

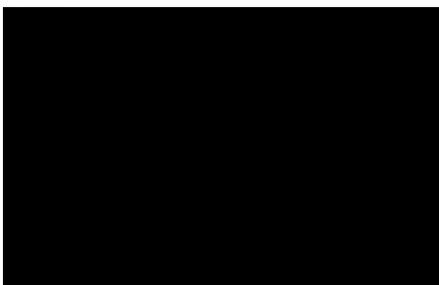
Masterarbeit
28.08.2023

Infrastrukturmaßnahmen auf dem Weg zur sozial-ökologischen Mobilitätswende

Eine Untersuchung der Auswirkungen von geplanten Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage in der Nördlichen Luisenstadt in Berlin mit mikroskopischer Personenverkehrsnachfragemodellierung

Erstprüfer: Dr. Simon Nieland, DLR-VF
Zweitprüfer: Diego Dametto, FHP

Ella Eisemann



Abstract

Die sozial-ökologische Mobilitätswende ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit. In der Verkehrsinfrastruktur stehen deshalb viele Veränderungen an, welche das Verkehrsverhalten der Bevölkerung verändern sollen. Es muss dabei sichergestellt werden, dass Maßnahmen den ökologischen Zielen als auch den Ansprüchen einer sozialen gerechten Transformation genügen und gesellschaftliche Benachteiligungen zumindest nicht weiter verschärfen. Diese Studie untersucht geplante Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt in Friedrichshain-Kreuzberg in Berlin. Diese umfassen Einbahnstraßen, Fußgänger*innenzonen, Schulzonen, Diagonalsperren und „nur Bus“-Straßen. Mithilfe mikroskopischer Personenverkehrsnachfragemodellierung werden die allgemeinen Auswirkungen der Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage untersucht. Zusätzlich werden die zwei untersuchten Maßnahmenszenarien anhand fünf sozioökonomischer Dimensionen (ökonomischer Status, Alter, Erwerbsstatus, Alleinerziehendenstatus und Gender) daraufhin analysiert, ob die Verkehrsnachfrage sozioökonomisch benachteiligter Personengruppen anders durch die Maßnahmen beeinflusst wird. Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch die Maßnahmen über alle untersuchten Personengruppen ein starker Modal Shift weg vom MIV und hin zum Umweltverbund ergibt. Des Weiteren ist vor allem bei benachteiligten Gruppen eine Verlagerung auf den Fußverkehr zu erkennen. Hieraus lässt sich ableiten, dass eine starke Förderung der Fußverkehrsinfrastruktur nicht nur aus ökologischen, sondern insbesondere aus diesen sozialen Gründen wichtig ist. Eine kritische Reflektion der Forschung zeigt, dass die Modelle angepasst werden sollten, um eine höhere Qualität bei kleinräumigen Simulationen zu erreichen und Fragen zu sozialen Auswirkungen von Maßnahmen besser beantworten zu können.

Inhaltsverzeichnis

Anhangsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	10
Eidesstattliche Versicherung	12
Danksagung	13
1 Einleitung	14
1.1 Was die Mobilitätswende leisten soll	14
1.2 Wie können die Ziele erreicht werden	15
1.3 Zielsetzung dieser Arbeit	16
1.4 Aufbau dieser Arbeit	17
2 Verkehrswende	18
2.1 Definition Mobilität und Verkehr	18
2.2 Definition Verkehrswende	18
2.3 Verkehrswende und die Klimakrise	19
2.4 Verkehrswende für lebenswerte Städte	21
2.5 Verkehrswende und soziale Gerechtigkeit	22
3 Mobilität und Verkehrswende in Berlin	24
3.1 Mobilität in Berlin	24
3.2 Verkehrswende in Berlin	26
4 Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung	30
4.1 Erklärung Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung	30
4.1.1 Räumliches Abbild	31
4.1.2 Synthetische Bevölkerung	35
4.1.3 Mobilitätsverhalten	36
4.1.4 Vor- und Nachteile	40
4.2 Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung und Politikberatung	41
5 Die Nördliche Luisenstadt und das Untersuchungsgebiet	45
5.1 Steckbrief	45
5.2 Bevölkerungsstruktur und räumliche Struktur	46
5.3 Umweltgerechtigkeit	49
5.4 Mobilitätssystem vor Ort	50

5.5	Verkehrskonzepte und Beschlüsse in Friedrichshain-Kreuzberg	50
5.5.1	Das Verkehrskonzept südliche Luisenstadt	51
5.5.2	Der Einwohner*innenantrag „Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt“	52
5.5.3	Die untersuchten Maßnahmen in dieser Arbeit.....	54
5.5.4	Weitere Entwicklung der Maßnahmen	56
5.6	Differenzierung Bezirksregion und Untersuchungsgebiet	56
6	Fragestellung und Hypothesen.....	58
7	Methodik	60
7.1	Modelle.....	60
7.1.1	SYNTHESIZER	60
7.1.2	UrMoAC	61
7.1.3	TAPAS.....	61
7.1.4	SUMO.....	65
7.2	Parametrisierung der Modelle für die Szenarien	65
7.2.1	Synthetische Bevölkerung	65
7.2.2	SUMO.....	66
7.2.3	UrMoAC	68
7.2.4	TAPAS.....	68
7.2.5	Übersicht der Implementierung der Maßnahmen in den Szenarien	69
7.3	Metriken	70
7.3.1	Modal Split.....	70
7.3.2	Modal Shift	71
7.3.3	Reisezeit.....	71
7.3.4	Wegstrecke.....	71
7.4	Datenauswertung.....	71
7.4.1	Aggregationsebene Haushalt und Person	71
7.4.2	Modus MIV	72
7.4.3	Alleinerziehendenstatus	72
7.4.4	Ökonomischer Status analog zu MID 2017	72
7.4.5	Rechnerische Datenanalyse und -Visualisierung.....	73
8	Ergebnisse.....	74
8.1	Synthetische Bevölkerung	74
8.2	Basisszenario	76

8.2.1	Modal Split im Modell und anderen Datenquellen.....	76
8.3	Ergebnisse der Szenarien	78
8.3.1	Modal Split.....	78
8.3.2	Reisezeiten	81
8.3.3	Wegstrecken.....	84
8.4	Personenverkehrsnachfrage untersucht nach sozioökonomischen Charakteristika	86
8.4.1	Ökonomischer Status	87
8.4.2	Alter	90
8.4.3	Erwerbsstatus.....	92
8.4.4	Alleinerziehende.....	94
8.4.5	Gender.....	96
9	Diskussion.....	99
9.1	Vergleichbarkeit des Modells	99
9.1.1	Vergleichbarkeit der synthetischen Bevölkerung in der Nördlichen Luisenstadt	99
9.1.2	Vergleichbarkeit der Modal Splits in Berlin und Friedrichshain-Kreuzberg	100
9.1.3	Limitationen der Vergleichbarkeit.....	100
9.2	Allgemeine Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen	101
9.3	Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen nach sozioökonomischen Dimensionen	103
9.4	Eignung der Modellierung für die Untersuchung der Fragestellungen.....	104
9.5	Limitationen der Ergebnisse.....	105
9.6	Weiterführende Forschungen	106
10	Fazit und Ausblick.....	108
11	Persönliche Reflektion.....	109
12	Bibliographie.....	110
13	Anhang.....	125

Anhangsverzeichnis

A1.	Die drei Nachhaltigkeitsstrategien Suffizienz - Konsistenz - Effizienz.....	125
A2.	Differenzierung Verkehrswende und Mobilitätswende.....	126
A3.	Verkehrserhebungen MiD und SrV.....	127
A4.	Begleitantrag zum EwA Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt	128
A5.	Personengruppen zur Aktivitätenplanzuordnung.....	130
A6.	Aktivitäten	130
A7.	Weiterführende Tabellen und Abbildungen zu den Ergebnissen des Modells.....	131
A7.1.	Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs in und aus dem Untersuchungsgebiet.....	131
A7.2.	Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Binnenverkehrs innerhalb des Untersuchungsgebiets.....	131
A7.3.	Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Verkehrs der Einwohner*innen der Nördlichen Luisenstadt	132
A7.4.	Wegeanzahlen je nach Reisezeit, Szenario und Modus.....	132
A7.5.	Wegeanzahlen je nach Wegstrecke, Szenario und Modus.....	132
A7.6.	Relativer Modal Shift nach Wegstrecke	133
A7.7.	Wegeanzahlen je nach ökonomischem Status, Szenario und Modus.....	133
A7.8.	Geschwindigkeiten nach ökonomischem Status.....	134
A7.9.	Wegeanzahlen je nach Teilverkehrszelle, Szenario und Modus	134
A7.10.	Relativer Modal Shift nach ökonomischem Status.....	135
A7.11.	Wegeanzahlen je nach Altersgruppe, Szenario und Modus	135
A7.12.	Relativer Modal Shift nach Alter	136
A7.13.	Wegeanzahlen je nach Erwerbsstatus, Szenario und Modus	136
A7.14.	Relativer Modal Shift nach Erwerbsstatus	137
A7.15.	Wegeanzahlen je nach Alleinerziehendenstatus, Szenario und Modus	137
A7.16.	Relativer Modal Shift nach Alleinerziehendenstatus	138
A7.17.	Wegeanzahlen je nach Gender, Szenario und Modus	138
A7.18.	Relativer Modal Shift nach Gender	139
A8.	Modal Split nach ökonomischem Status in Friedrichshain-Kreuzberg (SrV 2018).....	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Verkehrsarten für ein Untersuchungsgebiet.	33
Abbildung 5-1: Karte der Bezirksregion „Nördliche Luisenstadt“ (in blau) mit ihrer Lage in Berlin. Eigene Darstellung.	45
Abbildung 5-2: Die vom Bezirk geplanten und hier untersuchten Maßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt (Stand: 4. Oktober 2022). Eigene Darstellung.	53
Abbildung 5-3: Das Untersuchungsgebiet mit den Raumbezugssysteme mit den jeweiligen Bezeichnungen.	56
Abbildung 6-1: Simulationsablauf mit den Modellen SYNTHESIZER, UrMoAC, TAPAS und SUMO in Anlehnung an Heinrichs et al. (2016).	59
Abbildung 7-1: Veränderung der Abbieger zur Umsetzung einer Diagonalsperre.	67
Abbildung 7-2: Matrix zur Bestimmung des ökonomischen Status. Abbildung aus dem Nutzerhandbuch für die MiD 2017 von Nobis und Köhler (2018, S. 18).	73
Abbildung 8-1: Modal Split für ganz Berlin aus dem Basisszenario, von der MiD2017 und von der SrV2018.	76
Abbildung 8-2: Modal Split für Friedrichshain-Kreuzberg aus dem Basisszenario, von der MiD2017 und von der SrV2018:	77
Abbildung 8-3: Modal Split des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien.	78
Abbildung 8-4: Modal Shift des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) der beiden Maßnahmenszenarien zum Basisszenario.	79
Abbildung 8-5: Modal Split des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs in allen drei Szenarien nach Personenkilometern.	80
Abbildung 8-6: Modal Split des Binnenverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien.	80
Abbildung 8-7: Modal Split aller Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien.	81
Abbildung 8-8: Die Reisezeiten in allen drei Szenarien aufgeschlüsselt nach den Modi.	82
Abbildung 8-9: MIV-Reisezeiten in allen drei Szenarien räumlich aufgeschlüsselt nach T _{vz} in der Start- oder Endpunkt des Weges liegt.	83
Abbildung 8-10: Reisezeitveränderungen im 2. Maßnahmenszenario zum Basisszenario des MIVs, aufgeschlüsselt nach der Wegstrecke.	84
Abbildung 8-11: Modal Split geclustert nach Wegstrecke und nach Szenario.	85
Abbildung 8-12: Absoluter Modal Shift im 2. Maßnahmenszenario zum Basisszenario nach der Wegstrecke.	86

Abbildung 8-13: Modal Split im Basisszenario aufgeschlüsselt nach den 5 ökonomischen Statusgruppen (öSg).....	87
Abbildung 8-14: Die Wege im Basisszenario aufgeschlüsselt nach Wegstrecke und ökonomischem Status.....	88
Abbildung 8-15: Der Modal Split aufgeschlüsselt nach den ökonomischen Status Gruppen in allen drei Szenarien.	89
Abbildung 8-16: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach ökonomischen Statusgruppen.....	89
Abbildung 8-17: Modal Split im Basisszenario nach Altersgruppen.....	90
Abbildung 8-18: Der Modal Split in den Altersgruppen im Basisszenario und im 2. Maßnahmenzenario.	91
Abbildung 8-19: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Altersgruppen.....	92
Abbildung 8-20: Modal Split im Basisszenario nach Erwerbsstatus.....	92
Abbildung 8-21: Der Modal Split in den Erwerbsstatusgruppen im Basisszenario und im 2. Maßnahmenzenario.....	93
Abbildung 8-22: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Erwerbsstatusgruppen.	94
Abbildung 8-23: Modal Split im Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.....	94
Abbildung 8-24: Der Modal Split von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten im Basisszenario und im 2. Maßnahmenzenario.....	95
Abbildung 8-25: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.....	96
Abbildung 8-26: Modal Split im Basisszenario nach Gender. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.13 zu finden.....	96
Abbildung 8-27: Der Modal Split nach Gender im Basisszenario und im 2. Maßnahmenzenario.....	97
Abbildung 8-28: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Gender.....	98
Abbildung 13-1: Modal Shift im 2. Maßnahmenzenario relativ zum Basisszenario.	133
Abbildung 13-2: Die Wege im Basisszenario aufgeschlüsselt nach Geschwindigkeit und ökonomischem Status.....	134
Abbildung 13-3: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach ökonomischen Statusgruppen.....	135
Abbildung 13-4: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Altersgruppen.	136

Abbildung 13-5: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach Erwerbsstatusgruppen.....	137
Abbildung 13-6: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.....	138
Abbildung 13-7: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach Gender.....	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Mobilitätsrelevante Entscheidungen, die in einem Personenverkehrsnachfragemodell abgebildet werden und zugehörige Einflussfaktoren, nach Friedrich (2011, S. 4).	37
Tabelle 5-1: Einwohner*innen nach Altersgruppen in der Bezirksregion Nördliche Luisenstadt.....	46
Tabelle 5-2: Umweltatlas-Auszug für die Planungsräume Köpenicker Straße und Lausitzer Platz.....	50
Tabelle 5-3: Die geplanten und hier untersuchten Verkehrsmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt. Wichtig ist zu bemerken, dass die Maßnahmen aufeinander aufbauen. Veränderungen, die im 1. Maßnahmenzenario gemacht werden, werden im 2. Maßnahmenzenario beibehalten.....	55
Tabelle 7-1: Die Einflüsse von sozioökonomischen Eigenschaften auf Auto-, Fahrrad-, ÖPNV-Ticket-, und Führerscheinbesitz in den Regressionsmodellen der synthetischen Bevölkerung.....	66
Tabelle 7-2: Abgangszeiten des MIV in den Szenarien.....	69
Tabelle 7-3: Im Modell umgesetzte Maßnahmen pro Szenario inklusive der Aktualisierungen des Ursprungsszenarios zum Basisszenario.	69
Tabelle 8-1: Synthetische Bevölkerung und ihre Zusammensetzung für das Untersuchungsgebiet und für Friedrichshain-Kreuzberg.....	75
Tabelle 8-2: Zahlen der Modal Splits für den Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg aus dem Basisszenario, von der MiD 2017 und von der SrV 2018 zusammen mit Vergleichen zwischen den offiziellen Daten und der Modellierung im Basisszenario.	77
Tabelle 8-3: MIV-Wegeanzahl im Basisszenario und im 2. Maßnahmenzenario, aufgeschlüsselt nach Tvz.....	83
Tabelle 13-1: Aufgliederung der 32 Personengruppen zur Aktivitätenplanzuordnung nach Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus und PKW-Besitz im Haushalt.	130
Tabelle 13-2: Absolute Zahlen des Modal Splits für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.	131
Tabelle 13-3: Absolute Zahlen des Modal Splits für nur Binnenverkehr innerhalb des Untersuchungsgebiets.....	131
Tabelle 13-4: Absolute Zahlen des Modal Splits der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets..	132
Tabelle 13-5: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Reisezeit in Minuten und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.....	132
Tabelle 13-6: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Wegstrecke in Kilometern und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.	132
Tabelle 13-7: Absolute Zahlen des Modal Splits nach ökonomischem Status der Agent*innen und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.	133
Tabelle 13-8: Wegeanzahlen je nach Teilverkehrszelle, Szenario und Modus.	134
Tabelle 13-9: Wegeanzahlen je nach Altersgruppe, Szenario und Modus.....	135

Tabelle 13-10: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Erwerbsstatus und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.	136
Tabelle 13-11: Absolute Zahlen des Modal Splits gruppiert danach, ob die Person aus einem Alleinerziehendenhaushalt kommt oder nicht und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.....	137
Tabelle 13-12: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Gender und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.	138
Tabelle 13-13: Der Modal Split für ganz Friedrichshain-Kreuzberg, aufgeschlüsselt nach ökonomischem Status aus der SrV 2018 mit gewichteten und ungewichteten Fallzahlen (Gerike et al., 2020).....	139

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, Ella Eisemann, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Potsdam, den 28.08.2023

.....

Ella Eisemann

Danksagung

Mein großer Dank gilt meinen Betreuern Dr. Simon Nieland und Diego Dametto, die mich und diese Masterarbeit fachlich und menschlich betreut haben. Ebenfalls will ich Daniel Krajzewicz, Jan Volker Weschke, Alain Schengen, Antje von Schmidt und Dr.-Ing. Matthias Heinrichs am DLR für Verkehrsforschung für die Unterstützung und fachliche Hilfen danken. Außerdem gilt ein großes Dankeschön allen meinen Freund*innen und Bibliotheksbegleitungen, die mich im Forschungs- und Schreibprozess immer motiviert und unterstützt haben.

1 Einleitung

"Berlin, lass dir das Auto nicht verbieten!" prangte es auf einem Wahlplakat der CDU in Berlin im Februar 2023 (Prenzel, 2023). Wenige Monate davor hingen überall in Berlin Plakate für den „Volksentscheid Berlin autofrei“ (*Volksentscheid Berlin Autofrei*, o.J.). Worauf diese Plakate referenzieren, wird den meisten in Berlin und darüber hinaus bewusst sein: Die Mobilitätswende. Dieser Begriff beschreibt die Transformation weg von dem bisher bestehenden klimaschädlichen Verkehrssystem hin zu einem System nachhaltiger Mobilität. Diese Veränderung ist notwendig, um die negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt, die Lebensqualität und die Gesundheit zu reduzieren. Doch wie diese gesamtgesellschaftliche Veränderung passieren soll, darüber herrscht Uneinigkeit in Politik und Gesellschaft. Bevor aber das „Wie“ gefragt ist, stellt sich die Frage nach dem „Warum“.

1.1 Was die Mobilitätswende leisten soll

Die Ziele einer Mobilitätswende sind vielfältig. In dieser Arbeit werden die drei Hauptziele näher untersucht: Klimafreundlichkeit, Lebensqualität in Städten und soziale Gerechtigkeit. Der Aspekt der Klimafreundlichkeit verfolgt das Ziel, das Verkehrssystem weniger klimaschädlich zu gestalten und ganz konkret vor allem die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Das Mobilitätssystem weltweit befindet sich in einer Krise, denn der aktuelle, vor allem fossil befeuerte Verkehr, verursacht viele Umweltschäden. Die hohe Abhängigkeit des Verkehrssystems von fossilen Rohstoffen ist ein großes Hindernis für die Eindämmung der Klimakrise. Veränderungen im Verkehrssektor sind aber notwendig, da laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) etwa 15% der globalen Treibhausgasemissionen auf den Verkehrssektor zurückzuführen sind (IPCC, 2022). Diese Emissionen tragen maßgeblich zur Erderwärmung und den damit verbundenen Auswirkungen wie dem Anstieg des Meeresspiegels, extremeren Wetterereignissen und dem Verlust von Biodiversität bei.

