-
Tätigkeitsstatus in Ruhestand	0,029	-
Tätigkeitsstatus sonstiges	-0,102	-
Umfang der Tätigkeit [%]	-0,035	0,921
Anzahl Werte mit zu hoher Abweichung	1	3

Tabelle 35: Balance-Kriterien Fusionsschritt 2: MOBIS-Aktivitätenorterhebung

Distanzverfahren: logistische Regression		
Distanzmaß: Probit		
Keine Grenzwerte (Caliper)		
Exakte Kovariate: Freizeitkategorie, Besuch nur an Werktagen		
Anzahl nicht verwendeter Elemente Aktivitätenorterhebung: 864 von 2779		
	Std. Mean Diff.	Variance ratio
Distanz	0,003	0,988
Freizeitkategorie	0,000	0,987
Besuche innerhalb 8 Wochen	-0,797	0,357
Mind. ein Besuch an einen Montag, Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag	-0,263	-
Mind. ein Besuch an einen Freitag	-0,475	-
Mind. ein Besuch an einen Samstag	-0,136	-
Mind. ein Besuch an einen Sonntag	-0,035	-
Besuche nur an Wochenenden	0,214	-
Besuche nur an Werktagen	0,000	-
Mind. ein Besuch zw. 6 und 12 Uhr	-0,106	-
Mind. ein Besuch zw. 12 und 18 Uhr	-0,116	-
Mind. ein Besuch zw. 18 und 24 Uhr	-0,526	-
Mittlere Aktivitätendauer	-0,641	2,967
Distanz vom Wohnort	0,242	4,679
Distanz von Arbeits-/ Ausbildungsplatz	-1,048	0,120
Innerhalb bebauter Gebiete	-0,106	-
Alter	-0,099	1,173
Geschlecht	-0,126	1,008
Tätigkeitsstatus berufstätig	-0,161	-
Tätigkeitsstatus selbstständig	0,082	-
Tätigkeitsstatus in Ausbildung	-0,039	-
Tätigkeitsstatus in Ruhestand	-0,075	-
Tätigkeitsstatus sonstiges	0,246	-
Umfang der Tätigkeit [%]	0,207	1,114
Anzahl Werte mit zu hoher Abweichung	6	4

B Erweiterte Auswertungen des Zielwahlverhaltens

Tabelle 36: Charakteristiken von Aktivitätenorten nach Personencharakteristiken der MOBIS-Erhebung

Merkmal	Ausprägung	Mittl. Anzahl Orte	Mittl. Anzahl Aktivitäten pro Ort [-]	Mittl. Ortsdistanz vom Wohnort [km]	Mittl. Ortsdistanz vom Arbeits-/Ausbildungsort [km]	Mittl. Aktivitäten-dauern [h]
Gesamt	-	26,50	1,39	18,10	25,10	1,74
Alter	19-29 J.	31,61	1,42	17,36	23,51	
	30-39 J.	26,18	1,35	18,55	25,23	
	40-49 J.	25,53	1,36	16,77	25,55	
	50-59 J.	23,55	1,39	18,91	23,25	
	60-69 J.	23,23	1,39	20,41	30,52	
Geschlecht	männlich			18,50	27,28	
	weiblich			17,82	22,94	
Tätigkeit	angestellt	25,98	1,36	18,70	25,72	
	freiberuflich	25,58	1,41	16,49	23,49	
	in Ausbildung	30,87	1,45	16,71	21,13	
	in Rente	24,54	1,36	20,47	31,86	
	sonstige	27,65	1,45	15,71	23,02	
Umfang Tätig- keit	nicht erwerbst.		1,44	16,79	23,59	
	Teilzeit		1,33	18,04	24,41	
	vollzeit		1,39	18,76	25,95	
Bildungs-ab- schluss	Hochschulab- schluss			17,53	25,45	1,74
	Allg. Hochschul- reife			18,51	25,34	1,71
	Haupt-/Real- schulabschl.			19,27	21,62	1,95
Haushalt mit Kindern	ja			16,46		1,59
	nein			19,98		1,87
	keine Angabe			17,82		1,72
Haushalts- größe	1		1,50	21,08	31,38	1,90
	2		1,38	19,66	26,19	1,78
	3		1,37	17,29	23,95	1,70
	4		1,37	16,31	22,15	1,65
	5+		1,30	16,88	25,17	1,73
	> 12 Tsd. CHF			18,69	26,24	
	8-12 Tsd. CHF			17,90	25,94	

Haushalts-	< 8 Tsd. CHF			18,43	24,35	
	keine Angabe			16,28	22,59	
Homeoffice	ja			19,99	29,87	
	nein			18,64	25,03	
	keine Angabe			17,79	24,42	
Hund im Haushalt	ja			16,26		
	nein			19,19		
	keine Angabe			17,82		
ÖV-Zeitkarte	ja	28,10		19,09	27,00	
	nein	26,00		17,86	24,49	
Pkw-Verfüg- barkeit	immer	25,98		18,47	25,78	
	nach Abstim- mung	30,07		15,88	20,62	
	nie	34,08		15,55	16,01	

Ausschließliche Darstellung von Unterschieden mit Signifikanz < 10%

Tabelle 37: Innovationsraten nach Personencharakteristiken in MOBIS-Erhebung

Merkmal	Ausprägung	Innovationsrate nach Aktivitätentyp [Neue Orte/Tag]					
		Kultur	Privater Besuch	Sport u. Erholung	Vereine u. Gruppen	Freizeit	Gesamt
Gesamt	-	0,21	0,28	0,22	0,02	0,72	1,73
Alter	19-29 J.	0,23	0,32	0,25	0,02	0,83	1,84
	30-39 J.	0,20	0,28	0,21	0,02	0,71	1,65
	40-49 J.	0,20	0,27	0,21	0,03	0,71	1,72
	50-59 J.	0,20	0,24	0,19	0,03	0,66	1,68
	60-69 J.	0,19	0,24	0,21	0,04	0,68	1,76
Geschlecht	männlich	0,20	0,30	0,23	0,02		
	weiblich	0,22	0,25	0,21	0,03		
Tätigkeit	angestellt			0,21	0,02		1,68
	freiberuflich			0,21	0,04		1,82
	in Ausbildung			0,28	0,03		1,93
	in Rente			0,26	0,07		1,89
	sonstige			0,21	0,02		1,81
Umfang Tätig- keit	nicht erwerbst.	0,23	0,27		0,04		1,85
	teilzeit	0,23	0,23		0,05		1,76
	vollzeit	0,19	0,30		0,01		1,68
Bildungs-ab- schluss	Hochschulab- schluss	0,22					1,78
	Allg. Hochschul- reife	0,20					1,72
	Haupt-/Real- schulabschl.	0,17					1,56
Haushalts- nettoeinkom- men	> 12 Tsd. CHF			0,02			
	8-12 Tsd. CHF			0,02			
	< 8 Tsd. CHF			0,03			
	keine Angabe			0,03			
Homeoffice	ja			0,02			
	nein			0,03			
	keine Angabe			0,03			
ÖV-Zeitkarte	ja	0,22		0,24			1,82
	nein	0,20		0,21			1,71
Pkw-Verfüg- barkeit	immer	0,20					
	nach Abstim- mung	0,25					
	nie	0,31					

Ausschließliche Darstellung von Unterschieden mit Signifikanz < 10%

Tabelle 38: Stabilitätsindikatoren nach Personencharakteristiken in MOBIS-Erhebung

Merkmal	Ausprägung	Kultur		Privater Besuch		Sport u. Erholung		Vereine u. Gruppen	
		HHI_M	DAL_M	HHI_M	DAL_M	HHI_M	DAL_M	HHI_M	DAL_M
Gesamt	-	2,37	0,69	1,83	0,61	2,45	0,68	16,39	0,88
Alter	19-29 J.		0,65	1,65	0,55	1,68	0,64	17,44	0,89
	30-39 J.		0,71	1,30	0,60	2,00	0,69	18,81	0,90
	40-49 J.		0,70	1,73	0,61	2,37	0,69	16,48	0,89
	50-59 J.		0,70	2,44	0,65	3,45	0,71	15,14	0,88
	60-69 J.		0,71	2,20	0,66	3,22	0,69	13,56	0,87
Geschlecht	männlich		0,70		0,58		0,66	18,22	
	weiblich		0,68		0,64		0,69	15,19	
Tätigkeit	angestellt					2,53	0,69	16,87	0,89
	freiweruflich					2,85	0,68	12,78	0,87
	in Ausbildung					1,02	0,61	16,04	0,89
	in Rente					1,38	0,67	10,62	0,85
	sonstige					3,26	0,69	19,28	0,88
Umfang Tätigkeit	nicht erwerbst.	2,22	0,66	2,06	0,63			15,82	0,87
	teilzeit	1,73	0,67	2,24	0,66			11,56	0,88
	vollzeit	2,76	0,71	1,54	0,58			23,09	0,91
Bildungsabschluss	Hochschulabschluss	2,18	0,68						
	Allg. Hochschulreife	2,30	0,69						
	Haupt-/Realschulabschl.	3,92	0,74						
Haushalt mit Kindern	ja							0,90	
	nein							0,87	
	keine Angabe							0,89	
Haushaltgröße	1						18,31		
	2						17,17		
	3						15,49		
	4						14,57		
	5+						19,12		
Haushaltsnettoeinkommen	> 12 Tsd. CHF						17,14		
	8-12 Tsd. CHF						19,25		
	< 8 Tsd. CHF						14,59		
	keine Angabe						14,36		
Homeoffice	ja						20,33		
	nein						15,23		
	keine Angabe						16,18		
	ja		0,66			0,66			