Das zweite Ziel ist die Lebensqualität in Städten zu erhöhen. Das aktuelle Verkehrssystem hat viele negative Auswirkungen auf die Lebensqualität vor allem in Städten. Das hohe Verkehrsaufkommen durch fossil betriebene Pkw gemeinsam mit der hohen Versiegelungsquote zur Sicherstellung guter Straßeninfrastruktur führen zu Umweltrisiken. Diese sind unter anderem Lärmbelastung, Luftverschmutzung, ein erhöhtes Risiko für Hitzestress und die Zerschneidung des Stadtraumes. Diese negativen Folgen des Verkehrssystems haben große Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen und anderen Stadtbewohner*innen¹ – vor allem an dicht besiedelten Orten wie Städten (Campisi et al., 2020; Frank & Engelke, 2001). Deshalb ist es das Ziel der Mobilitätswende, die Pkw-Nutzung vor allem in Städten zu reduzieren und mehr Verkehr auf den Umweltverbund² zu verlagern. Diese Veränderung ermöglicht es, die Verkehrsemissionen zu senken, Flächen anders zu nutzen und ein gesünderes und sozialeres Stadtklima zu fördern.

Das dritte Ziel ist die soziale Gerechtigkeit in der Mobilität. Weltweit, aber auch in Deutschland, haben nicht alle Menschen den gleichen Zugang zu Mobilitätsinfrastruktur und -dienstleistungen. Dafür gibt

¹ Im Sinne der Inklusion aller Geschlechter, wird in dieser Arbeit das Gendersternchen verwendet (Geschicht gendern - das Genderwörterbuch, 2019).

² Definition Umweltverbund: „Umweltverbund, Verbund umweltverträglicher Verkehrsmittel bzw. Verkehrsarten des Stadtverkehrs. Darin zusammengefasst werden Busse und Bahnen des öffentlichen Verkehrs sowie Fahrräder und "zu Fuß gehen" (nicht motorisierter Individualverkehr).“ (Lexikon der Geographie, 2014)

es unterschiedliche Gründe, wie fehlende Barrierefreiheit, die schlechtere Anbindung an den ÖPNV und der Mangel an sicherer Fahrradinfrastruktur in benachteiligten Stadtvierteln und ländlichen Gebieten. Diese Einschränkungen erschweren den Zugang zu Bildung, Arbeitsplätzen, Gesundheitsversorgung, können zu sozialer Isolation führen und starke finanzielle Belastung für einkommensschwache Haushalte darstellen (Schwanen & Mokhtarian, 2005). Dieses Phänomen wird auch Mobilitätsarmut genannt (Daubitz, 2011, 2016).

Es herrschen auch Ungerechtigkeiten darin, wie Menschen unterschiedlich von den beschriebenen negativen Auswirkungen des Verkehrs betroffen sind. Studien zeigen, dass bestimmte Bevölkerungsgruppen, die oft sowieso schon benachteiligt sind, wie Menschen mit geringem Einkommen, von den negativen Auswirkungen des Verkehrs stärker betroffen sind als andere (vgl. Cervero & Duncan, 2003; Schweitzer & Valenzuela, 2004; Verbeek, 2018). Beispielsweise sind Menschen, die in billigeren Wohnlagen leben, die öfter in der Nähe von stark befahrenen Straßen sind, oft einer höheren Luftverschmutzung und Lärmbelastung ausgesetzt, was zu gesundheitlichen Problemen wie Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Stress führen kann (Zeeb, 2020). Das Konzept, was diese Gerechtigkeitsfrage untersucht wird in der Literatur auch unter „Umweltgerechtigkeit“ verhandelt (Elvers, 2011).

Eine dritte Gerechtigkeitsdimension ist die Flächengerechtigkeit. Diese Dimension beschreibt die (un)gerechte Verteilung von Flächen, so zum Beispiel der Straßenfläche. Ein Aspekt davon ist, dass nicht alle Verkehrsmittel die Anteile der Straßenfläche zur Verfügung haben, die einerseits zur sicheren Nutzung nötig und andererseits gemäß ihrem Anteil am Modal Split angemessen wären (Creutzig et al., 2020).

1.2 Wie können die Ziele erreicht werden

Diese Ziele der Klimafreundlichkeit, Lebensqualität in Städten und sozialen Gerechtigkeit werden in Deutschland und auch konkret in Berlin mit internationalen, nationalen und regionalen Gesetzgebungen, Förderprogrammen und Leitlinien verfolgt. Ein Fokus ist die Dekarbonisierung des Verkehrs durch unter anderem Restriktionen von klimaschädlichen Verkehrsmitteln und Verhaltensweisen (wie das EU-weite „Verbrenneraus“ ab 2035 (Europäischer Rat - Rat der Europäischen Union, 2023)), Förderung von Elektrifizierung im Verkehr (wie der Umweltbonus (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2023)) und Stärkung des Umweltverbundes (wie das Deutschlandticket (Transdev Vertrieb GmbH, 2023)). Der andere Fokus ist der nachhaltige Städteumbau, der auch den Verkehr betrifft. Dieser wird unter anderem durch die Änderung von Bebauungs-, Flächennutzungs- und anderen Plänen mit dem Fokus einer Stadt der kurzen Wege (Beckmann et al., 2011) und einer Umverteilung des Straßenraums auf andere Verkehrsmittel und Nutzungen umgesetzt (wie zum Beispiel durch die Radschnellwegförderung (*BMDV - Radschnellwege bringen Fahrradfahrer zügig & sicher ans Ziel!*, o. J.)).

In der konkreten und lokalen Umsetzung in Berliner Kiezen bedeutet das ganz konkrete Maßnahmen, wie unter anderem die Einführung einer Einbahnstraße oder der Bau einer Diagonalsperre zur Verkehrsberuhigung. Wie diese Maßnahmen ausgewählt werden und welche Effekte von ihnen erwartet werden, basiert auf Expert*innenwissen, welches sich aus Forschungen und Erfahrungen aus vergangenen Maßnahmenumsetzungen, im Vergleich mit ähnlichen Maßnahmen in ähnlichen Kontexten und durch stetes Monitoring und Evaluation ergibt. Besonders aber zur Untersuchung der

sozialen Effekte von Maßnahmen, ist das Wissen begrenzt (Gössling et al., 2019). Es ist jedoch wichtig zu untersuchen, ob die umgesetzten Maßnahmen tatsächlich die angestrebten Ziele der Mobilitätswende erreichen, also auch soziale Ungerechtigkeiten nicht verstärken und benachteiligte Gruppen fördern oder zumindest nicht weiter benachteiligen. Realexperimente können helfen diese Wissenslücken zu füllen, jedoch verlangen sie einen Planungsaufwand genauso wie politische und gesellschaftliche Bereitschaft, die nicht immer gegeben sind (VanHoose et al., 2022).

In diesem Zusammenhang können computergestützte Modelle eine wertvolle Methode sein, um die Auswirkungen von Maßnahmen zu untersuchen und mögliche Szenarien zu simulieren. Modellgestützte Beratung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Vor allem bei so komplexen Systemen, wie dem Verkehrssektor können Modelle explorativ und evaluierend eingesetzt werden, da sie diese Systeme darstellen und komplexe Zusammenhänge modellieren können (Gilbert et al., 2018). In Berlin sind die Potentiale, die sich aus modellgestützter Beratung ergeben besonders groß. Als größte Stadt Deutschlands, ist Berlin geprägt von einer heterogenen Bevölkerung, einem vielfältigen Verkehrsangebot und einer Geschichte, die das Mobilitätssystem einzigartig geprägt hat (Glißmeyer, 1992). Das Verkehrssystem in Berlin ist deshalb besonders komplex und die Nutzung von Modellen für die Verkehrspolitikberatung hat besonders großes Potenzial. Ein weiterer Punkt, der für modellgestützte Beratung in der Verkehrsplanung spricht ist die notorische Unterbesetzung der zuständigen Stellen in der Senatsverwaltung und den Bezirken (Zawatka-Gerlach, 2020). Dadurch ist es besonders hilfreich (externe) Modellergebnisse zur Planung hinzuzuziehen, um Planungsaufwand zu reduzieren.

1.3 Zielsetzung dieser Arbeit

Diese Masterarbeit konzentriert sich daher auf die modellgestützte Beratung für die Mobilitätsplanung in Berlin. Die Auswirkungen von Maßnahmen im Rahmen der Mobilitätswende in Berlin werden daraufhin untersucht, wie sie sich auf die Verkehrsnachfrage auswirken – insbesondere auf die von benachteiligten Gruppen. Des Weiteren stellt sich diese Masterarbeit die übergeordnete Frage, wie Modelle zur Untersuchung von Maßnahmen genutzt werden können. Die Ergebnisse dieser Arbeit können dazu beitragen, die Planung und Umsetzung von Mobilitätswendemaßnahmen zu verbessern und die Möglichkeiten und Limitationen der Anwendung von Modellen zu diesem Zweck zu reflektieren.

Konkret werden in dieser Arbeit Maßnahmen untersucht, die für die Bezirksregion Nördliche Luisenstadt in Friedrichshain-Kreuzberg in Planung sind. Diese Maßnahmen umfassen Einbahnstraßen, Diagonalsperren, Schulzonen, „nur Bus“-Straßen und Fußgänger*innenzonen. Die Untersuchung geschieht im Rahmen des Projektes VMo4Orte am Deutschen Luft- und Raumfahrtinstitut für Verkehrsforschung in Adlershof, Berlin (DLR-VF) in Kollaboration mit dem Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg.

Die Methode, die für diese Arbeit verwendet wird, lässt sich mit einer popkulturellen Referenz einführen: „Die Sims“ ist ein bekanntes Computerspiel, was seit dem Jahr 2000 vielen Menschen Jung und Alt Freude bereitet. Das Spiel ist eine Lebenssimulation, in der die Spieler*innen die Spielfiguren – „Sims“ genannt – erstellen, ihnen Eigenschaften geben und ihren Alltag spielen. In dem Alltag müssen die Sims so wie ihre Spieler*innen Tätigkeiten machen, wie zur Schule oder Arbeit gehen, einkaufen oder Freund*innen treffen, also Tätigkeiten für die sie sich von A nach B bewegen. Je nach

Vorhandensein von Infrastruktur und so wie die Spieler*in spielen will, entsteht in der Spielwelt Verkehr. So ähnlich kann die Methode dieser Arbeit beschrieben werden, die zwar nicht als Computerspiel, dafür jedoch mit einem Anspruch daran, die Realität abzubilden, Mobilitätsverhalten in der echten Welt simuliert: die mikroskopische Personenverkehrsnachfrage.

Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle modellieren dabei eine synthetische Bevölkerung für ein Gebiet, die die reale Bevölkerung abbilden soll. Personen dieser synthetischen Bevölkerung durchlaufen im Modell einen durchschnittlichen Werktag und legen Wege zwischen Orten im Untersuchungsgebiet zurück, um Aktivitäten nachzugehen (Friedrich et al., 2019). Am Ende der Simulation erhält man Verkehrsnachfragedaten, also Daten über die Wege, die alle Personen der synthetischen Bevölkerung im Laufe des simulierten Tages zurückgelegt haben. Davon ausgehend können Informationen über die Verkehrsmittelwahl, Reisezeiten und Wegstrecken berechnet und die Verkehrsnachfrage einzelner Personengruppen analysiert werden. Als konkretes Modell wird in dieser Arbeit TAPAS (Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016) genutzt. Die Maßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt werden in dieser Arbeit in zwei aufeinander aufbauenden Szenarien modelliert und in der Auswertung mit einem Basisszenario verglichen. Die Auswertung fokussiert sich zuerst auf die allgemeine Verkehrsnachfrage in den drei Szenarien und ihre Unterschiede und danach auf die Verkehrsnachfrage von unterschiedlichen, benachteiligten Gruppen in der Nördlichen Luisenstadt in den drei Szenarien. Das Besondere an dieser Herangehensweise ist, dass bisher TAPAS noch nicht für so kleinräumige Untersuchungen genutzt wurde. Bisher wurde TAPAS nur auf große Gebiete mit vielen Einwohner*innen, wie Berlin mit 3,8 Millionen Einwohner*innen (Beige et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016; Heinrichs et al., 2017; Krajzewicz, Hardinghaus, et al., 2017), Braunschweig mit ca. 300.000 Einwohner*innen (Krajzewicz et al., 2016a, 2016b), Hamburg mit 1,8 Millionen Einwohner*innen (Zimmer et al., 2013) und den Main-Rhön-Kreis mit 436.833 Einwohner*innen (Zimmer et al., 2013) angewandt. Das Untersuchungsgebiet in dieser Arbeit, hat jedoch nur ca. 22.000 Einwohner*innen und erstreckt sich über eine deutlich kleinere Fläche als die bisher untersuchten Gebiete. Außerdem existiert bisher nach dem Wissensstand bei Verfassung dieser Arbeit noch keine Forschung mit TAPAS oder anderen mikroskopischen Personenverkehrsnachfragemodellen dazu, wie sich Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen auf unterschiedliche, besonders auf benachteiligte soziale Gruppen auswirken.

1.4 Aufbau dieser Arbeit

Im nachfolgenden Kapitel wird näher auf den Begriff und das Konzept Verkehrswende zusammen mit ihren Zielen eingegangen. Danach wird in Kapitel 3 die Mobilitätssituation in Berlin vorgestellt und auf den politischen und gesetzlichen Rahmen der Mobilitätswende eingegangen. Im 4. Kapitel wird mikroskopische Personennachfragemodellierung näher beschrieben und Beispiele der Anwendung von Personennachfragemodellen zur Politikberatung werden genannt. In Kapitel 5 wird das Untersuchungsgebiet – die Nördliche Luisenstadt – und die Maßnahmen, die untersucht werden, vorgestellt. Darauf folgt in Kapitel 6 die Vorstellung der konkreten Fragestellungen und Hypothesen. In Kapitel 0 wird auf die konkrete Methodik mit den Modellparametrisierungen und Implementierungen des Basisszenarios und der beiden Maßnahmenzenarien eingegangen. In jenem Kapitel werden außerdem die Metriken beschrieben. Die Ergebnisse werden darauffolgend in Kapitel 0 vorgestellt und in Kapitel 0 diskutiert. Die Forschung schließt ab mit dem Fazit in Kapitel 0.

2 Verkehrswende

Die Mobilitätswende bezeichnet eine ganzheitliche Transformation des Verkehrssektors, wie in diesem Kapitel dargestellt wird. Die Verkehrswende hat nicht nur Auswirkungen auf unterschiedliche Dimensionen der Welt, sondern ist auch aus unterschiedlichen Perspektiven motiviert. Im folgenden Kapitel werden zuerst die relevanten Begriffe definiert und danach die Verkehrswende aus den drei Perspektiven Klimakrise, lebenswerte Städte und soziale Gerechtigkeit begründet. Danach wird auf die Mobilitätswende konkret in Berlin eingegangen.

2.1 Definition Mobilität und Verkehr

Um über Mobilitätswende und Verkehrswende zu schreiben, braucht es zuerst Definitionen für Mobilität und Verkehr. Diese beiden Begriffe werden oft synonym verwendet und sind eng verwandt, jedoch beschreiben sie nicht identische Konzepte. Mobilität beschreibt die Möglichkeit oder Fähigkeit zur Bewegung (vgl. Dudenredaktion, 2023a). In Bezug auf Geografie und Raum bedeutet das, Möglichkeiten zu haben, sich zwischen unterschiedlichen Orten hin und her zu bewegen unter anderem auf unterschiedliche Weisen und mit unterschiedlichen Mitteln. Verkehr hingegen beschreibt die wirkliche Bewegung im Raum auf dafür vorgesehenen Wegen wie Straßen (vgl. Dudenredaktion, 2023b). Nach diesen Definitionen stellt Verkehr ausgeübte Mobilität dar. Canzler und Knie (2002) differenzieren zwischen den beiden Begriffen ähnlich: "Mobilität ist als Bewegung in möglichen Räumen, Verkehr als Bewegung in konkreten Räumen aufzufassen."

Mobilität ist gesellschaftlich gesehen „ein grundlegendes Bedürfnis [...] und die Voraussetzung für die Teilhabe an sozialen, wirtschaftlichen und politischen Handlungen“, da für diese räumliche Distanzen überwunden werden müssen (Zoche et al., 2002, S. 8). Mobilität und daraus folgend Verkehr sind demnach zentrale Aspekte unser aller Leben und der gesellschaftlichen Prozesse. Umweltfreundliche und sozial gerechte Mobilität und Verkehr sind Grundsteine einer umweltfreundlichen und sozial gerechten Zukunft. Im nächsten Kapitel wird deshalb auf die Transformation hin zu dieser Zukunft geschaut: der Verkehrswende.

2.2 Definition Verkehrswende

Die Verkehrswende³ bezeichnet den gesellschaftlichen und technischen Übergang von einem fossil betriebenen Verkehrssystem hin zu einer Gesellschaft, die ökologisch und sozial nachhaltig mobil ist (Hesse, 1995). Die Verkehrswende umfasst eine Vielzahl von Zielen, Maßnahmen und Strategien auf allen Ebenen von internationalem Flug- und Schiffsverkehr bis hin zum lokalen Fußverkehr und von globalen Menschen- und Gütermobilitäten bis hin zu lokalen Menschen- und Güterbewegungen bis zur Haustür. Die Ziele der Verkehrswende sind die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, die Verbesserung der Luftqualität, die Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr und die Förderung einer gerechten und inklusiven Mobilität (Agora Verkehrswende, 2022; Canzler & Knie, 2023; Dangschat, 2022; Koopmann, 2018a). Um diese Ziele zu erreichen, umfasst die Verkehrswende weitreichende Maßnahmen in den Bereichen Verkehrsplanung, Stadtplanung, Infrastruktur, Fahrzeugtechnologie, Verkehrsmittelwahl und Verhaltensänderung der Verkehrsteilnehmer*innen. Die Verkehrswende ist an sich ein transdisziplinäres Feld, da sie die Zusammenarbeit verschiedener Akteur*innen wie

³ Analog zum Unterschied zwischen Verkehr und Mobilität gibt es neben dem Begriff Verkehrswende auch die Mobilitätswende. Wie diese beiden Konzepte sich unterscheiden, ist im Anhang A2 erklärt.

Regierungen, Stadtplanung, Verkehrsbetriebe, Unternehmen und der Zivilgesellschaft erfordert (Geels et al., 2017).

Die Verkehrswende ist Teil nachhaltiger Entwicklung. Die Verkehrsplanung kann Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie leisten, wobei eine ausgewogene Betrachtung und Verknüpfung der Maßnahmen erforderlich ist, um eine tatsächlich nachhaltigere Entwicklung und Verbesserung der Lebensqualität zu erreichen (vgl. Holz-Rau, 2018). Die Verkehrswende sollte außerdem die drei Nachhaltigkeitsstrategien Konsistenz, Suffizienz und Effizienz verfolgen (Kropp, 2019; Willy, 2023). Diese Strategien sind näher in Anhang A1 beschrieben. Die UN Sustainable Development Goals (SDGs), beschreiben globale Eckpunkte nachhaltiger Entwicklung für das Fortbestehen einer lebenswerten Welt (vgl. United Nations, 2015, S. 5ff). Demnach sollte eine nachhaltige Verkehrsplanung auf Sicherheit, Bezahlbarkeit, Zugänglichkeit, Effizienz, Resilienz und die Reduzierung von Emissionen ausgerichtet sein (Holz-Rau, 2018; United Nations, 2015, 2021).

2.3 Verkehrswende und die Klimakrise

Wie schon in der Einleitung genannt, gibt es einen engen Zusammenhang zwischen Verkehr beziehungsweise Verkehrswende und der Klimakrise. In diesem Kapitel wird dieser Zusammenhang ausführlich beleuchtet und die Notwendigkeit der Verkehrswende wird aus der Perspektive von Klimaschutz und Klimaanpassung erklärt. Dafür werden zuerst Fakten zum Einfluss des Verkehrssektors auf die Klimakrise durch Treibhausgasemissionen und internationale Zielsetzungen für den Verkehrssektor vorgestellt. Danach wird näher auf die Situation in Deutschland eingegangen und auf die Klimaziele im Verkehrssektor. Schlussendlich wird kurz der Einfluss der Klimakrise auf den Verkehrssektor beleuchtet.

Der IPCC Bericht, als der wichtigste und anerkannteste Klimabericht, der über die Erkenntnisse über den Klimawandel, seine Ursachen, seine möglichen Auswirkungen und seine Reaktionsmöglichkeiten regelmäßig informiert, beschreibt deutlich, dass die fortschreitende Klimaerwärmung eine globale Notlage erzeugt hat. Seit der industriellen Revolution wird ein stetiger Anstieg der Treibhausgasemissionen verzeichnet. Auch aktuelle Trends prognostizieren eine weitere Zunahme in der Zukunft (IPCC, 2022). Das daraus folgende Steigen der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre bringt immer mehr das klimatische Gleichgewicht aus der Balance und zerstört langfristig die Lebensgrundlagen des Menschen und vieler anderer Lebewesen. Der Verkehrssektor ist einer der Bereiche menschlichen Lebens, der besonders viel zur Klimakrise beitragen. Laut dem IPCC-Bericht 2022 war der globale Verkehrssektor 2019 für 15% (8.7 Gt CO₂-Äq) der globalen Treibhausgase verantwortlich, nach dem Energiesektor, dem Industriesektor und dem Landwirtschaftssektor (Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung) aber noch vor dem Gebäudesektor (IPCC, 2022). Das liegt unter anderem daran, dass der Großteil des Verkehrs auf fossilen Brennstoffen wie Benzin und Diesel basiert, die bei der Verbrennung große Mengen an CO₂ freisetzen. Ein anderer Grund dafür ist, dass nicht nur die direkten Emissionen des Verkehrs, sondern auch die indirekten Emissionen durch die Herstellung und den Betrieb von Fahrzeugen eine Rolle spielen. Die Produktion von Fahrzeugen erfordert den Einsatz von Energie und Ressourcen, was zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen führt. Darüber hinaus erfordert der Betrieb von Fahrzeugen die Bereitstellung von Infrastruktur wie Straßen und Parkplätzen, die ebenfalls mit Emissionen verbunden ist (vgl. Fan et al., 2018; Matthews et al., 2001)

Das Pariser Klimaabkommen, auch bekannt als „Übereinkommen von Paris“, ist ein völkerrechtlicher Vertrag, der von 197 Vertragsparteien, darunter alle völkerrechtlich anerkannten Staaten der Erde, unterzeichnet wurde und am 4. November 2016 in Kraft trat, nachdem 55 Staaten, die zusammen mindestens 55% der globalen Treibhausgasemissionen verursachen, die Ratifizierung abgeschlossen hatten (UNFFC, 2015). Die unterzeichnenden Staaten haben sich zum Ziel gesetzt, die Erderwärmung möglichst auf 1,5 Grad, in jedem Fall aber "deutlich unter 2 Grad" gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in allen Sektoren, einschließlich des Verkehrssektors, erforderlich (vgl. Kurze, 2020; Rajamani & Werksman, 2018; UNFFC, 2015; United Nations, 2021).

Um die globalen Klimaziele zu erreichen, müssen deshalb drastische Maßnahmen ergriffen werden, um den CO₂-Ausstoß im Verkehrsbereich zu reduzieren. Die Verkehrswende umfasst Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen wie die Förderung von Elektromobilität und anderen nachhaltigen Antriebsarten, den Ausbau erneuerbarer Energien im Verkehrssektor, die Verbesserung der Energieeffizienz von Verkehrsmitteln und Infrastruktur, die Einschränkung von fossilen Verkehrsmitteln, die Stärkung des öffentlichen Nahverkehrs und die Förderung des Fahrradverkehrs. Darüber hinaus ist eine verbesserte Raumplanung und Stadtentwicklung erforderlich, um die Verkehrsnachfrage zu reduzieren und die Nutzung von umweltfreundlichen Verkehrsmitteln zu erleichtern. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Maßnahmen in Kombination erheblich zur Verringerung der CO₂-Emissionen beitragen können (Din et al., 2023; vgl. Lopes Toledo & Lèbre La Rovere, 2018; Rajamani & Werksman, 2018).

In Deutschland ist die Situation ähnlich zur globalen Situation. Hier lag der Anteil des Verkehrssektors an den Gesamtemissionen der Republik bei 19,4% im Jahr 2021 (in absoluten Zahlen rund 164 Mio. t CO₂-Äq) (Lambrecht, 2019), was bedeutet, dass der Verkehrssektor der drittgrößte Verursacher von Treibhausgasemissionen in Deutschland ist (Norddeutscher Rundfunk, 2019). Dieser Anteil ist seit 1990 sogar um 6,4% gestiegen (1990: 13%), denn während die absoluten Gesamtemissionen stetig gesunken sind, sind die Emissionen im Verkehrssektor mehr oder weniger stabil geblieben, beziehungsweise sinken seit 1999 wieder leicht (Lambrecht, 2019). Laut Umweltbundesamt (UBA) liegt diese Steigerung im Anteil an den Gesamtemissionen „vor allem am stetig wachsenden Straßengüterverkehr, dem Motorisierten Individualverkehr und dem zunehmenden Absatz von Dieselkraftstoff“ (Lambrecht, 2019).

Um die notwendige Reduktion der Treibhausgase allgemein und im Verkehrssektor gesetzlich einzubetten, wurde 2019 das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) verabschiedet und 2021 novelliert. Laut dem KSG müssen die Treibhausgasemissionen des Verkehrs bis zum Jahr 2030 auf 84 Mio. t CO₂-Äq. sinken – im Vergleich zum Jahr 2019 ist dies fast eine Halbierung (-49 %). Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland laut Klimaschutzgesetz treibhausgasneutral werden, was für den Verkehrssektor voraussichtlich die Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Null bedeutet (vgl. *Bundes-Klimaschutzgesetz*, 2021). Das Umweltbundesamt kritisiert jedoch (Stand 2019), dass „[m]it den derzeit durch die Politik beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen [...] die Treibhausgasemissionen im Verkehr laut aktuellem Projektionsbericht der Bundesregierung bis 2030 auf rund 126 Mio. t CO₂-Äq. gesenkt werden [können]. Damit würde der Verkehrssektor sein Ziel von 84 Mio. t CO₂-Äq. um mehr als 40 Mio. t CO₂-Äq verfehlen. Gleichzeitig werden laut Projektionsbericht auch die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegten Emissionsziele für die einzelnen Jahre bis 2030 überschritten.“

(Lambrecht, 2019) Die Sektorziele, also dass die einzelnen Sektoren wie Verkehr, Landwirtschaft oder Industrie eigene Klimaziele haben, nach denen sie kontrolliert werden, wurden mittlerweile abgeschafft. Trotzdem gilt diese Kritik noch immer (ZDF, 2023).

Gleichzeitig dazu, dass der Verkehrssektor ein Hauptverursacher der Klimakrise ist, ist der Verkehrssektor auch selbst besonders vulnerabel gegenüber den Auswirkungen der Klimakrise. Die Häufigkeit und Schwere von Extremwetterereignissen wie Überschwemmungen, Stürmen und Hitzewellen erhöht sich deutlich durch die Klimakrise (S. Lange et al., 2020). Diese Ereignisse beschädigen oft Verkehrsinfrastruktur und stören oft Verkehrsdienste und können außerdem dazu führen, die Nachfrage nach verschiedenen Verkehrsträgern und die Leistungsfähigkeit der Verkehrssysteme zu verändern wie zum Beispiel eine gesteigerte Nutzung von Pkws und darauffolgende Bildung von Verkehrsstaus bei Regen (Koetse & Rietveld, 2009; Vasile et al., 2012). Der steigende Meeresspiegel kann durch vermehrt auftretende Überschwemmungen und Erosion von Verkehrsinfrastrukturen in Küstennähe, wie Häfen und Flughäfen, führen. Diese Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrssektor sind jedoch nicht nur Probleme der Zukunft, sondern sind bereits spürbar. Deutliche Beispiele für die Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrssektor in Deutschland sind die beschädigten Straßenbeläge (schmelzender Asphalt und rissige Betonplatten) bei der Hitzewelle 2013 (FOCUS, 2013) oder die Flutkatastrophe im Ahrtal 2021, bei der im gesamten Ahrtal Brücken, Straßen, Schienen und andere Verkehrsinfrastrukturen zerstört wurden (Kirschstein, 2021). Die Verkehrswende beinhaltet daher auch die Anpassung an den Klimawandel, indem widerstandsfähigere Infrastrukturen geschaffen werden und alternative Verkehrswege in Betracht gezogen werden. All diese Auswirkungen auf das Verkehrssystem und die Verkehrsinfrastrukturen können dementsprechend auch wirtschaftliche Auswirkungen haben (Koetse & Rietveld, 2009; Vasile et al., 2012).

Der Verkehrssektor und die Klimakrise beeinflussen sich also wechselseitig. Wie dargestellt, gibt es sowohl global als auch national große Potentiale und Vorhaben, die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu senken. Diese Potentiale müssen genutzt werden und der Verkehrssektor muss schnell und umfassend klimaneutraler werden, um gesteckte Ziele, wie das 1,5°-Ziel, einhalten zu können und die globale Klimakrise nicht weiter zu befeuern. Die Veränderungen, die vom Verkehrssektor deshalb gefordert sind, lassen sich unter dem Begriff der Verkehrswende zusammenfassen. Die Verkehrswende ist jedoch nicht nur ein Hebel gegen die Klimakrise, sondern leistet auch einen Beitrag zur Bekämpfung von anderen globalen und lokalen Herausforderungen, wie Umweltverschmutzung, schlechtem Straßenklima, Verkehrsüberlastung und sozialen Ungerechtigkeiten (Din et al., 2023; United Nations, 2021).

2.4 Verkehrswende für lebenswerte Städte

Mobilität und Verkehrsinfrastruktur prägen Städte und den öffentlichen Raum stark und sind besonders wichtig für das Funktionieren der sozialen und ökonomischen Abläufe. Viele Aspekte der aktuellen Verkehrssituation haben jedoch negative Auswirkungen auf die Umwelt, die Gesundheit der Bevölkerung und die soziale Interaktion in Städten, also allgemein auf die Lebensqualität. Die aktuelle Prägung des Verkehrssystems durch den motorisierten Individualverkehr führt zu Verkehrsbelastungen, Lärm- und Luftverschmutzung (Feinstaub, Stickoxide und Schwermetalle), Sicherheitsgefahren sowie zur Zerschneidung des städtischen Raums. Diese Belastungen können zu ernsthaften gesundheitlichen Problemen führen und beitragen wie Atemwegserkrankungen, Herz-

Kreislauf-Erkrankungen und Stress, was bis zum Tod führen kann (Zeeb, 2020). Die stark versiegelte Straßeninfrastruktur hat außerdem negative Einflüsse auf das Stadtklima durch das dementsprechende Fehlen von Versickerungsflächen und einem daraus folgenden hohen Überschwemmungsrisiko. Ein weiterer Nachteil der meist dunklen, versiegelten Straßenoberfläche ist der städtische Wärmeinseleffekt (auf Englisch „Heat Island“-Effekt genannt), der dafür sorgt, dass es in Städten meist wärmer ist, als im Umland (bis zu 10°C Differenz) was zu Hitzestress führen kann (Deutscher Wetterdienst, 2023). Dieser Effekt verstärkt sich durch die Klimakrise, wie im vorigen Kapitel beschrieben. Eines der Hauptziele für die Verkehrswende, vor allem in Städten, ist es deshalb, die Lebensqualität zu fördern, die aktuell vor allem unter dem hohen Anteil von motorisiertem Individualverkehr (MIV)⁴ aus den genannten Gründen leidet. Durch die Reduktion des MIV in Städten und die Verlagerung der Mobilität auf andere Verkehrsmittel mit einem gleichzeitigen Umbau der Stadtlandschaft, soll die Teilhabe an der Stadt für alle verbessert werden, indem gesunde und erschwingliche Mobilität gefördert, Emissionen reduziert und körperliche Bewegung unterstützt werden. Ein Aspekt davon ist auch die Reduzierung der Kfz-Verkehrsflächen, was Raum für Begegnung, Grünflächen und attraktivere Straßenräume schaffen kann und sich positiv auf Menschen, Stadtumwelt und Wirtschaft auswirkt (vgl. Koopmann, 2018b).

Durch Eigenschaften, wie hohe Bevölkerungsdichte, starken Luft- und Lärmverschmutzungen, Platzknappheit, dichte Siedlungsstruktur, hohe Multimodalität und oft stärkeres Bewusstsein für Nachhaltigkeitsaspekte sind Städte besonders geeignet für eine Verkehrswende durch kurze Distanzen und große Bündelungseffekte und haben gleichzeitig besonderen Bedarf einer Verkehrswende (Din et al., 2023; Medina-Molina et al., 2022; Sultan et al., 2016). Veränderungen bezüglich der Verkehrsplanung wirken sich dann auf komplexe Weise auf den städtischen Raum und dementsprechend die Lebensqualität der Menschen und die Umwelt aus (vgl. Giles-Corti et al., 2020; Litman & Burwell, 2006).

2.5 Verkehrswende und soziale Gerechtigkeit

Aus unterschiedlichen Perspektiven der sozialen Gerechtigkeit gibt es Kritikpunkte am aktuellen Verkehrssystem. In diesem Unterkapitel werden deshalb die Konzepte Zugangsgerechtigkeit, Flächengerechtigkeit und Umweltgerechtigkeit vorgestellt und daraus abgeleitet, warum die Mobilitätswende auch aus einer Gerechtigkeitsperspektive notwendig ist.

Zugangsgerechtigkeit betont, dass, wie in der Definition dargelegt, Mobilität ein Grundbedürfnis von Menschen in der modernen Gesellschaft ist. Mobilität sollte deshalb allen Menschen selbstbestimmt und nachhaltig möglich sein (Canzler, 2013). Aktuell können in Deutschland jedoch nicht alle Menschen selbstbestimmt mobil sein, was in der Wissenschaft unter dem Begriff Mobilitätsarmut gefasst wird (vgl. Daubitz, 2011, 2016; Peiseler et al., 2020). Aspekte, die dabei eine Rolle spielen sind die Erreichbarkeit von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastrukturen (Führerschein, Auto(nicht)besitz, (Nicht-)Vorhandensein von ausreichendem öffentlichen Verkehr (ÖV) etc.), Zugänglichkeit von Infrastrukturen (z.B. Rollstuhlzugänglichkeit, Sehbehindertenleitsystem, Fähigkeiten wie Führerschein oder Fahrradfahren), Erschwinglichkeit (Kosten für Autobesitz oder den öffentlichen Verkehr),

⁴ Definition MIV: „Als Motorisierter Individualverkehr (kurz: MIV) werden alle Kraftfahrzeuge bezeichnet, die individuell genutzt werden. Das heißt, dass die Verkehrsteilnehmenden die Strecke, Art und Zeit der Fortbewegung selbst bestimmen können. Hierzu gehören Autos und Motorräder“ (hamburg.de GmbH & Co. KG, 2023).

Sicherheit (Gefahren im öffentlichen Raum, auf den Straßen und im ÖPNV sowohl durch soziale Faktoren wie Rassismus, Queerfeindlichkeit, Sexismus und Ableismus, aber auch durch unsichere Infrastrukturen wie beispielsweise unzureichende Verkehrsberuhigung vor Schulen oder unzureichende Radverkehrsinfrastruktur). Diese Aspekte sind eng verwoben mit dem sozioökonomischen Status beziehungsweise mit Benachteiligungsdimensionen, wie ökonomischer Status (Lucas, 2012) und Behinderung (Waite & Harada, 2023). Aus dieser Perspektive sollte das Verkehrssystem verändert werden hin zu einem sozialeren, inklusiveren, zugänglicheren und sichereren System (vgl. Daubitz, 2011, 2016; Peiseler et al., 2020; Waite & Harada, 2023).

Flächengerechtigkeit betrachtet die Frage, für wen und was welche Flächen bereitstehen. Die aktuelle Flächenverteilung im Straßenraum liegt laut einer Untersuchung von Creutzig et al. (2020) in Berlin bei 60% für den fahrenden und ruhenden MIV, 6% für den Radverkehr, 30% für den Fußverkehr und 4% für den ÖPNV. Die Forscher*innen untersuchten diese Verteilung nach 14 Zuteilungsmechanismen. Die Ergebnisse zeigen, dass der aktuelle Zustand nach allen 14 nicht als gerecht bezeichnet werden kann, sondern dem MIV überproportional viel Fläche zusteht. Aus der Perspektive der Flächengerechtigkeit ist deshalb eine Umverteilung des Straßenraumes im Sinne einer Verkehrswende geboten (Creutzig et al., 2020).

Die dritte Gerechtigkeitsdimension ist die der Umweltgerechtigkeit. Wie bereits dargestellt, hat der Verkehrssektor Auswirkungen auf die Umwelt, sowohl auf globaler Ebene (Kapitel 2.3) als auch auf lokaler Ebene (Kapitel 2.5). Auf beiden Ebenen sind die Auswirkungen negativen Einflüsse jedoch nicht gerecht verteilt, weder gleichmäßig noch nach dem Verursacher*innenprinzip (vgl. Dieckmann, 2013; Elvers, 2011). Auch aus der Perspektive der Umweltgerechtigkeit wird deshalb ein umweltfreundlicheres und inklusiveres Mobilitätssystem gefordert (vgl. Sheller, 2018).

Neben den ökologischen und städtebaulichen Aspekten ist deshalb auch die soziale Gerechtigkeit ein zentraler Faktor bei der Verkehrswende. Es ist wichtig, soziale Ungerechtigkeiten im Verkehrssektor anzuerkennen und Maßnahmen zu ergreifen, um eine gerechte und selbstbestimmte Mobilität für alle Bevölkerungsgruppen zu gewährleisten und die negativen Effekte des Verkehrssystems zu minimieren und gerecht(er) zu verteilen (vgl. Cervero & Duncan, 2003; Schweitzer & Valenzuela, 2004; Verbeek, 2018). Dies erfordert eine stärkere Integration sozialer Aspekte in die Planung von Verkehrsinfrastrukturen. Eine sozial gerechte Verkehrswende kann dazu beitragen, soziale Ungleichheiten zu verringern und eine inklusive und gerechte Stadtentwicklung zu fördern (Sheller, 2018).

3 Mobilität und Verkehrswende in Berlin

Diese Forschung behandelt Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in Berlin. Deshalb ist eine Betrachtung des Berliner Mobilitätssystems und des politischen und rechtlichen Rahmens der Berliner Mobilitätswende sinnvoll. Im folgenden Kapitel wird demnach zuerst auf diese beiden Themen eingegangen.