ÖV-Zeit-karte	nein		0,70				0,69		
Pkw-Ver-fügbarkeit	immer		0,70						
	nach Abstim-mung		0,63						
	nie		0,56						

Ausschließliche Darstellung von Unterschieden mit Signifikanz < 10%

C Zielwahlmodellierung

Tabelle 39: POI-Kategorien zur Berechnung von Attraktivitätswerten von Freizeitkategorien

Freizeitkategorie	Kategorie Gelegenheit	Merkmal	Faktor
Privater Besuch	Einwohner	Anzahl	1
Kultur	Kino & Eventlocations (z. B. Bowling)	Geschossfläche	0,45
	Museum	Geschossfläche	0,2
	Theater	Geschossfläche	0,2
	Restaurant	Anzahl	112
	Bar, Nachtclub	Anzahl	112
	Kulturgroßveranstaltungen	Fläche	0,2
	Bibliothek	Geschossfläche	0,2
Sport und Erholung	Zoo, Wildpark	Fläche	0,03
	Freibad	Fläche	0,05
	Badestrand	Fläche	0,05
	Park, Friedhof	Fläche	0,045
	Kleingarten	Fläche	0,0075
	Spielplatz	Fläche	0,1
	Fitnesscenter	Fläche	0,325
	Sporthalle	Fläche	0,06
	Sportplatz geringe Sportlerdichte	Fläche	0,005
	Sportplatz hohe Sportlerdichte	Fläche	0,01
	Ausflugsziele	Fläche	0,3
Verein und Gruppen	Religiöse Einrichtung	Fläche	0,3
	Ehrenamt	Anzahl	10

D Verkehrsnachfragesimulation

Die Umsetzung des erarbeiteten Modellkonzeptes für die Zielwahl erfordert die Ausweitung der Simulationsdauer von den bestehenden sieben Tagen auf sechs Wochen. Ein elementarer Bestandteil ist daher die Generierung von sechswöchigen Aktivitätenplänen für die Agenten. Zu Sicherstellung von realistischen Wiederholungsmustern und Rhythmen im Längsschnitt über mehrere Wochen hinweg werden in der Erhebung beobachtete Aktivitätenpläne verwendet. Um eine Konsistenz von Aktivitätenplänen, Beziehungssynthese und Zielwahlmodell zu erreichen, wird ebenfalls die MOBIS-Erhebung verwendet.

Die Aufbereitung der Aktivitätenpläne baut auf die Auswahlkriterien aus Kapitel 5.1.2 auf und verwendet sechs vollständige Wochen ab dem ersten berichteten Montag des Berichtszeitraumes. Folgende weitere Schritte werden zur Erstellung von sechswöchigen Aktivitätenplänen durchgeführt:

- Aggregation von Aktivitäten, die am selben Ort mit demselben Aktivitätentyp hintereinander durchgeführt wurden (z. B. Heim-Aktivitäten, die abends und am folgenden Morgen stattfinden und durch das Ausschalten des Smartphones unterbrochen wurden)
- Unterbrechung von Wegen, die länger als 24 Stunden sind, in der Annahme, dass eine weitere Heimaktivität dort stattgefunden hat
- Auswahl von Aktivitätenplänen, deren maximale Tourdauer 36 Stunden nicht übersteigt (Anforderung des Nachfragemodells)

Nach der Aufbereitung verbleiben 923 Aktivitätenpläne für die Zuweisung zu den Agenten. Die Zuweisung erfolgt nach dem Zufallsprinzip in Abhängigkeit der Charakteristiken Alter (fünf Klassen), Geschlecht (zwei Klassen), Tätigkeitsstatus (vier Klassen) und dem Vorhandensein von Arbeits- und Ausbildungaktivitäten. Nach Durchführungen der Bevölkerungssynthese auf Basis eines Iterative-Proportional-Updating-Verfahrens (IPU) und der Zuweisung

der Aktivitätenpläne werden die Aktivitäten der gesamten synthetischen Bevölkerung validiert. Tabelle 40 vergleicht die tägliche Aktivitätenhäufigkeit nach Aktivitätentyp in der synthetischen Bevölkerung mit der MOBIS-Erhebung. Generell ist die mittlere Zahl der Aktivitäten höher als in anderen Haushaltsbefragungen. Dies ist zum einen durch die Erhebungsmethode und zum anderen durch die Zusammensetzung der Stichprobe zu erklären. Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung mit Ausnahme der leicht erhöhten Werte bei Ausbildungs-, Arbeits- und Heimaktivitäten. Die höheren Werte in der Simulation sind bei Letzteren insbesondere durch das Einfügen der zusätzlichen Heimaktivitäten bei zu langen Wegen zu erklären. Die Abweichungen werden akzeptiert, da der Fokus auf den Freizeitaktivitäten liegt und deren mittlere Aktivitätenhäufigkeit gut übereinstimmt.