3.1 Mobilität in Berlin

Berlin ist die deutsche Hauptstadt mit 3,85 Millionen Einwohner*innen (Stand 31.12.2022) (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2023b) auf einer Fläche von 891 km² (Der Regierende Bürgermeister von Berlin & Landesregierung Brandenburg, 2023) (Einwohner*innendichte: 4.322 Einwohner*innen/km²). Das Berliner Mobilitätssystem ist geprägt von einer Vielzahl von Verkehrsmitteln und einer hohen Verkehrsnachfrage. Der Modal Split in Berlin ist je nach Quelle 27% bzw. 30 % Fußverkehr, 15% bzw. 18% Fahrradverkehr 34% bzw. 26% MIV und 25% bzw. 27% ÖPNV (Ermes et al., 2020, S. 41; Gerike et al., 2019, S. 4). In Sachen nachhaltiger Mobilität ist Berlin damit führend unter den größten Städten Deutschlands, laut mehreren Rankings von Agenturen und Strategieberatungen und weltweit im oberen Mittelfeld in den Bereichen Reifegrad, Innovationskraft und Leistungsfähigkeit (Audenhove et al., 2018; urbanista - Creating the Future City, 2017)^{5,6}. Jedoch gibt es laut diesen Quellen noch deutliches Verbesserungspotential. Für die Mobilitätssituation allgemein werden vor allem zwei Punkte angegeben: CO₂-Ausstoß und Verkehrsunfälle. In Sachen CO₂-Ausstoß pro Kopf liegt Berlin mit 5,6 Tonnen unter den Werten von anderen deutschen Städten (urbanista - Creating the Future City, 2017). Im weltweiten Vergleich ist dieser Wert jedoch dennoch hoch (Audenhove et al., 2018).

Die Verkehrsunfallstatistik ist sowohl im globalen sowie im nationalen Vergleich hoch. Im Zeitraum 2015 bis 2022 sind jährlich jeweils zwischen 34 und 56 Menschen im Verkehr tödlich verunglückt und zahlreiche weitere nicht-tödliche Verkehrsunfälle dokumentiert worden (Polizei Berlin, 2023). Berlin verzeichnet außerdem überdurchschnittlich viele Verkehrsunfälle, bei denen Fußgänger und Radfahrer betroffen sind und Verletzungen erleiden oder sogar ums Leben kommen (urbanista - Creating the Future City, 2017).

3.1.1.1 ÖPNV

Die Stadt verfügt über ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrsnetz, das aus U-Bahnen, S-Bahnen, Straßenbahnen und Bussen besteht. Der öffentliche Nahverkehr wird von den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) betrieben und bietet eine weitreichende Abdeckung der Stadt. Die Berliner U-Bahn ist mit 9 Linien und 175 U-Bahnhöfen das Rückgrat des öffentlichen Verkehrs in der Stadt und verbindet die verschiedenen Stadtteile miteinander (Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2023). Die S-Bahn ergänzt mit 22 Linien das U-Bahn-Netz und bietet Verbindungen in die umliegenden Vororte und das Umland von Berlin (Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2023). Es existieren einige Neubau- und Sanierungsprojekte des ÖPNV (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt

⁵ In der Studie von urbanista - Creating the Future City (2017) wurden die vierzehn größten deutschen Städte untersucht: Berlin, Hamburg, München, Köln, Frankfurt am Main, Stuttgart, Düsseldorf, Dortmund, Essen, Leipzig, Bremen, Dresden, Hannover und Nürnberg.

⁶ In der Studie von Audenhove et al. (2018) wurden insgesamt 84 Städte weltweit untersucht, davon 5 deutsche Städte: Berlin, München, Frankfurt am Main, Stuttgart, Hannover.

Berlin, 2023b) und die Berliner Busflotte für die 154 Linien (Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2023) soll bis 2030 komplett elektrifiziert werden (Berliner Verkehrsbetriebe, 2022).

Laut urbanista - Creating the Future City (2017) wird in keiner der analysierten deutschen Städte der öffentliche Verkehr so intensiv genutzt wie in Berlin, wo je nach Quelle 25% (Ermes et al., 2020) beziehungsweise 27% (Gerike et al., 2020) der Wege damit zurückgelegt werden. Die Forscher*innen bemerken aber, dass vor allem im westlichen Teil der Stadt, durch den Rückbau des Schienenverkehrs während der Teilung Berlins zwischen Ost- und Westberlin, noch Lücken in der Abdeckung bestehen. Im globalen Vergleich existiert nach Audenhove et al. (2018) ein deutliches Verbesserungspotential in Sachen Taktung und Abdeckung der öffentlichen Verkehrsmittel.

3.1.1.2 Fahrradverkehr

Neben dem öffentlichen Verkehr gibt es in Berlin auch ein ausgebautes Fahrradwegenetz und zahlreiche Fahrradverleihsysteme. Das Fahrrad wird von vielen Berliner*innen genutzt mit einem Modal Split Anteil von 15% (Ermes et al., 2020) bzw 18% (Gerike et al., 2020) je nach Quelle. Die Stadt hat viele aktuelle Radverkehrsprojekte (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin, 2023c). Vor allem durch die COVID-19-Pandemie hat Berlin 2020 und 2021 durch Pop-up-Radwege⁷ große Fortschritte gemacht im Ausbau der Fahrradinfrastruktur (Becker et al., 2022). urbanista - Creating the Future City (2017) identifiziert im Bereich Bike-Sharing ein großes Potential für Verbesserung. Es gäbe vergleichsweise wenige Stationen mit einer begrenzten Anzahl von Rädern.

3.1.1.3 Fußverkehr

Obwohl die Stadt über ein gut ausgebautes Netz von Gehwegen verfügt, gibt es immer noch Bereiche, in denen die Fußgängerinfrastruktur nicht ausreichend und barrierefrei ist. Engstellen, fehlende barrierefreie Zugänge, lange Wartezeiten an Ampeln und mangelnde Sitzgelegenheiten können den Komfort und die Sicherheit für Fußgänger*innen beeinträchtigen. Es besteht somit noch Raum für Verbesserungen, um den Fußverkehr in Berlin sicherer und attraktiver zu gestalten, vor allem da der Fußverkehr einen der größten Anteile am Modal Split besitzt mit 27% (Ermes et al., 2020) beziehungsweise 30% (Gerike et al., 2020) je nach Quelle (vgl. FUSS e.V. Fachverband Fußverkehr Deutschland, 2023).

3.1.1.4 MIV

In Berlin spielt der motorisierte Individualverkehr eine wichtige Rolle mit einem Anteil am Modal Split von 34% (Ermes et al., 2020) beziehungsweise 26% (Gerike et al., 2020) je nach Quelle. Die Stadt verfügt über ein dichtes Straßennetz und mehrere Autobahnen, die eine gute Anbindung an das Umland und andere Städte ermöglichen. Allerdings ist der Straßenverkehr in Berlin oft stark belastet, insbesondere zu Stoßzeiten, was zu Staus und Verkehrsproblemen führen kann. In den letzten Jahren hat Berlin Carsharing-Dienste und Elektromobilität gefördert, was jedoch die Straßenbelastung durch motorisierten Individualverkehr nicht ausreichend verringert. Dennoch steht Berlin an einem guten Ausgangspunkt für eine Mobilitätswende, da Berlin im Vergleich zu anderen deutschen Großstädten eine niedrigere Autodichte hat (urbanista - Creating the Future City, 2017). Die Stadt bemüht sich für

⁷ Ein Pop-up-Radweg ist ein „unter bestimmten Rahmenbedingungen (etwa in Gefahren- und Krisensituationen) kurzfristig, häufig provisorisch und meist nicht auf Dauer angelegter bzw. verbreiteter Fahrstreifen für den Radverkehr“ (DWDS, 2020).

eine nachhaltige Mobilität, den MIV-Anteil zu reduzieren durch Push- und Pull-Maßnahmen (vgl. z.B. Senatsverwaltung Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2021).

3.1.1.5 Herausforderungen

Berlin steht vor großen Herausforderungen für die Zukunft und für eine Mobilitätswende. Einige davon sind: die Bewältigung des steigenden Verkehrsaufkommens, die Verbesserung der Verkehrssicherheit, die Reduzierung von Umweltauswirkungen wie Luftverschmutzung und Lärmbelastung usw. (vgl. Senatsverwaltung Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2021).

Diese Herausforderungen sind auch den Einwohner*innen bekannt und viele organisieren sich in Bürger*inneninitiativen und aktivistischen Gruppen, um Einfluss zu nehmen auf das Mobilitätssystem in Berlin, wie Changing Cities, der ADFC Berlin, der Volksentscheid Berlin autofrei, die Bezirksgruppen des FUSS e.V., die Kiezblock-Initiative und viele mehr.

3.2 Verkehrswende in Berlin

Berlin steht, wie viele europäische Großstädte vor der Herausforderung einer sozial ökologischen Verkehrswende. Vor allem mit dem Mobilitätsgesetz 2018 hat Berlin wichtige Schritte unternommen, um diesen Weg zu beschreiten. Seitdem hat sich viel verändert, jedoch zeigt sich in Berlin auch, dass die Umsetzung der Mobilitätswende langwierig und komplex sein kann. Die Stadt steht vor Herausforderungen wie begrenztem Raum, Veränderungswiderständen in der Bevölkerung und der Notwendigkeit, die Verkehrsinfrastruktur umzugestalten. Dennoch ist der politische Wille zur Förderung nachhaltiger Mobilität und einer lebenswerten Stadt erkennbar. Um klimaneutral zu werden, muss die Stadt jedoch weiterhin ambitionierte und konsequente Maßnahmen ergreifen, um den Ansprüchen einer modernen und nachhaltigen Großstadt gerecht zu werden (Sander, 2020).

Die Koalition aus SPD, Die Linke und Bündnis 90/Die Grünen in Berlin hatte in ihrem Koalitionsvertrag für die Amtsperiode 2016-2021 als auch für die Amtsperiode 2021-2026 die Förderung einer nachhaltigen Mobilität als vorrangiges Ziel festgelegt. Dieses Vorhaben zielte darauf ab, eine umweltverträgliche, integrierte Infrastruktur zu schaffen, die allen Bürgern eine gleichberechtigte Mobilität ermöglicht (vgl. SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschlands et al., 2016, 2021). Nach der Wiederholungswahl 2023 und der Koalitionsbildung von SPD und CDU, hat sich in der Zielsetzung der Mobilitätswende oberflächlich nichts geändert. Wie, wann und wo genau eine Mobilitätswende umgesetzt werden soll, hat sich jedoch verändert: Der aktuelle Senat unter der Leitung einer Koalition von CDU und SPD betont, dass die Mobilitätswende auf „ein Miteinander und nicht auf ein Gegeneinander“ im Verkehr setzen soll (CDU - Christlich Demokratische Union Deutschlands & SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschlands, 2023, S. 55). So gibt es nach dem Regierungswechsel 2023 zu schwarz-rot einen Richtungswechsel in der Mobilitätspolitik, den manche nicht zu Unrecht als Rückschritt bezeichnen würden (vgl. Krampitz, 2023; Prengel, 2023b; Walther, 2023). Vor allem die Verkündigung des „Radwegestopps“ von der Verkehrssenatorin Manja Schreiner im Juni 2023 sorgte für Diskussionen und Proteste rund um die Umsetzung des Mobilitätsgesetzes („Baustopp für Radwege in Berlin“, 2023; „Radwegestopp?“, 2023; „Sobald ein Auto-Parkplatz wegfällt“, o. J.). Wie das Thema Mobilitätswende sich politisch und gesellschaftlich weiterentwickelt, ist den aktuellen Ereignissen nach deshalb abzuwarten.

3.2.1.1 Das Berliner Mobilitätsgesetz 2018

Als Reaktion auf den Volksentscheid Fahrrad und zur Umsetzung der Ziele des damaligen Koalitionsvertrags wurde 2018 das Berliner Mobilitätsgesetz (MobG BE) entwickelt, das erstmals die Verkehrsentwicklung im Sinne einer Verkehrswende regelt. Der Prozess zur Erarbeitung des Gesetzes erfolgte in Zusammenarbeit mit einem Mobilitätsbeirat, der Vertreter von zivilgesellschaftlichen Organisationen, Verwaltungsmitarbeiter aus den Bezirken und dem Senat sowie politische Vertreter aus dem Abgeordnetenhaus umfasste (vgl. Berliner Mobilitätsgesetz, 2018). Das Mobilitätsgesetz beinhaltet Abschnitte für den Radverkehr, den Fußverkehr, den Wirtschaftsverkehr und die Neue Mobilität, die teilweise noch entwickelt und verabschiedet werden sollen (vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2020).

Die Ziele und Leitbilder des 2018 in Kraft getretenen Gesetzes werden in § 1 Abs. 1 MobG BE deutlich:

Zweck dieses Gesetzes ist die Bewahrung und Weiterentwicklung eines [...] stadt-, umwelt-, sozial- sowie klimaverträglich ausgestalteten, sicheren, barrierefreien Verkehrssystems als Beitrag zur individuellen Lebensgestaltung und zur inklusiven Lebensraumgestaltung sowie als unverzichtbarer Bestandteil einer funktionierenden zukunftsfähigen Metropolregion. Zweck des Gesetzes ist zudem die Gewährleistung gleichwertiger Mobilitätsmöglichkeiten in allen Teilen Berlins. Damit soll für alle Personen die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben abgesichert werden. (§ 1 Abs. 1 MobG BE)

Zur Umsetzung der modusübergreifenden Ziele schreibt das Gesetz die Erstellung und regelmäßige Aktualisierung von Planwerken wie eines Verkehrssicherheitsprogramms vor (vgl. § 16–19 MobG BE). Die moduspezifischen Ziele des Mobilitätsgesetzes werden in separaten Abschnitten konkretisiert. Für den Radverkehr sieht das Gesetz beispielsweise vor, dass eine verkehrssichere Infrastruktur geschaffen werden soll, die regelkonformes Verhalten fördert und erwartet. Es sollen unter anderem Maßnahmen ergriffen werden, um gefährliche Knotenpunkte umzugestalten und umzubauen. Des Weiteren sollen Flächen für Fußgänger*innen, Radfahrer*innen, den Nahverkehr und Lieferverkehr sollen freigehalten und überwacht werden, um Behinderungen und Gefährdungen zu vermeiden (vgl. § 21–22 MobG BE).

Auch die soziale Gerechtigkeit wird im Mobilitätsgesetz beachtet. So soll laut § 3 Nr. 3 MobG BE „Mobilität in Berlin [...] bezogen auf die wesentlichen Wegezwecke [...] unabhängig von Alter, Geschlecht, Einkommen und persönlichen Mobilitätsbeeinträchtigungen, sowie von Lebenssituation, Herkunft oder individueller Verkehrsmittelverfügbarkeit gewährleistet werden.“ Damit stellt das Berliner Mobilitätsgesetz einen wichtigen, gesetzlichen Pfeiler der zukünftigen Entwicklung des Verkehrs in der Hauptstadt dar.

3.2.1.2 Der Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr (StEP MoVe) 2021 und Mobilitätsprogramm 2023

Der Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr (StEP MoVe) verfolgt das Ziel, die Verkehrswende in der wachsenden Stadt voranzutreiben. Der 2021 verabschiedete Plan ist der Nachfolgeplan des Stadtentwicklungsplans Verkehr von 2011 und ist Teil des größeren Stadtentwicklungsplans Klima 2.0, der Berlin bis 2045 klimaneutral machen soll. Der StEP MoVe definiert Ziele für die Mobilitäts- und

Verkehrsplanung, die wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte umfassen. Diese Ziele betreffen unter anderem die effizientere Nutzung und gegebenenfalls die Erweiterung der Infrastruktur für den Wirtschaftsverkehr, die Förderung der aktiven Mobilität und des Umweltverbunds allgemein, die Raumwirkungen des Verkehrs und die Sicherheit. Der StEP MoVe sieht vor, dass die Verkehrsinfrastruktur politisch und normativ verankert und durch partizipative Prozesse verbessert wird. Für die Stärkung des Umweltverbunds definiert der StEP MoVe das Ziel ab, „im Jahr 2030 ein Modal Split mit einem Anteil des Umweltverbundes von mindestens 82 Prozent (davon 23 Prozent Rad, 30 Prozent Fuß, 29 Prozent ÖPNV) sowie 18 Prozent motorisierter Individualverkehr (MIV)“ zu erreichen (Senatsverwaltung Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2021).

Der StEP MoVe mit strategischen Leitbildern und Zielen enthält ein konkretes Maßnahmenprogramm, was unter anderem das „Mobilitätsprogramm 2023“ miteinschließt, das die vorrangig zu bearbeitenden Maßnahmen enthält. Die Maßnahmen umfassen verschiedene Bereiche wie den Ausbau des öffentlichen Verkehrs, die Förderung des Radverkehrs, die Reduzierung des Autoverkehrs und die Verbesserung der Verkehrssicherheit (Senatsverwaltung Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2021).

3.2.1.3 Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2019 (BEK)

Das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) von 2019 ergänzt die im Mobilitätsgesetz festgelegten Ziele aus Sicht des Klimaschutzes (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2019). Es resultiert aus dem in Kapitel 2.3 genannten Pariser Klimaabkommen von 2015, das das Ziel festgelegt hat, die globale Erwärmung auf 1,5°C zu begrenzen (UNFFC, 2015). Das BEK verpflichtet das Land Berlin, entsprechende Emissionsziele festzulegen und CO₂-Reduktionspotenziale im Verkehrssektor zu ermitteln. Das BEK unterteilt seine Strategien in Maßnahmen des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Im Hinblick auf den Verkehrssektor strebt das BEK eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 77 % im Vergleich zu 1990 an. Das bedeutet, dass der Anteil des Umweltverbundes am Modal Split erhöht und der Anteil des motorisierten Individualverkehrs gesenkt werden soll (vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2019, S. 76). Konkrete Zielwerte wurden für den Anteil des motorisierten Individualverkehrs festgelegt, indirekt ergeben sich daraus Zielwerte für den Umweltverbund (Fuß-, Rad- und öffentlicher Verkehr). Beispielsweise soll der Anteil des motorisierten Individualverkehrs bis 2030 auf 22,5 % und bis 2050 auf 17,0 % reduziert werden, während der Umweltverbund-Anteil entsprechend steigen soll (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2019, tbl. 1).

3.2.1.4 Kiezblockinitiativen

Angeregt durch Superblocks in Barcelona (Scudellari et al., 2020) und ähnlichen Plänen in anderen Städten, haben sich in Berlin viele Bürger*innen in sogenannten Kiezblockinitiativen zusammengefunden (Changing Cities e.V., 2023b). Erklärtes Ziel dieser Initiativen sind die Verkehrsberuhigungen auf den Nebenstraßen innerhalb von Kiezen, die Reduktion von Kfz-Durchgangsverkehr mithilfe von Einfahrts- und Durchfahrtsperren, Einbahnstraßen und Tempolimits. Der Durchgangsverkehr, soll demnach auf das Hauptnetz verlagert werden, was auch der vorgesehenen Nutzung des Haupt- und Nebennetzes entspricht. Das soll jedoch kein komplettes PKW-Verbot bedeuten, sondern stattdessen eine Regulierung des Autoverkehrs, sodass Rettungsfahrzeuge, Müllabfuhr, Lieferverkehr, ÖPNV und andere berechnigte Fahrzeuge weiterhin im Kiezblock Orte erreichen können. Durch die Verkehrsberuhigung soll ein angenehmeres und sichereres Straßenklima

entstehen, was zu Fuß gehen, Rad fahren und im öffentlichen Raum verweilen attraktiver machen soll. Durch die darauffolgende Verlagerung des Verkehrs weg vom MIV hin zum Umweltverbund, sollen Autoflächen frei werden, die umgenutzt werden können z.B. als Spielplatz, Grünfläche oder als Platz für Fuß und Fahrradverkehr. Im Anbetracht der Klimakrise und vermehrten Starkwetterereignissen können Teile dieser Flächen auch entsiegelt werden um mehr Versicherungsflächen zu erhalten, welche Überschwemmungen vorbeugen und Trockenzeiten puffern können. Ein weiterer Aspekt, der sich von Kiezblocks erhofft wird ist eine Verbesserung der Luft- und Lärmbelastung innerhalb des Blocks (vgl. Changing Cities e.V., 2023b).

Die Senatsverwaltung von Berlin verfolgt bzw. verfolgte die Idee der Kiezblocks und der Verkehrsberuhigung innerhalb von Kiezen und veröffentlichte im Juni 2023 einen *Leitfaden zur Verkehrsberuhigung in Kiezen* (2023).⁸ Die Stadt beschreibt dabei Kiezblocks als „Bestrebungen, Wohnquartiere lebenswerter zu machen, indem die Verkehrsbelastung reduziert, der öffentliche Raum für den Aufenthalt aufgewertet und an den Klimawandel angepasst wird“ (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Abteilung Verkehr, 2023, S. 4). Kiezblocks werden dabei ganz konkret als Beitrag zu den Anpassungen an den Klimawandel und zur Mobilitätswende genannt, weshalb sie durch die Ziele des MobG BE gestützt sind.

Diese positiven Effekte für die Lebensqualität, Verkehrssicherheit und das Stadtklima sind vielversprechend. Aus Umweltgerechtigkeitssicht ergeben sich jedoch einige Fallstricke der Kiezblocks. Ein mögliches Problem, was auftauchen kann ist eine Verschlechterung der Verkehrssituation auf dem Hauptstraßennetz, wenn aller Verkehr von den Nebenstraßen auf die Hauptstraßen verlagert würde. Durch die erhöhte Belastung an den Hauptstraßen würden genau die Menschen belastet, die sowieso schon in den eher unattraktiven Hauptstraßenlagen wohnen. Das sind, wie in Kapitel 2.5 genannt, vor allem ökonomisch Schwächere, die somit noch mehr belastet werden und jedoch tendenziell noch weniger Anteil an der Verursachung der Belastungen durch den MIV haben. Deshalb gehen die Forderungen und Pläne zu Kiezblocks mit einem umfassenden Konzept zur Reduktion des MIV einher. Ein weiterer Aspekt, der nicht zu vernachlässigen ist, ist die Gefahr von sogenannter „grüner Gentrifizierung“, da durch die erhöhte Lebensqualität innerhalb der Kiezblocks die Wohnlagen und dementsprechend die Mietpreise steigen können. Deshalb wird eine flächendeckende Einführung von Kiezblocks gefordert (vgl. Cole et al., 2017; Mueller et al., 2020).

⁸ Dieser Leitfaden ist jedoch nach 22 Tagen nicht mehr auf der Webseite verfügbar (Stand 07.08.2023). Es ist zu vermuten, dass der Regierungswechsel 2022 in Berlin und der damit einhergehende Kurswechsel in Sachen Mobilitäts- und Stadtpolitik zur Depublizierung geführt haben (vgl. *Die Depublizierung der Verkehrswende*, 2023).

4 Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung

Die mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung ist eine wichtige Methode der Verkehrsmodellierung, die es ermöglicht Entscheidungsprozesse von Individuen in Bezug auf das Verkehrsverhalten darzustellen. Der Begriff „mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung“ besteht aus mehreren Teilen, die im Folgenden erklärt werden. Danach wird beschrieben, wie und für was die Modelle genutzt werden und welche Vor- und Nachteile diese Methode hat.

4.1 Erklärung Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung

Ein „Modell“ beziehungsweise „Modellierung“ bedeutet in diesem Kontext eine mathematische Darstellung eines realen Prozesses oder Systems - in diesem Fall des Verkehrssystems. Ein „System“ beschreibt dabei Objekte, die miteinander in Beziehung stehen durch Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. In der Verkehrsmodellierung sind das unter anderem Personen, Haushalte, Fahrzeuge und Verkehrsanlagen. Ein Modell bezieht sich immer auf einen bestimmten Bereich des Systems, die Systemumwelt, und hat eine bestimmte Problemstellung. Die „Systemumwelt“ beschreibt den Teil der realen Welt, der im Modell abgebildet beziehungsweise modelliert werden soll. In der Verkehrsmodellierung bedeutet das (1) eine räumliche Festlegung des Untersuchungsgebiets und (2) eine inhaltliche Abgrenzung der Wirkungszusammenhänge, die betrachtet werden sollen (z.B. soll das Wetter in einem Verkehrsmodell mit betrachtet oder ausgelassen werden?). Die Abgrenzung der Systemumwelt steht daher im direkten Zusammenhang mit der Problemstellung des Modells und dem Erkenntnisinteresse. Das ist notwendig, um die Komplexität der Welt auf ein handhabbares Maß reduzieren zu können. Der „Systemzustand“ beschreibt den Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt, also beispielsweise die Position aller Personen und Verkehrsmittel in einer bestimmten Sekunde. „Simulation“ beschreibt die Entwicklung des Modells im Laufe der Zeit. Wie oben genannt stellt das Modell Objekte und Aktionen in der Systemumwelt dar. „Objekte“ sind dabei dargestellt durch Eigenschaften und Zustände. So besitzt beispielsweise das Objekt einer Straße u.a. die Eigenschaften „Länge“, „Spuranzahl“, „Geschwindigkeitsbegrenzung“ und Zustände zu einem bestimmten Zeitpunkt, die sich durch die Interaktion mit anderen Objekten ergeben, wie beispielsweise die Verkehrsstärke. „Aktionen“ bezeichnen alle Vorgänge, die Änderungen im System bewirken (vgl. Friedrich et al., 2019).

„Verkehrsnachfrage“ beschreibt das Durchführen von Ortswechseln von Personen oder Gütern für Aktivitäten mit einem bestimmten Verkehrsmittel. Der Bedarf, Ortswechsel für Aktivitäten durchzuführen, wird dabei Verkehrsbedarf⁹ genannt. Die Verkehrsnachfrage ist abhängig vom Verkehrsangebot, also welche Verkehrsmittel zu einer bestimmten Zeit zur Verfügung stehen. Die Verkehrsnachfrage ist außerdem abhängig von der Bevölkerungsstruktur, der Flächennutzungsstruktur und der Wirtschaftsstruktur, da diese Strukturen den Verkehrsbedarf (und die Verkehrsnachfrage)

⁹ An sich ist zu bemerken, dass Verkehr an sich (fast) immer nur „Mittel zum Zweck“ und nicht Auslöser ist. Der Begriff „Verkehrsbedarf“ kann deshalb kritisch gesehen werden, weil kein Bedarf an Verkehr an sich existiert (mit Ausnahmen). So entsteht Verkehr aus Bedürfnissen, die einen Aktivitätenbedarf nach sich ziehen, der dann zu einer Aktivitätennachfrage und dann zu Ortsveränderungen, also einer Verkehrsnachfrage führt (vgl. Friedrich et al., 2019).

beeinflussen. „Personenverkehrsnachfrage“ beschreibt demnach die Verkehrsnachfrage von Personen in Abgrenzung von der von Gütern (vgl. Kirchhoff, 2002).

„Mikroskopisch“ bedeutet in Abgrenzung von „makroskopisch“ und „mesoskopisch“, dass eben diese Modelle Verhaltensentscheidungen auf dem individuellen Niveau betrachten und Entscheidungen und Verhalten nicht aggregiert darstellen. Das bedeutet auch, dass das Verkehrsnetz in einem sehr hohen Detailgrad vorliegt und dass beispielsweise einzelne Fahrstreifen und Steuerung von Lichtsignalanlagen im Modell abgebildet werden. Demnach wird die Systemumwelt mit sehr hoher Auflösung dargestellt im Vergleich zu makroskopischen Modellen, die Objekte auf einem höheren Aggregationsniveau betrachten (vgl. Friedrich et al., 2019).

Die mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung stellt damit für ein räumliches Untersuchungsgebiet - oft eine Stadt, eine Region oder ein Land - das Verkehrssystem und einzelne Haushalte und Personen und ihre Entscheidungsprozesse dar. Die Modelle sollen menschliches Verhalten reproduzieren. Das bedeutet, dass Individuen mit ihren Wahrnehmungen, Vorlieben und Gewohnheiten abgebildet werden sollen. Diese Individuen werden auch als Agent*innen bezeichnet. Des Weiteren soll die Wahl der Agent*innen zwischen Alternativen mit den realistischen Einschränkungen wie Unsicherheit, Informationsmangel sowie zeitlichen und finanziellen Einschränkungen abgebildet werden. Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle sind deshalb unter die Kategorie der agent*innenbasierten Modelle zu fassen (englisch: agent-based models; ABM¹⁰) (vgl. Friedrich et al., 2019).

Die Modelle umfassen unterschiedliche Komponenten: Eine räumliches Abbild des Untersuchungsgebiets oder eines größeren Gebiets mit der Siedlungsstruktur, Aktivitätenorten und mit genauen Verkehrsnetz und den Funktionsweisen von unterschiedlichen Infrastrukturen; eine synthetische Bevölkerung (Personen und Haushalte), die die Bevölkerung des Untersuchungsgebiets statistisch akkurat darstellen soll; Aktivitäten und Tagespläne, die die Personen durchführen und Entscheidungsprozesse der Agent*innen in Bezug auf ihr Verkehrsverhalten. Ergebnisse der mikroskopischen Personenverkehrsnachfragemodellierung sind Nachfragematrizen, die einzelne Wege der synthetischen Bevölkerung und die zugehörige Kenngrößen, wie Modus, Reisezeit, Reisekosten und Umsteigehäufigkeit dokumentieren (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1 Räumliches Abbild

Das räumliche Abbild der Welt im Modell umfasst das Untersuchungsgebiet, kann jedoch je nach Erkenntnisinteresse auch einen weiteren Raum umfassen (Außenraum), um eventuelle Interaktionen des Untersuchungsgebiets mit der Umwelt darstellen zu können. Das Untersuchungsgebiet kann außerdem in zwei Bereiche unterteilt werden bei Simulationen, die Maßnahmen untersuchen: Der

¹⁰ Agent*innenbasierte Modelle (ABM) sind eine Art von Modellierung, die sich auf die Interaktionen und das Verhalten einzelner Akteur*innen, wie Menschen oder Organisationen, konzentriert. Im Gegensatz zu anderen Modellierungsansätzen, die das gesamte System als Ganzes betrachten, fokussieren ABMs auf das Verhalten der individuellen Agenten und deren Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung. Durch die Interaktion der einzelnen Agenten kann sich emergentes, komplexes Verhalten auf Systemebene entwickeln, das mit anderen Modellierungsansätzen schwer zu erfassen wäre. Dies ermöglicht die Simulation von komplexen, heterogenen Systemen, in der die Vielfalt der Agent*innen und ihrer Entscheidungsprozesse bottom-up berücksichtigt werden kann (vgl. Railsback & Grimm, 2012).

Planungsraum, in dem die Maßnahmen analysiert werden sollen und der Einflussraum, in dem Wirkungen der Maßnahmen erwartet werden (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.1 Netzmodell

Teil des räumlichen Abbilds ist das Netzmodell, auch „Datenmodell Verkehrsangebot“ genannt, was die räumliche und zeitliche Struktur des Verkehrsangebots für das Untersuchungsgebiet abbildet. Für mikroskopische Modelle ist ein hoher Detailgrad im Netzmodell notwendig. Die Basiselemente des Netzmodells sind Knoten, Haltestellen, Strecken, Linien, Abbieger und Verkehrszellen mit ihren jeweiligen verkehrsspezifischen Attributen. Das Modell enthält pro Objekt die notwendigen Informationen über die Geometrie des Netzes und die Bewertung von Objekt mit ihren Widerstandseigenschaften (Zeitaufwand, Kosten, Restriktionen) (vgl. Friedrich et al., 2019).

Um das Verkehrsverhalten über einen Tag oder einen anderen Zeitraum hinweg zu simulieren, verfügt das Netzmodell außerdem über eine Zeitleiste, die zeitabhängige Attribute wie Fahrpläne öffentlicher Verkehrsmittel, Parkplatzverfügbarkeit und Reisezeiten enthalten und moderieren kann (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.2 Knoten

Knoten stellen Kreuzungen jeder Art dar, also auch Einmündungen und Weichen und ggf. auch Haltestellen des ÖPNV. Zwischen Knoten liegen Strecken, auf die gegebenenfalls abgebogen werden darf (siehe Kapitel 4.1.1.6 Abbieger). Knoten sind jeweils eindeutig identifiziert mit Koordinaten und besitzen in mikroskopischen Modellen Informationen sowohl über die Kreuzungstopologie und -geometrie als auch über Lichtsignalsteuerungsanlagen (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.3 Haltestellen

Haltestellen sind ähnlich zu Knoten Punkte, an denen ÖPNV -Linien halten und Fahrgäste aus- und umsteigen können. Zwischen Haltestellen liegen also ÖPNV -Linien und Strecken. Haltepunkte haben genauso wie Knoten genaue Koordinaten und Eigenschaften, wie Topologie und Geometrie, sowie einen Fahrplan oder eine Taktung, verbunden mit den bedienenden Linien (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.4 Strecken

Strecken stellen Straßen, Wege und Schienen dar, auf denen sich Verkehrsmittel und Menschen entlang bewegen können. Strecken verbinden Knoten und / oder Haltepunkte. Sie beschreiben gerichtete Kanten, sind also jeweils in einer Richtung befahrbar und ist durch einen Quellknoten und einen Zielknoten definiert. Jede Strecke hat eigene Eigenschaften, wie Länge, Kapazität, zulässige Modi, zulässige Geschwindigkeit, Fahrzeit pro Modus, Topologie und Geometrie (z.B. Fahrspuren) und evtl. Gebühren je Modus (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.5 Linien

Linien sind ähnlich zu Strecken Kanten, an denen sich liniengebundene ÖPNV-Verkehrsmittel wie Busse und Bahnen entlangbewegen. Linien haben jeweils Quell- und Zielhaltestellen und sind darüber hinaus räumlich durch den Linienweg definiert. Sie besitzen Eigenschaften, wie Fahrplan, Fahrzeit und Fahrspuren/Schienen (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.6 Abbieger

Abbieger beschreiben die Beziehungen, wie und ob an einem Knoten abgebogen werden darf. Abbiegebeziehungen werden durch Quell-, Über- und Zielknoten beschrieben und besitzen Eigenschaften, wie Kapazität, zeitlicher Abbiegezuschlag und zulässige Modi (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.7 Verkehrszellen

In der Verkehrsplanung und -analyse muss der Raum in Gebiete unterteilt werden, um eine in Sachen Rechenaufwand handhabbare Darstellung des Verkehrsnetzes erstellen zu können. So wird der Raum unterteilt in sogenannte „Verkehrszellen“ und gegebenenfalls weiter unterteilt in „Teilverkehrszellen“. Dabei muss diese Unterteilung eine angemessene Granularität besitzen, um ein Gleichgewicht zu finden zwischen Aggregation und Detailtiefe. Diese Granularität orientiert sich an den zu beurteilenden Maßnahmen, an der Struktur der zu dimensionierenden Verkehrsnetze und an der geforderten Genauigkeit der Ergebnisse. Oft existieren öffentliche, administrative Einteilungen von Stadtgebieten in (Teil-)Verkehrszellen (vgl. Friedrich et al., 2019).

Verkehrszellen dienen bei Verkehrsnachfragemodellierungen als Basis für Reisezeitberechnungen, wobei immer nur Reisezeiten zwischen Verkehrszellen modelliert werden können. Die Verkehrszellen sollten somit so klein gewählt werden, dass der Binnenverkehr (siehe Abbildung 4-1) innerhalb der Verkehrszellen für die Planung des Verkehrsnetzes vernachlässigt werden kann (vgl. Wermuth, 2005).

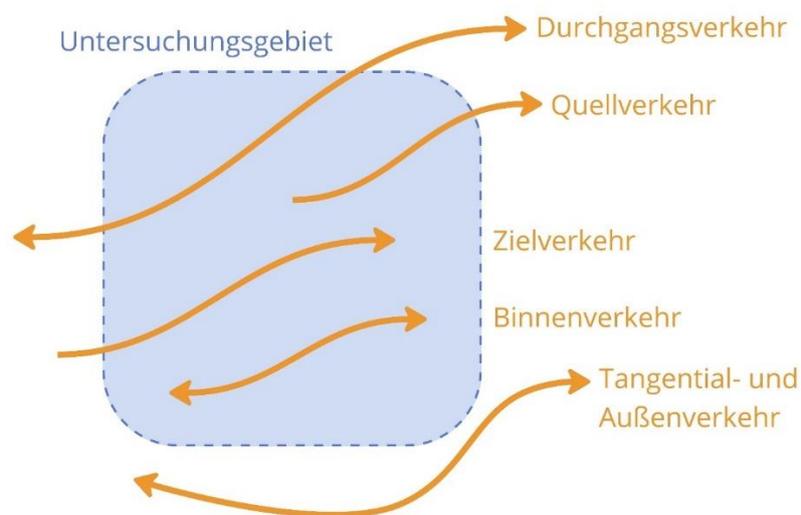


Abbildung 4-1: Verkehrsarten für ein Untersuchungsgebiet.

Durchgangs-, Tangential- und Außenverkehr beschreiben Verkehre, die weder Quell- noch Zielpunkt im Untersuchungsgebiet (UG) haben, wobei die Strecke des Durchgangsverkehrs durch das UG führt im Gegensatz zu Tangential- und Außenverkehr. Quell- und Zielverkehr besitzen jeweils einen Punkt, wie die Namen schon sagen, im UG. Binnenverkehr beschreibt schließlich Verkehr innerhalb des UG, bei dem also sowohl Quell- als auch Zielpunkt im UG liegen (vgl. Friedrich et al., 2019).

Für jede Verkehrszelle ist ein Schwerpunkt definiert, an dem alle Strukturgrößen an ein Verkehrsnetzwerk angeschlossen sind. Alle strukturellen Variablen im Zusammenhang mit der Verkehrsnachfrage, wie z. B. Anzahl und Struktur der Bevölkerung und Beschäftigung, können auf Verkehrszellenaufteilung vorliegen und können mit Verkehrszellen verknüpft werden (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.8 Zugangs- und Abgangszeiten

Jede (Teil-)Verkehrszelle muss über eine sogenannte Anbindung an mindestens einen Knoten beziehungsweise an mindestens eine bediente ÖPNV-Haltestelle angeschlossen sein. Eine Anbindung entspricht einem Zugangs- beziehungsweise einem Abgangsweg, für den eine Zeit und eine Länge angegeben wird. Die Anbindungszeit beschreibt den im Mittel zu erwartenden Zeitbedarf einer Person in einer (Teil-)Verkehrszelle zum Verkehrsmittel. Die Anbindungszeiten können dabei auch Wartezeiten an der Starthaltestelle eines ÖPNV-Weges oder Parksuchzeiten am Ende eines Pkw-Weges umfassen (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.9 Siedlungsstruktur

Der andere Teil des räumlichen Abbilds neben dem Netzmodell ist das Siedlungsmodell, auch Datenmodell Siedlungsstruktur genannt. Das Siedlungsmodell umfasst die Siedlungsflächen, die Einwohner*innendaten differenziert nach unterschiedlichen Eigenschaften (wie z.B. Alter) und die Standortdaten von Aktivitätenorten mit zugehörigen Eigenschaften. Bei mikroskopischen Modellen werden oft Bebauungspläne und Flächennutzungspläne als Datenbasis herangezogen, um einzelne Gebäude und Orte adressgenau im Modell abbilden zu können. Die Siedlungsstrukturdaten können auch auf Verkehrszellen bezogen vorliegen, die dann als Quellen und Ziele von Ortsveränderung die Standorte der jeweiligen Siedlungsstruktur, das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage miteinander verknüpfen (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.10 Aktivitätenorte

Aktivitätenorte (auch „Gelegenheiten“ genannt) sind die Orte im Modell, an denen Aktivitäten durchgeführt werden können, die nicht zu Hause gemacht werden. Diese reichen von den Orten der Daseinsvorsorge über die Lohnarbeitsstellen bis zu Freizeitorten, um alle Orte des alltäglichen Lebens im Modell abbilden zu können. Aktivitätenorte sind charakterisiert durch einen Ort (je nach Detailgrad auf (Teil-)Verkehrszellenebene oder bis zu genauen Adressen/Koordinaten), zugeordnete Aktivitäten, Öffnungszeiten und Kapazitäten, also wie viele Agent*innen gleichzeitig eine bestimmte Aktivität dort ausführen können (es sind auch zeitabhängige Kapazitäten möglich) (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.1.11 Modi

In westeuropäischen Personenverkehrsmodellen wird üblicherweise zwischen vier Verkehrsmodi unterschieden: Zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit öffentlichen Verkehrsmitteln und mit dem motorisierten Individualverkehr (Pkw, Motorräder, Mofa), auch abgekürzt genannt MIV. Der Modus MIV wird teilweise unterteilt in Fahrer*in und Mitfahrer*in. Je nach Modell und Untersuchungsgebiet werden außerdem andere Verkehrsmodi wie Car-Sharing, Taxi, Motorrad, Bike-Sharing, E-Scooter etc. (separat) dargestellt (vgl. Friedrich et al., 2019).