Tabelle 40: Tägliche Aktivitätenhäufigkeit nach Aktivitätentyp in MOBIS-Erhebung und mobitopp-Simulation

Aktivitätentyp	Aktivitäten pro Tag [-]	
	MOBIS	mobiTopp
Kultur	0,29	0,27
Vereine u. Gruppen	0,11	0,11
Privater Besuch	0,32	0,29
Sport u. Erholung	0,28	0,29
Arbeit	0,65	0,70
Ausbildung	0,38	0,59
Einkauf	0,67	0,66
Sonstiges	0,27	0,34
Zu Hause	1,29	1,74
Gesamt	4,26	4,99

Darüber hinaus werden die Ganglinien der Aktivitäten über die verschiedenen Wochentage validiert. Die Ganglinien stimmen in synthetischer Bevölkerung und Vergleichserhebung überwiegend überein. Nur in einzelnen Fällen gibt es deutliche Abweichungen, wenn eine geringe Zahl an Aktivitäten vorhanden ist (z. B. Ausbildungsaktivitäten am Wochenende). Zudem kann das überdurchschnittlich häufige Zuweisen von Aktivitätenplänen aufgrund seltener Kombinationen der Zuweisungscharakteristiken zu auffälligen Spitzen führen (z. B. Vereins- und Gruppenaktivitäten an Dienstagen). Insgesamt können die Aktivitätenpläne aber als geeignet eingestuft werden.

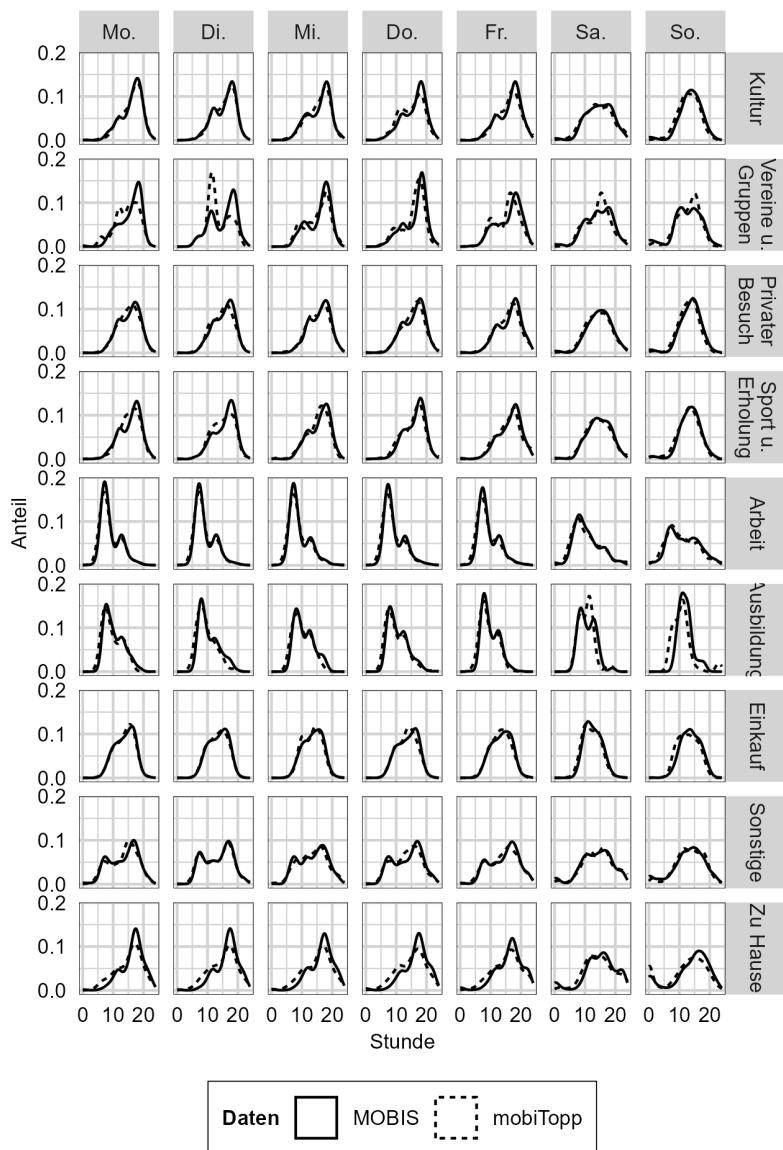


Abbildung 32: Tagesganglinien von Aktivitäten nach Wochentag und Zweck in MOBIS-Erhebung und mobitopp-Simulation