Die unterschiedlichen Modi besitzen jeweils unterschiedliche Eigenschaften, wie zum Beispiel MIV, der in manchen Modellen Passagierkapazität, Größe, Antrieb, Kraftstoff, Emissionen und andere fahrzeugbezogene Eigenschaften, jedoch auch die Bedingung, dass nur Agent*innen mit Führerschein das Fahrzeug führen können, dass ein Parkplatz benötigt wird für das Abstellen und dass ein MIV-Fahrzeug immer für eine Rundreise genommen werden muss, um morgens zu Hause zu starten und schließlich wieder bei einer Agent*in zu Hause am Abend zu landen. Außerdem werden unterschiedliche Modi mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten simuliert und auf unterschiedliche Fahrstreifen zugeordnet. Durch die Kombination dieser Straßenzuordnung der Modi und der

Moduszuordnung im Netz ergeben sich die passenden Kombinationen, sodass beispielsweise keine Fußgänger*innen über die Autobahnen geleitet werden (vgl. Friedrich et al., 2019).

4.1.2 Synthetische Bevölkerung

Mikroskopische Modelle brauchen mikroskopische Daten für alle Komponenten. Für das Verkehrsnetz und die Funktionsweisen der unterschiedlichen Verkehrsmittel sind diese Daten je nach Untersuchungsregion vergleichsweise einfach zu erheben durch die Nutzung von öffentlichen Daten und in Zusammenarbeit mit Verwaltung und Verkehrsbetrieben. Die Nutzung (und Erhebung) mikroskopischer Personendaten ist jedoch oft weder möglich noch erlaubt oder wünschenswert (aus Datenschutzgründen).

Daher arbeiten mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle mit Algorithmen zur Bevölkerungssynthese, also zur Generierung von synthetischen Bevölkerungen abgeleitet aus realen, statistischen Daten. Die Zusammenführung der Informationen aus den Datenquellen gestaltet sich oft als Herausforderung, da verschiedene und heterogene Datenquellen verwendet werden müssen (Schmidt et al., 2017). Synthetische Bevölkerungen stellen die einzelnen Akteur*innen in Form von Haushalten und Haushaltsmitgliedern dar. Die synthetische Bevölkerung soll statistisch der realen Bevölkerung entsprechen um eine möglichst hohe Aussagekraft im Modell zu erreichen. Für jeden Haushalt werden Merkmale wie Haushaltsgröße, Haushaltseinkommen und Autobesitz erstellt. Jede Person wird durch Merkmale wie Alter, Gender, Erwerbsstatus und Fahrradbesitz beschrieben. Die Haushalte werden schließlich auf die Adressen verteilt (gerieselt), sodass eine synthetische Bevölkerung mit ihren Wohnorten erstellt wird (vgl. Moeckel et al., 2003).

Die Erstellung einer synthetischen Bevölkerung wird auch als „Bevölkerungssynthese“ beschrieben. Bevölkerungssynthese bedeutet eine kleine Stichprobe der Bevölkerung zu verarbeiten (z. B. aus einer Erhebung über das Verkehrsverhalten von Haushalten), um ein Modell zu erstellen, aus dem unter bestimmten Annahmen eine vollständige Bevölkerung generiert werden kann (Hörl & Balac, 2021). Der gebräuchlichste Algorithmus ist Iterative Proportional Fitting (IPF). Bei diesem Algorithmus werden jedem Individuum oder Haushalt in der Bevölkerungsstichprobe Gewichte zugewiesen, sodass die gewichtete Bevölkerung vordefinierte Randverteilungen für Alter, Geschlecht, andere Attribute oder eine Kombination davon aufweist (Beckman et al., 1996; Rich & Mulalic, 2012). Da diese Basismethode nicht gleichzeitig die statistischen Verteilungen der soziodemografischen Variablen auf Haushalts- und Individualebene berücksichtigt, wurde das Iterative Proportional Updating (IPU) (Pendyala et al., 2012; Ye et al., 2009) entwickelt, was sowohl Haushalte als auch Individuen berücksichtigt, um Charakteristika sowohl auf Personen- und als auch auf Haushaltsebene abzugleichen.

Nach der Erstellung der synthetischen Bevölkerung werden die Personen zu Personengruppen zusammengefasst. Diese Personengruppen werden gebildet aus empirischen Untersuchungen von Mobilitätsverhalten und individuellen Eigenschaften. Diese Gruppen erlauben jeweils Schlüsse auf das Mobilitätsverhalten. Auf Basis dieser Personengruppenzuordnung werden dann den Agent*innen individuelle Verhaltensmerkmale für das Aktivitäten- und Mobilitätsverhalten zugeordnet (Cyganski et al., 2017).

4.1.3 Mobilitätsverhalten

Mobilitätsverhalten besteht aus vielen, komplexen verkehrsrelevanten Entscheidungen der Individuen und Haushalte im Verkehrssystem. Jarass (2012) diskutiert verschiedene individuelle und strukturelle Aspekte, die dazu beitragen, wie Menschen sich in ihrer Mobilität verhalten. Dabei werden Siedlungsstrukturen, Verkehrssysteme, soziodemografische Faktoren, Lebensstile und Mobilitätsstile als Einflussfaktoren betrachtet:

1. Siedlungsstrukturen: Die räumliche Anordnung von Wohngebieten, Arbeitsplätzen und Freizeitmöglichkeiten beeinflusst das Mobilitätsverhalten. Eine ausgewogene Nutzungsmischung, verträgliche Dichte und hohe Wohnqualität werden als Faktoren für verkehrsvermeidende städtebauliche Konzepte betrachtet.
2. Verkehrssysteme: Die Verkehrssysteme sind eng mit der Siedlungsstruktur verwoben. Verfügbarkeit und Qualität der Verkehrsinfrastruktur, einschließlich Geschwindigkeit, Komfort und Kosten, beeinflussen das Mobilitätsverhalten.
3. Soziodemografische Faktoren: Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit, sozialer Status und Haushaltsstruktur sind wichtige Faktoren, die das Mobilitätsverhalten beeinflussen. Pkw-Verfügbarkeit, Fahrstrecken und Verkehrsmittelwahl sind eng mit diesen Faktoren verbunden. Geschlechtsspezifische Unterschiede und Generationenunterschiede spielen eine Rolle bei der Verkehrsmittelwahl.
4. Lebensstile: Die Wahl des Lebensstils beeinflusst das Mobilitätsverhalten, ist jedoch auch stark verbunden mit soziodemografischen Faktoren. Die zunehmende Individualisierung und Pluralisierung von Wertvorstellungen und Lebensformen hat Auswirkungen auf die tägliche Mobilität.
5. Mobilitätsstile: Das Konzept der Mobilitätsstile erweitert das Konzept der Lebensstile, indem es sich auf mobilitätsspezifische Einstellungen und Verhaltensweisen konzentriert. Verschiedene Mobilitätstypen mit spezifischen Einstellungen zu Mobilität, u.a. zu umweltverträglicher Mobilität existieren, die unterschiedliche Verkehrsverhaltensmuster aufweisen.

Wermuth (2005) betont zusätzlich, dass sowohl strukturelle als auch individuelle Faktoren subjektiv wahrgenommen werden und deshalb sehr individuelle Entscheidungsprozesse das Mobilitätsverhalten schlussendlich gestalten. Diese Entscheidungen können langfristig sein (z.B. Verkehrsmittelschaffung, Wohnortwahl), mittelfristig (z.B. Verkehrsmittelwahl, Routenwahl) oder kurzfristig (z.B. Abbiegeverhalten, Abstandhalten) sein. Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle, welche in dieser Arbeit im Fokus stehen, modellieren nur mittelfristige Entscheidungen (vgl. Friedrich et al., 2019).

Stochastische Entscheidungsmodelle wie sie oft für mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle verwendet werden, gehen deshalb folgerichtig davon aus, dass Personen ihre Entscheidungen auf der Basis unvollständiger Kenntnis und individueller Präferenzen treffen, welche jedoch strukturell bedingt sind. Jede Agent*in wählt die Alternative, die für sie den subjektiv höchsten Nutzen ergibt. Die Wahrscheinlichkeit, mit der deshalb eine Alternative gewählt wird, ergibt sich aus einer

Verteilungsfunktion (vgl. Friedrich et al., 2019). Auf die Moduswahl und die Funktion wird in Kapitel 4.1.3.3 näher eingegangen.

Um die Personenverkehrsnachfrage zu simulieren, sind verschiedene Schritte notwendig, welche jeweils von personenbezogenen (internen) und externen Faktoren beeinflusst werden: Aktivitätenwahl, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl, Abfahrtszeitwahl und Routenwahl. Die Faktoren, die üblicherweise in mikroskopischen Personenverkehrsnachfragemodellierungen berücksichtigt werden sind in Tabelle 4-1 abgebildet. Klassische Verkehrsnachfragemodelle bilden diese Entscheidungen der Agent*innen stufenweise mit Teilmodellen ab. Die Abfahrtszeitwahl wird meist in die Verkehrsmittelwahl oder Routenwahl einbezogen, weshalb sich vier Teilmodelle ergeben. Diese Aufteilung wird in der Verkehrsplanung oft als der "Vier-Stufen-Algorithmus" oder das Trip-Interchange-Modell bezeichnet. An der letzten Stufe dieser Modellabfolge werden die grundlegenden Verkehrsflüsse ermittelt. Wenn diese Verkehrsflüsse, die bestimmte Abschnitte des Verkehrsnetzes abdecken, aggregiert werden, ergibt sich die Verkehrsstärke (Verkehrsbelastung) für diesen Netzabschnitt über sämtliche Verkehrsmittel hinweg. Während es verschiedene Ansätze gibt, die darauf abzielen, die Teilmodelle Zielwahl, Verkehrsmoduswahl und Umlegung in einer einzigen Modellstufe zu vereinen, ist es gängige Praxis, diese Phasen mithilfe eines Rückkopplungsmechanismus zu verknüpfen. Hierbei fließen die aus der Umlegung abgeleiteten Reisezeiten in die Prozesse der Zielwahl und Verkehrsmoduswahl ein (vgl. Friedrich et al., 2019, S. 337).

Tabelle 4-1: Mobilitätsrelevante Entscheidungen, die in einem Personenverkehrsnachfragemodell abgebildet werden und zugehörige Einflussfaktoren, nach Friedrich (2011, S. 4).

Art der Entscheidung	Personenbezogene Einflussfaktoren	Externe Einflussfaktoren
Aktivitätenwahl (Verkehrserzeugung)	Lebensphase (Alter, Berufstätigkeit)	Verteilung der Nutzungen (Aktivitätenorte) im Raum
	Haushaltsstruktur	Attraktivität der Aktivitätenorte
	durchzuführende Aktivitäten	Erreichbarkeit der Aktivitätenorte
Zielwahl	Zweck der Aktivität	Verteilung der Nutzungen (Aktivitätenorte) im Raum
	Kenntnis über mögliche Aktivitätenorte und ihrer Eigenschaften	Attraktivität der Aktivitätenorte
	Pkw-Verfügbarkeit	Erreichbarkeit der Aktivitätenorte
	Führerscheinbesitz	
	Zahlungsbereitschaft und Präferenzen	
Verkehrsmittelwahl / Moduswahl	Zweck der Aktivität	verfügbare Verkehrsmittel
	Pkw-Verfügbarkeit	Parkplatzverfügbarkeit am Zielort
	Führerscheinbesitz	Eigenschaften der Verkehrsmittel (Reisezeit, Kosten, Umsteigehäufigkeit, Komfort, Sicherheit, etc.)
	Zeitpunkt der Fahrt	
	Kenntnis über mögliche Verkehrsmittel und ihrer Eigenschaften	

Art der Entscheidung	Personenbezogene Einflussfaktoren	Externe Einflussfaktoren
	Zahlungsbereitschaft und Präferenzen	
Abfahrtszeitwahl	gewünschte Ankunftszeit	zeitabhängige Reisezeit
	Kenntnis über die zeitabhängigen Eigenschaften einer Ortsveränderung	zeitabhängige Kosten
	zeitliche Flexibilität	
Routenwahl	Kenntnis über mögliche Routen und ihrer Eigenschaften	verfügbare Routen
	Zahlungsbereitschaft und Präferenzen	Eigenschaften der Routen (Reisezeit, Kosten, Umsteigehäufigkeit, etc.)
		Verfügbarkeit von Informationssystemen über die aktuellen Eigenschaften der Routen

Die Aktivitätenwahl, die Zielwahl und die Moduswahl werden vom Wegezweck und den Eigenschaften der Agent*in beeinflusst. Zur Reduktion von Komplexität werden für Verkehrsnachfragemodelle Nachfragegruppen gebildet durch die Kombination von Wegezweck/Aktivitätsbedarf und Personengruppe. Eine Nachfragegruppe kann dabei alle Ortsveränderungen eines Wegezwecks (zur Lohnarbeit), einer Quelle-Ziel-Gruppe (z.B. Wohnen-Lohnarbeiten) oder einer Aktivitätenkette (z.B. Wohnen-Lohnarbeiten-Einkaufen) umfassen, von einer Personengruppe (z.B. Erwerbstätige mit Pkw-Besitz).

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Teilmodelle Aktivitätenwahl, Zielwahl und Verkehrsmittelwahl eingegangen. Die Teilmodelle Abfahrtszeitwahl, Routenwahl werden nicht näher betrachtet, da sie für diese Arbeit nicht von erhöhter Bedeutung sind.

4.1.3.1 Aktivitätenwahl

Die Aktivitätenwahl beruht auf Wegetagebuchdaten und Randsummen über das Mobilitätsverhalten von Personen(gruppen). Das Teilmodell teilt der synthetischen Bevölkerung nach Personengruppen Aktivitäten zu. Daraus kann das Verkehrsaufkommen, sprich die Anzahl der Ortsveränderungen (ohne räumliche und zeitliche Spezifizierungen), die von der Bevölkerung beziehungsweise einer Person in einem bestimmten Bereich durchgeführt werden, berechnet werden. Im Zuge einer Aushäusigkeit werden eine oder mehrere Aktivitäten nacheinander erledigt. Es wird deshalb unterschieden zwischen Aktivitätenketten und daraus resultierende Wegeketten und Einzelwegen. Wenn die Agent*in zwischen aushäusigen Aktivitäten zwischendurch nicht zur Wohnung zurückkehrt (z.B. Wohnen - Lohnarbeiten - Einkaufen - Wohnen), handelt es sich um eine Aktivitätenkette, beziehungsweise Wegekette (vgl. Friedrich et al., 2019, S. 73).

Es können Aktivitäten mit unterschiedlicher Spezifität verwendet und gewählt werden, je nach Modell. Grundsätzlich werden die Aktivitäten jedoch zumindest in die Kategorien Lohnarbeit, Einkaufen und Freizeit eingeteilt.

4.1.3.2 Zielwahl

Bei der Zielwahl werden ausgehend vom Aktivitätenbedarf beziehungsweise von den Aktivitätenplänen die Ziele zu den Aktivitäten zugeordnet. Das wird oft auf Zellniveau modelliert, sodass der Aktivitätenbedarf (z.B. Lohnarbeit) in einer Quellzelle auf die möglichen Zielzellen verteilt wird. Diese Zuordnung hängt von unterschiedlichen Faktoren ab:

- Eigenschaften der Quellzelle: Die Eigenschaften der Quellzelle, zum Beispiel die Zahl der Agent*innen, die Lohnarbeit machen sollen, bestimmen das produzierte Verkehrsaufkommen.
- Eigenschaften der Zielzelle: Die Eigenschaften der Zielzelle, zum Beispiel die Zahl der Arbeitsplätze, bestimmen das angezogene Verkehrsaufkommen.
- Wegezweck/Aktivität: Der Zweck des Weges, beeinflusst ebenfalls die Zielwahl, abhängig davon, welche Aktivität dort ausgeführt werden kann.
- Aufwand: Der erforderliche Aufwand, um vom Quellort zum Zielort zu gelangen, wie Entfernung, gewichtete Reisezeit der Verkehrsmittel oder Kosten, spielt eine entscheidende Rolle bei der Wahl des Ziels.
- Bewertung des Aufwands: Die Bewertung des Aufwands durch die Verkehrsteilnehmenden beeinflusst ebenfalls die Zielwahl.

Bei der Verteilung des Aktivitätenbedarfs müssen besondere Bedingungen eingehalten werden:

- Harte Randsummenbedingungen: Bei Pflichtaktivitäten wie Arbeitsplätzen oder Ausbildungsplätzen können die Aktivitätenorte nur von einer fest vorgegebenen Anzahl von Personen aufgesucht werden. Diese harten Randsummenbedingungen werden für Aktivitäten wie Arbeitsplätze oder Ausbildungsplätze verwendet, die pro Platz von genau einer Person genutzt werden können. Die Zielwahl berücksichtigt neben diesen Bedingungen auch die Erreichbarkeit der Aktivitätenorte.
- Weiche Randsummenbedingungen: Bei den meisten anderen Aktivitäten haben die Aktivitätenorte häufig eine Untergrenze oder Obergrenze an Besucher*innen. Beispielsweise wird ein vorhandener Einkaufsort auch bei schlechter Erreichbarkeit immer eine Mindestanzahl von Kund*innen anziehen, ansonsten gäbe es an diesem Ort keine Einkaufsmöglichkeit. Gleichzeitig gibt es eine maximale Anzahl von Kund*innen, die durch den Einkaufsort bedient werden können. Diese Bedingungen werden als weiche Randsummenbedingungen bezeichnet. Die Zielwahl wird von der Erreichbarkeit der Orte und den vorgegebenen Unter- und Obergrenzen beeinflusst. Weiche Randsummenbedingungen sind für Einkaufsstandorte, Krankenhäuser, Freizeiteinrichtungen mit begrenzter Kapazität sinnvoll.
- Offene Randsummenbedingungen: Bei Aktivitäten und Aktivitätenorten, für die es keine oberen oder unteren Nutzungsgrenzen gibt, wird die Zielwahl in erster Linie von der Erreichbarkeit der Orte beeinflusst. Hier sind auf der Seite des Aktivitätenortes keine besonderen Randsummen einzuhalten. Es wird deshalb von offenen Randsummenbedingungen gesprochen. Offene Randsummenbedingungen eignen sich beispielsweise für Freizeitaktivitäten im Grünen.
- Aktivitätenketten: Bei Aktivitätenketten, die Pflichtaktivitäten mit festem Ort und Aktivitäten mit freier Ortswahl umfassen, wird die Wahl des freien Ortes von der Lage des Wohn- und

Pflichtaktivitätenorts dominiert. Verkehrsteilnehmende bevorzugen Orte, die zwischen Wohnort und Pflichtaktivitätenort liegen.

4.1.3.3 Moduswahl

Bei der Verkehrsmoduswahl wählt die Person jeweils eine von mehreren Alternativen aus. Aufgabe des Entscheidungsmodells ist es daher, die Wahrscheinlichkeiten darzustellen, dass sich die Agentin für die einzelnen Alternativen entscheidet. Diese Wahlwahrscheinlichkeiten werden durch eine Entscheidungsfunktion modelliert, in die die Eigenschaften der Alternativen einerseits und die aktuelle Situation der Person andererseits als Einflussgrößen eingehen.

Die am meisten verbreitete Variante für ein solches Entscheidungsmodell ist ein Multinomiales Logit Modell (MNL), was auf McFadden zurück geht (1974). Das MNL-Modell basiert auf der Nutzentheorie und geht davon aus, dass der Nutzen oder die Präferenz einer Person durch eine Nutzenfunktion dargestellt werden kann. MNL kann wie folgt ausgedrückt werden: Für jede Wahl j in der Auswahlmenge J wird eine Nutzenfunktion v_{gj} angenommen, die die Präferenz der Person g für jede Wahl j in der Auswahlmenge J beschreibt, wobei p_{gj} die Wahrscheinlichkeit ist, dass sich die Person g für Wahl j entscheidet. Übertragen auf Verkehrsmoduswahl bedeutet das, dass J die verschiedenen Verkehrsmittel sind, die einer Person g im Modell an den Ausgangs- und Zielorten der Reise zur Verfügung stehen, und das gewählte Verkehrsmittel die Option j ist. Um nicht jede Person einzeln betrachten zu müssen werden üblicherweise Nachfragegruppen gebildet durch die Kombination von Wegezweck/Aktivitätsbedarf und Personengruppe.

Auswahlwahrscheinlichkeit p für Alternative j durch Personengruppe g :

$$p_{gj} = \frac{e^{v_{gj}}}{\sum_{j \in J} e^{v_{gj}}}$$

J Zahl der Alternativen

v Nutzenfunktion

4.1.4 Vor- und Nachteile

Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung ist – wie in diesem Kapitel deutlich geworden ist – sehr komplex. Deshalb ist der Aufwand bei der Erst-Erstellung, jedoch auch bei der Instandhaltung des Modells sehr hoch. Die Komplexität bei der Erstellung und bei den Berechnungen führt zu einem großen Rechenaufwand, der große Rechenkapazitäten voraussetzt. Außerdem sind die Datenverfügbarkeit und die Qualität der verfügbaren Daten oft Hindernisse für eine hohe Qualität der Modelle, da diese maßgeblich von der Qualität der Eingangsdaten abhängig ist. Hier kommt eine weitere Schwierigkeit hinzu, da vor allem bei sehr kleinräumiger Betrachtung von Verkehrsnachfrage die Eingangsdaten gar nicht so kleinräumig vorliegen, sodass lokale Besonderheiten alleine durch die Datenbasis schwer modellierbar sind. Deshalb stellt sich zusätzlich die Frage, wie mit Ungenauigkeiten umgegangen wird. Schlussendlich lässt sich sagen, dass ein Modell immer ein Modell bleibt und immer nur so gut sein kann, wie die Datenbasis und der Aufbau es erlauben.

Trotz dieser Schwierigkeiten bietet die mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung viele Chancen und Vorteile. Der hohe Detailbedarf, der hohen Aufwand bedeutet erlaubt andererseits auch

eine detaillierte Abbildung des Verkehrsverhaltens von Einzelpersonen und mikroskopische Modelle können somit ein genaueres Bild der Verkehrsnachfrage liefern, als makroskopische Modelle. Der Detailreichtum führt auch dazu, dass die Modelle an unterschiedliche Verkehrssituationen und Verhaltensmuster vergleichsweise leicht angepasst werden können. Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle können Unsicherheit und Variabilität im Verkehrsverhalten berücksichtigen, indem sie zufällige Entscheidungen und Verhaltensweisen simulieren. Die Modelle können individuelle Faktoren wie Einstellungen, Präferenzen und persönliche Merkmale berücksichtigen, die das Verkehrsverhalten beeinflussen und beispielsweise verschiedene Verkehrsmittel leicht integrieren, wodurch die Modelle die Realität oder Szenarien und auch emergente Prozesse abbilden können. Schlussendlich ist der Hauptvorteil von mikroskopischer Personenverkehrsnachfragemodellierung, dass sie Untersuchungen möglich macht, die sonst nicht möglich wären aufgrund von Restriktionen durch Datenschutz, Komplexität und anderen Faktoren. Sie ermöglicht die – wenn auch rechenaufwändige – Untersuchung von vergangenen, aktuellen und zukünftigen Situationen im Verkehrssystem und im Verkehrsverhalten.

Durch die Fähigkeit von mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellen menschliches Verkehrsverhalten zu reproduzieren und reale Verkehrssysteme darstellen zu können, ergeben sich mehrere Anwendungsgebiete: die oben genannten Vorteile Detailreichtum und Anpassbarkeit machen die Modelle unter anderem sehr geeignet zu Evaluierung der Wirkung von Verkehrsmaßnahmen. Die Nutzung dieser Modelle in der Verkehrsplanung, um sowohl experimentelle, evaluierende als auch prognostische Aussagen treffen zu können, liegt daher auf der Hand, wie im folgenden Kapitel anhand von Forschungen gezeigt wird.

4.2 Mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung und Politikberatung

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, eignen sich (mikroskopische) Personennachfragemodelle besonders gut zu Entwurf, Analyse und Bewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten und Verkehrsmanagementstrategien und sind deshalb oft und erfolgreich eingesetzt zur Politikberatung und Planungsbegleitung. Im Folgenden wird darauf eingegangen, welche Forschungsarbeiten zu dieser Schnittstelle gemacht wurden und was aus diesen Forschungen abgeleitet werden kann. Worauf nicht eingegangen wird, sind private Modellierungsagenturen und ihre Arbeiten als Auftrag oder in Kollaboration mit Entscheidungsträger*innen und öffentlichen Stellen.

(Barrios & Godier, 2014; Bindzar et al., 2021; Chow et al., 2021; Yun et al., 2022) untersuchen in ihren Forschungen jeweils konkrete Maßnahmen. Dabei sind Fragen, wie die Maßnahmen gestaltet werden sollen und wie sie sich die Alternativen auswirken würden. In der Studie von Yun et al. (2022) wird der optimale Ort für den Bau einer Brücke mit einem mesoskopischen ABM erforscht, das zur Unterstützung von Stadtverwaltungen entwickelt wurde. Die Autor*innen betonen, wie hilfreich Verkehrsflussmodellierung für solche Planungsanwendungen sein kann, jedoch bemerken sie auch, dass die reale Heterogenität in der Bevölkerung auch im Modell abgebildet sein muss, um sozial gerechte und realistische Ergebnisse zu erzielen. Dies beschreiben die Autor*innen als Herausforderung für die Planung, da sonst schnell irreführende Empfehlungen aus dem Modell abgeleitet werden könnten für Entscheidungsträger*innen. Barrios und Godier (2014) untersuchen in ihrer Studie mithilfe eines Verkehrsmodells, welche Auswirkungen die Einführung von Carsharing in

einer Stadt unter unterschiedlichen Bedingungen hat. In der Forschung wird deutlich, dass Verkehrsmodelle sowohl für private Verkehrsunternehmen, als aber auch für öffentliche Entscheidungsträger*innen hilfreich sein können, um u.a. neue Mobilitätsangebote erfolgreich in ein Verkehrssystem zu integrieren. Die Studien von Bindzar et al. (2021) und Chow et al. (2021) untersuchen beide die Effektivität von Einbahnstraßen und wie sich unterschiedliche Szenarien mit Einbahnstraßen und Nicht-Einbahnstraßen in zwei unterschiedlichen Fallbeispielen auswirken mithilfe makroskopischer (bei Bindzar et al., 2021) und mikroskopischer (bei Chow et al., 2021) Verkehrsmodelle. In beiden Studien sprechen die Ergebnisse gegen die allgemeine Annahme, dass Einbahnstraßen den Verkehrsfluss verbessern und Staugefahr verringern würden. Diese Studien sind Beispiele dafür, dass durch die Nutzung von Verkehrsmodellen allgemeine, jedoch nicht immer zutreffende Heuristiken zur Planung nicht genutzt werden müssen, sondern lokale, angepasste Simulationen von Maßnahmen akkuratere Vorhersagen treffen können. Inwiefern diese Ergebnisse für die Planung in den betroffenen Städten schließlich genutzt wurden, wird nicht aus den Studien deutlich.

Andere Studien untersuchen eher generell Phänomene und Verkehrsstrategien, wie Maßnahmen zur Verkehrsemissionsminderung (Welch & Mishra, 2014) oder Verkehrsberuhigung (Książek, 2015; Liu et al., 2021). Welch und Mishra (2014) nutzen ein Verkehrsnachfrage- und Emissionsmodell, um die effektivsten Maßnahmen zur Emissionsreduktion Entscheidungsträger*innen vorschlagen zu können. Die Autor*innen räumen jedoch auch gleichzeitig ein, dass genaue Vorhersagen und Empfehlungen schwierig zu erreichen sind, da in den komplexen Modellen dennoch per se viel Unsicherheiten enthalten sind. Die Arbeit von Książek (2015) konzentriert sich auf die Untersuchung der Implementierung von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen im städtischen Kontext und deren Auswirkungen auf die nachhaltige Entwicklung mithilfe einer Mischung von mikroskopischen und makroskopischen Modellen. Laut Autor*in seien diese Kombination von Modellen besonders hilfreich um die Auswirkungen von Maßnahmen wie Tempolimits und Straßenumgestaltungen auf Verkehrsfluss, Sicherheit und Umweltauswirkungen zu bewerten und Planungsprozesse zu informieren. Liu et al. (2021) untersuchen in ihrer Arbeit Umgestaltung von Straßenräumen für nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer*innen mithilfe mikroskopischer Verkehrssimulation. Die Forscher*innen zeigten, dass das Modell simulieren kann, wie sich Veränderungen im Straßendesign und verschiedene Verkehrsszenarien nicht nur auf den lokalen Verkehrsfluss und die Umweltbelastung auswirken, sondern auch auf das gesamte Verkehrs- und Stadtnetzwerk. Diese Anwendung des Modells kann laut den Autor*innen Entscheidungsträger*innen helfen bei holistischen Planungsprozessen.

In ihrer Studie zur Rekalibrierung eines Verkehrsnachfragemodells, um die Anwendbarkeit und Genauigkeit wiederherzustellen, machen Yagi et al. (2014) deutlich, dass die Modellqualität direkt damit zusammenhängt, welche Eingabedaten vorliegen und welche Qualität diese besitzen. Die Autor*innen betonen deshalb, dass der Umgang mit Verkehrsmodellen bei der Politikberatung aufmerksam auf die möglichen Fehler und Mängel der Modelle sein muss.

Weitere Studien untersuchen generelle, unspezifische Modelle zur Untersuchung des Einflusses von Nachhaltigkeitsmaßnahmen auf urbane Prozesse. So verwendet beispielsweise Zellner et al. (2008) ein agentenbasiertes Modell, um die Auswirkungen von Veränderungen im städtischen Verkehrssystem

zu analysieren und die Nachhaltigkeit zu bewerten unter Berücksichtigung der Komplexität der Wechselwirkungen zwischen sozialen, wirtschaftlichen und Umweltaspekten.

Die analysierten Quellen verdeutlichen die breite Anwendung von Verkehrsmodellen zur Untersuchung von Mobilitätsstrategien und zur Politikberatung im urbanen Umfeld. Die Forschung deckt verschiedene Aspekte ab, darunter Verkehrsfluss, Umweltauswirkungen, Nachhaltigkeit und die Rolle von Modellen in politischen Entscheidungsprozessen. Selten werden jedoch die Modelle selbst ausreichend beschrieben und zur Verfügung gestellt. Außerdem wird oft nicht klar beschrieben, ob und wie genau eine Kollaboration zwischen Politik und Verwaltung auf einer Seite und den Modellierer*innen und Forschung auf der anderen Seite bestand. Es bleibt zu vermuten, dass in den meisten dieser Forschungen die Forschung selbst und die Nutzung der Erkenntnisse oft nur theoretisch einen Mehrwert bildet für die realen Planungsprozesse.

Gilbert et al. (2018) untersucht allgemein die Verwendung von Modellen für Entwicklung, Umsetzung und Bewertung von öffentlichen Politiken und Richtlinien. Die Autor*innen nennen diese Verwendung „policy modelling“. Die Studie reflektiert über die direkten Mehrwerte von policy modelling und welche Aspekte diese Mehrwerte beeinflussen. Zu den allgemeinen Erkenntnissen gehört die Feststellung, dass der primäre Nutzen der Entwicklung und Anwendung eines Modells darin besteht, ein Verständnis für den politischen Bereich zu vermitteln, anstatt sich ausschließlich auf die harten Zahlen zu konzentrieren. Es sei wichtig, dass die Modelle angemessene Detailgrade hätten, je nach Nutzen und Erkenntnisinteresse. Obwohl es manchmal eine Herausforderung sei, geeignete Daten für die Kalibrierung und Validierung zu finden, bleibe die Modellierung dennoch oft wertvoll. Die Einbindung verschiedener Interessengruppen vom Anfang der Modellentwicklung an erhöhe die Wahrscheinlichkeit, dass das Modell akzeptiert und für den vorgesehenen Zweck geeignet sei. Die Kommunikation zwischen Modellierer*innen und Stakeholder*innen müsse effektiv gestaltet werden, und ethische Fragen im Zusammenhang mit der Modellierung für öffentliche Politik sollten sorgfältig berücksichtigt werden. Schlussendlich deutet die Arbeit darauf hin, dass die Bedeutung der Politikmodellierung im Rahmen der öffentlichen Politikgestaltung weiter zunehmen würde. Dafür sei jedoch eine bessere transdisziplinäre Herangehensweise mit den unterschiedlichen Akteur*innen notwendig (vgl. Gilbert et al., 2018). Diese Erkenntnisse sind besonders relevant für die Analyse des Forschungsprozesses in dieser Arbeit.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie Gilbert et al. (2018) kommen Næss et al. (2014). In dieser Studie untersuchen die Autor*innen an welchem Punkt im Planungsprozess Modellierung eingesetzt wird. Als Fallbeispiel untersuchen sie das Phänomen der verkehrsinduzierenden Wirkung des Ausbaus der Straßenkapazität (induzierter Verkehr). Næss et al. (2014) kritisieren, dass Verkehrsmodelle oft dazu verwendet werden, zu bestimmen, wo, wie und wann Straßeninfrastruktur gebaut werden soll, anstatt zu bewerten, ob sie überhaupt gebaut werden sollte. Demnach sei es, analog zu Gilbert et al. (2018) besonders wichtig, schon in frühen Planungsstufen Verkehrsmodellierung mit einzubeziehen und nicht erst zur Unterstützung des letzten Entscheidungsschritts. Ein weiterer Punkt in der Arbeit von Næss et al. (2014) ist die Frage, inwiefern emergente Phänomene, wie induzierter Verkehr, wirklich in Modellen abgebildet werden können. Diese Überlegung spricht für eine Verwendung von mikroskopischen ABM, die besonders dazu geeignet sind, emergente Phänomene gut darzustellen (vgl. Bonabeau, 2002).

Lucas et al. (2016) konzentrieren sich in ihrer Forschung auf die Modellierung der Beziehung zwischen Reiseverhalten und sozialer Benachteiligung. Die Forscher*innen entwickeln einen konzeptionellen Rahmen für die Integration in ein bestehendes Verkehrsmodell, um zu verstehen, wie soziale Benachteiligung, durch niedriges Einkommen oder begrenzten Zugang zu Ressourcen, das Verkehrsverhalten und die Verkehrsentscheidungen beeinflusst. Die Forscher*innen nutzen dieses Konzept, um Unterschiede im Verkehrsverhalten auf einzelne sozioökonomische Dimensionen zurückführen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass solche Unterschiede unter anderem auf den ökonomischen Status zurückzuführen sind. Die Forscher*innen unterstreichen den Bedarf an detaillierteren Modellierungsansätzen, um die Mechanismen und Auswirkungen sozialer Benachteiligung auf das Verkehrsverhalten besser zu verstehen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen sind ebenfalls aus einem Prozess entstanden, indem Modellierung zur Politikberatung genutzt wird in einer Kollaboration zwischen dem Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg und dem DLR-VF. Deshalb reiht sich diese Arbeit ein in eine Tradition von Modellierung für Politikberatung.

5 Die Nördliche Luisenstadt und das Untersuchungsgebiet

Die Nördliche Luisenstadt (Abbildung 5-1) wird im folgenden Kapitel vorgestellt mit besonderen Schwerpunkten auf die Mobilitätssituation und die Verkehrspläne.

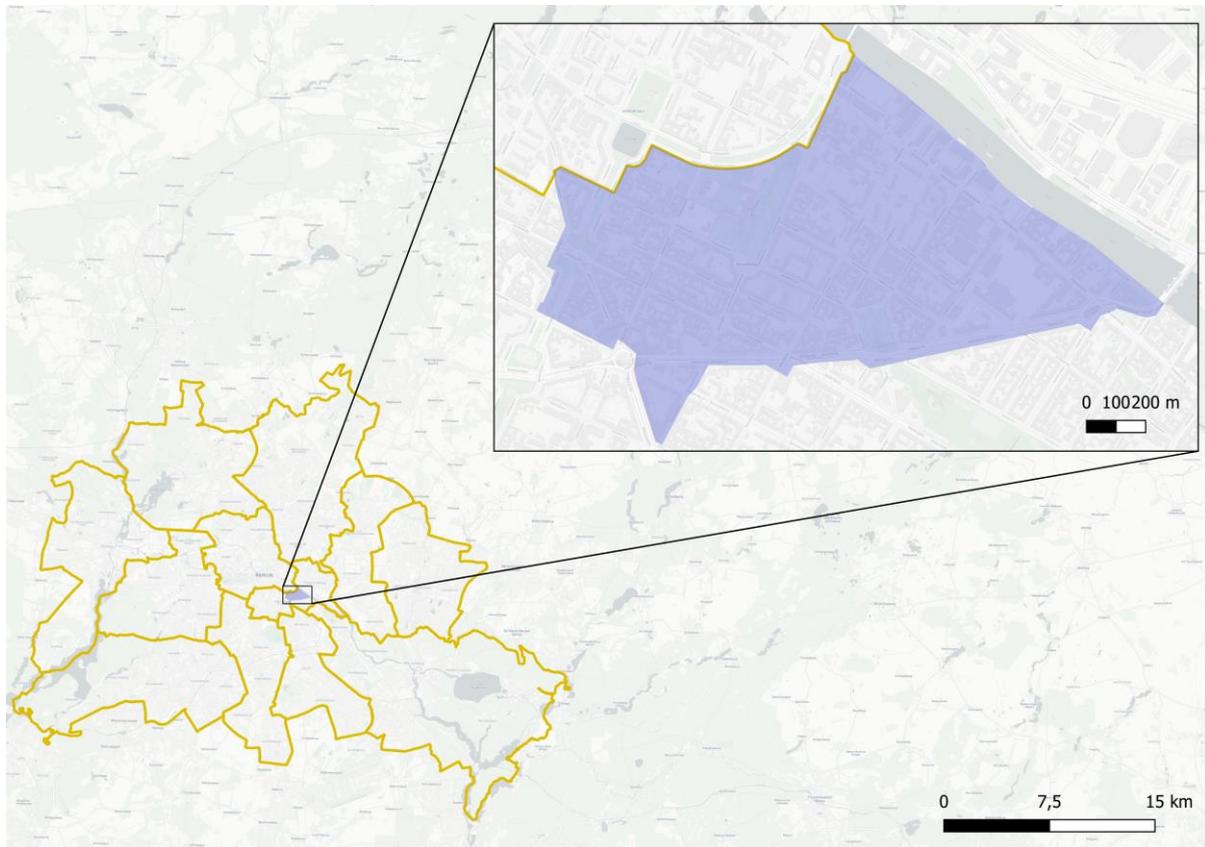


Abbildung 5-1: Karte der Bezirksregion „Nördliche Luisenstadt“ (in blau) mit ihrer Lage in Berlin. Eigene Darstellung.

5.1 Steckbrief¹¹

Die Bezirksregion (BZR) Nördliche Luisenstadt liegt im Prognoseraum Kreuzberg Ost. Sie hat eine Fläche von 129,83 Hektar und liegt im Osten des Ortsteils Kreuzberg. Die BZR besteht aus zwei Planungsräumen (PLR): Der PLR Lausitzer Platz und der PLR Oranienstraße. Die BZR wird, wie in der Karte in Abbildung 5-1 zu sehen ist, an ihrer östlichen Grenze durch die Spree vom OT Friedrichshain getrennt. Am U-Bahnviadukt an der Skalitzer Straße im Süden befindet sich die Grenze zur BZR Südliche Luisenstadt. Im Westen grenzt die BZR Südliche Friedrichstadt und im Norden der Bezirk Mitte mit der BZR Heine-Viertel Ost an (Beil et al., 2020).

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg und grenzt im Nord-Osten an die Spree, wird im Süden begrenzt von der Skalitzer Straße bis zum Kottbusser Tor am Westende des Untersuchungsgebiets. Das UG umfasst außerdem den Block zwischen Skalitzer Straße, Mariannenstraße und Kottbusser Damm. Westlich wird das UG abgegrenzt von der Ritterstraße und nach Norden gehend von der Dresdner Straße. Auf Höhe der Waldemarstraße nach Norden wird das

¹¹ Die Daten beziehen sich i.d.R. auf den Stand vom 31.12.2018 (Beil et al., 2020).

UG vom Leuschnerdamm begrenzt bis zum Bethaniendamm bis zur Spree am Nordzipfel des UG (Beil et al., 2020).

Die Bezirksregion weist eine hohe urbane Dichte mit wenigen nicht bebauten Grün- und Freiflächen wie dem Mariannenplatz und dem Oranienplatz auf. Im Süden prägt die Hochbahn der U-Bahnlinien 1 und 3 das Stadtbild. Zudem befinden sich in beiden Planungsräumen Areale mit überwiegender Nutzung durch Gemeinbedarf und Sondernutzung. Die Stadtstruktur des Gebietes ist überwiegend durch Wohnbebauung geprägt. Blockbebauungen der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern – teilweise auch stark verändert – prägen die Wohngegenden. Im PLR Lausitzer Platz finden sich zudem Zeilenbebauungen der 1950er Jahre. Flächen mit Nutzung durch Gewerbe und Industrie, insbesondere entlang der Spree, sind ausschließlich im PLR Lausitzer Platz vorhanden (Beil et al., 2020).

Die BZR Nördliche Luisenstadt ist überwiegend als Wohnbaufläche deklariert. Mit dem Gebiet um das Künstlerhaus Bethanien und dem Oberstufenzentrum Handel 1 sind in beiden PLR große Areale als Gemeinbedarfsflächen ausgewiesen. Zudem wurden Teile der PLR als gemischte Bauflächen, gewerbliche Bauflächen, Gemeinbedarfsflächen und Grünflächen ausgewiesen (Beil et al., 2020).

5.2 Bevölkerungsstruktur und räumliche Struktur

Die Nördliche Luisenstadt hat ca. 22.000 Einwohner*innen, (31.12.2018: 22.127), wovon 48,1% weiblich sind. Somit ist der Anteil an Einwohner*innen zwischen 18 und 65 Jahren mit 73,8 % im Vergleich zum Berliner Anteilswert (65 %) deutlich höher. Der Anteil der unter 18-Jährigen liegt mit 15,4 % etwa auf dem Niveau des Berliner Vergleichswertes. Mit 39,3 Jahren liegt der Altersdurchschnitt in der BZR etwas über dem des Bezirks und ca. 3 Jahre unter dem Altersdurchschnitt des Landes Berlin (Beil et al., 2020).

*Tabelle 5-1: Einwohner*innen nach Altersgruppen in der Bezirksregion Nördliche Luisenstadt. Offizielle Daten vom Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Datenstand: 31.12.2018 (Beil et al., 2020, S. 18).*

Einwohner*innen nach Altersklassen Anteil in %	0 bis unter 6 Jahre	6 bis unter 15 Jahre	15 bis unter 18 Jahre	18 bis unter 25 Jahre	25 bis unter 55 Jahre	55 bis unter 65 Jahre	65 bis unter 80 Jahre	80 Jahre und älter
Nördliche Luisenstadt	5,3	7,6	2,5	7,9	54,2	11,7	8,8	2,0

Das Bezirksregionenprofil der "Nördlichen Luisenstadt" im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg in Berlin beschreibt, dass die Region mit verschiedenen sozialen Herausforderungen konfrontiert ist und ein durchmischter Teil der Stadt ist (Beil et al., 2020). Hier sind die wichtigsten Erkenntnisse:

1. Migrationshintergrund¹²: 58% der Einwohner*innen in der BZR haben einen Migrationshintergrund, was auf die Vielfalt der Bevölkerung hinweist.

¹² Ein Migrationshintergrund Personen zugeschrieben, die entweder nicht die deutsche Staatsangehörigkeit besitzen (Ausländer/-innen), außerhalb Deutschlands geboren wurden oder neben der deutschen Staatsangehörigkeit eine weitere Staatsangehörigkeit haben. Zusätzlich wird Personen unter 18 Jahren einen

Migrationshintergrund verweist nicht prinzipiell auf Probleme und Defizite in den Stadträumen. In Verbindung mit anderen Indikatoren z.B. Arbeitslosigkeit, Schulabschluss oder Armut¹³ lassen sich Teilhabehemmnisse und institutionelle Barrieren aufzeigen (Beil et al., 2020, S. 20).

2. Arbeitslosigkeit¹⁴: Der Anteil der Arbeitslosen in der Altersgruppe von 15 bis unter 65 Jahren liegt bei 6,6%, was 2,7 Prozentpunkte über dem Durchschnitt aller Berliner Bezirksregionen liegt. Der Anteil an Personen, die Transferleistungen nach SGB II und SGB XII beziehen, liegt mit etwa 22% weit über dem Durchschnitt. Der Anteil an Menschen, die einer sozialversicherungspflichtigen Tätigkeit nachgehen, liegt in der Nördlichen Luisenstadt mit 42 % um etwa 9 Prozentpunkte unterhalb des Bezirkswertes (Beil et al., 2020, S. 29f).
3. Einkommen¹⁵: Friedrichshain-Kreuzberg gehört zu den vergleichsweise ärmeren Bezirken. 27,8% der Bewohner*innen haben ein monatliches Haushaltsnettoeinkommen von unter 1.300€ (in gesamt Berlin sind das nur 17,8%). Das durchschnittliche Haushaltsnettoeinkommen im Bezirk liegt bei 2050€ und somit leicht unter dem berlinweiten Wert von 2100€ (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2019a, S. 44).
4. Jugendliche und Kinder: 6% der Jugendlichen im Alter von 15 bis unter 25 Jahren in der BZR sind arbeitslos. Der Wert liegt 2 beziehungsweise 2,5 Prozentpunkte über den Anteilen in Bezirk und Land. Zudem leben 41% der Kinder und Jugendlichen unter 15 Jahren in Bedarfsgemeinschaften nach SGB II. Die Arbeitslosigkeit von jungen Menschen ist von besonderer gesellschafts- und stadtentwicklungspolitischer Relevanz, da sie auf soziale Ungleichheit beim Hineinwachsen in die Gesellschaft hinweist. Am größten ist das Armutsrisiko für Kinder Alleinerziehender, für Kinder aus kinderreichen Familien sowie für Kinder mit sogenanntem Migrationshintergrund und für Kinder aus Familien mit geringeren Zugangschancen zum Bildungssystem“. 41 % der Kinder und Jugendlichen unter 15 Jahren leben in Bedarfsgemeinschaften (BG) nach SGB II (umgangssprachlich: „Hartz IV“). Der Anteil ist etwa um 13 beziehungsweise 12 Prozentpunkte höher als im Bezirk und im Land (Beil et al., 2020, S. 30ff).
5. Ältere: 21,5% der Einwohner*innen im Alter von 65 Jahren und älter, die außerhalb einer stationären Einrichtung leben, erhalten Grundsicherung nach SGB XII, was doppelt so hoch ist wie die Vergleichswerte im Bezirk und gut viermal so hoch wie im Land (Beil et al., 2020, S. 32).

Migrationshintergrund zugeschrieben, wenn sie mit ihren Eltern an derselben Adresse leben und mindestens ein Elternteil außerhalb Deutschlands geboren wurde oder eine zweite Staatsangehörigkeit besitzt. (Beil et al., 2020, S. 20f)

¹³ Armut wird hier „als multidimensionales Phänomen, welches in der Regel durch Einkommensarmut gekennzeichnet ist und mit Unterversorgung in anderen zentralen Dimensionen der Lebenslage einhergeht. [...] Der Bezug von Grundsicherung bedeutet über ein Einkommen zu verfügen, welches als „soziokulturelles Existenzminimum“ bzw. „Mindestsicherung“ und damit als einkommensarm bzw. einkommensarmutsnah zu charakterisieren ist.“ (Beer, et al., 2012 S. 26)

¹⁴ Für diese Arbeit ist es wichtig zu betonen, dass es direkte Zusammenhänge gibt zwischen Arbeitslosigkeit sowie Armut und höherem Risiko für schlechtem Gesundheitszustand, was diese Gruppen noch hilfsbedürftiger macht (C. Lange & Lampert, 2005).

¹⁵ Für diese Arbeit ist es wichtig zu betonen, dass es direkte Zusammenhänge gibt zwischen Arbeitslosigkeit sowie Armut/geringem Einkommen und höherem Risiko für schlechtem Gesundheitszustand, was diese Gruppen noch hilfsbedürftiger macht (C. Lange & Lampert, 2005; Wattenberg et al., 2019; Zeeb, 2020).

6. Alleinerziehende: „14,3% [...] der Einwohner*innen unter 18 Jahren leben in einem alleinerziehenden Haushalt mit SGB II-Bezug. Das sind ca. 3 Prozentpunkte mehr als im Bezirk und 1,8 Prozentpunkte mehr als in Berlin“ (Beil et al., 2020, S. 31).
7. Wohnlagen: Die meisten Einwohner*innen (98,4%, im Vergleich Bezirk: 53,6%; ganz Berlin: 38,2%) leben in einfachen Wohnlagen, während nur 1,6% in mittleren Wohnlagen leben (Bezirks: 45,6%; ganz Berlin: 45,7%) Es gibt keine Gebiete mit "guten Wohnlagen" in der BZR¹⁶ (Beil et al., 2020, S. 38).
8. Mietpreise: In der BZR liegen die Angebotsmieten für Neuvermietungen (Median, nettokalt) 2019 unterhalb des Bezirksmedians mit 9,6 €/m² im PLR Oranienplatz und 12,9 €/m² im PLR Lausitzer Platz (Bezirk: 13,01 €/m²) (Beil et al., 2020, S. 39).
9. Grünversorgung: Die Ausstattung mit vielfältig nutzbaren Grünanlagen birgt die Möglichkeit zur Erholung im Freien und hat Bedeutung für ein gesundes Wohnumfeld. Die Region ist mit 5,5 m² öffentlichen Grünanlagen je Einwohner*in im Vergleich zum Bezirk leicht und zum Land deutlich unterversorgt mit öffentlichen Grünanlagen (Beil et al., 2020, S. 41).
10. Spielplatzversorgung: Die BZR verfügt über 0,9 m²/EW öffentliche Spielplatzfläche. Das ist geringfügig mehr als im Bezirk und geringfügig weniger als im Land. Dieser Wert ist nach fachlichen Einschätzungen sowohl in der BZR, als auch im Bezirk zu gering (Beil et al., 2020, S. 41f).
11. Schulwegsicherheit: In der Bezirksregion befinden sich 1.464 öffentliche Kitaplätze in insgesamt 34 Kitas von denen 96 % belegt sind. In der BZR gibt es insgesamt zwei Schulen. Beide sind Grundschulen und befinden sich im PLR Lausitzer Platz (Beil et al., 2020, S. 43).
12. Die Motorisierungsrate: Für die Nördliche Luisenstadt liegt die Motorisierungsrate nicht vor, jedoch ist der Bezirk, der mit dem kleinsten Pkw-Bestand pro 1000 Einwohner*innen in Berlin: 209,5 (Latz, 2023).

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben, hängt der sozioökonomische Status stark mit dem Verkehrsverhalten und der Betroffenheit von Verkehrsexternalitäten zusammen. Die hohe Rate an Menschen mit einer

¹⁶ Diese Beschreibungen „einfache“, „mittlere“ und „gute“ Wohnlage geben Hinweise auf die Qualität und Attraktivität der Wohngebiete im inneren Stadtbereich hinsichtlich Bebauung, Grünflächen, Infrastruktur und Wohnumfeld.

- Einfache Wohnlage: Diese umfasst Gebiete mit überwiegend geschlossener, dichter Bebauung und wenigen Grün- und Freiflächen. Das Straßenbild ist oft ungepflegt, und Gebäude können in einem schlechten Zustand sein. In einigen Stadtrandlagen gibt es eine erheblich verdichtete Bauweise oder überwiegend offene Bauweise mit schlechtem Gebäudezustand, ungepflegtem Straßenbild, ungünstigen Verkehrsverbindungen und wenigen Einkaufsmöglichkeiten. Industrie und Gewerbe beeinträchtigen diese Gebiete stark.
- Mittlere Wohnlage: Diese umfasst Gebiete mit überwiegend geschlossener, dichter Bebauung und einem normalen Straßenbild, ohne viele Gebäudeschäden. Der Gebäudezustand ist gut, es gibt jedoch wenige Grün- und Freiflächen. Ebenfalls betroffen sind Gebiete mit überwiegend offener Bauweise, durchschnittlichen Einkaufsmöglichkeiten, normalem Verkehrsanschluss und ohne Beeinträchtigung von Industrie und Gewerbe.
- Gute Wohnlage: Diese umfasst Gebiete mit überwiegend geschlossener, dichter Bebauung und Grün- und Freiflächen. Das Straßenbild ist gepflegt, der Gebäudezustand ist gut, und es gibt einen sehr guten Verkehrsanschluss sowie gute bis sehr gute Einkaufsmöglichkeiten. Diese Gebiete können auch überwiegend offene Bauweise mit starker Durchgrünung und einem gepflegten Wohnumfeld haben, ein gutes Image und eine normale Verkehrsanbindung. (vgl. Beil et al., 2020, S. 38)

oder mehreren Benachteiligungen zeigt deshalb umso dringender den Bedarf einer sozial-ökologischen Verkehrswende, um die Lebensqualität und soziale Gerechtigkeit zu verbessern. Die Verbesserung der Grünversorgung, die Reduzierung von Lärmbelastung und Luftverschmutzung sowie gezielte Maßnahmen zur Unterstützung von benachteiligten Gruppen wie Jugendlichen, Älteren und Alleinerziehenden könnten entscheidende Schritte in diese Richtung sein. Auch aus der Perspektive der Umweltgerechtigkeit ist eine Betrachtung der Nördlichen Luisenstadt wichtig, vor allem durch die Innenstadtlage und die beschriebenen Benachteiligungen in der Bevölkerung.

5.3 Umweltgerechtigkeit

Umweltgerechtigkeit beschreibt, wie in Kapitel 2.5 definiert, eine Betrachtungsweise und ein Ziel, was Umweltbelastungen und wer von ihnen betroffen ist, untersucht und diese Belastungen versucht zu verringern. In Berlin wird seit mehreren Jahren Umweltgerechtigkeit als Maßstab genommen, unter anderem für die Planung von Mobilitäts- und anderen klimarelevanten Maßnahmen. Das wird damit begründet, dass „[i]n vielen Teilen Berlins – vor allem im hochverdichteten Innenstadtbereich – [...] sich gesundheitsrelevante Umweltbelastungen, wie Verkehrslärm, Luftschadstoffe, unzureichende Ausstattung mit Grünflächen und bioklimatischen Belastungen [konzentrieren]. Viele Gebiete haben gleichzeitig eine hohe soziale Problematik und sind überproportional durch Mehrfachbelastungen betroffen“ (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, 2023).

Für die Planungsräume im Untersuchungsgebiet ergeben sich aus den neusten Umweltatlasdaten von 2022 (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin & Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin, 2022) die in Tabelle 5-2 aufgeführt sind, die folgenden Beobachtungen: Alle drei Planungsräume¹⁷ besitzen zweifache oder sogar dreifache Mehrfachbelastungen, die sich jedoch unterscheiden. Alle drei Planungsräume haben eine hohe Luftbelastung durch Stickstoffdioxid, wovon der Straßenverkehr, besonders Diesel-PKW die Hauptquelle ist (Muschack, 2013). Alle drei Planungsräume haben außerdem nur schlechte oder mittlere Grünversorgungen und einen hohen Anteil einfacher Wohnlage mit sehr hohen Luft und/oder Lärmbelastungen. In allen drei Planungsräumen ist außerdem der Kernindikator Thermische Belastung in einem mittleren oder hohen Bereich, weshalb das Fehlen von Grünraum und die sehr hohe Versiegelung weitere Betrachtung verdient. Die Planungsräume Oranienplatz und Lausitzer Platz haben einen (sehr) niedrigen Statusindex laut Umweltatlas (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin & Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin, 2022), was sich mit den Beschreibungen im Bezirksregionenprofil deckt (Beil et al., 2020).

Im Bezirksregionenprofil wird genauer eine hohe thermische, Lärm- und Luftbelastung an besonders stark befahrenen Straßen beschreiben: an der Skalitzer Straße, an der Köpenicker Straße, am Bethaniendamm, an der Oranienstraße und an der Adalberstraße. Als Ursachen hierfür sind die dichte Bebauungsstruktur und teils ein Mangel an Grünflächen genannt (Beil et al., 2020, S. 65ff).

¹⁷ Im neusten Umweltatlas werden andere Planungsraumgrenzen verwendet, als in allen anderen in dieser Arbeit verwendeten Quellen. Beim Umweltatlas beschreiben die drei hier aufgezählten Planungsräume das Untersuchungsgebiet.

Tabelle 5-2: Umweltatlas-Auszug für die Planungsräume Köpenicker Straße und Lausitzer Platz (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin & Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin, 2022).

Planungsraum-Name	Oranienplatz	Köpenicker Straße	Lausitzer Platz
Anzahl Mehrfachbelastungen	dreifach	zweifach	zweifach
Kernindikator Luftbelastung durch Stickstoffdioxid	hoch	hoch	hoch
Kernindikator Lärmbelastung auf Grundlage des Gesamtverkehrs	mittel	mittel	gering
Zusatzmerkmal Einwohnerdichte	10.000 bis unter 20.000	unter 10.000	20.000 und mehr
Zusatzmerkmal Wohnlage	Anteil der Adressen mit einfacher Wohnlage größer 66 % und sehr hohe Lärm- und/oder sehr hohe Luftbelastung	Anteil der Adressen mit einfacher Wohnlage größer 66 % und sehr hohe Lärm- und/oder sehr hohe Luftbelastung	Anteil der Adressen mit einfacher Wohnlage größer 66 % und sehr hohe Lärm- und/oder sehr hohe Luftbelastung
Kernindikator Grünversorgung	schlecht	mittel	mittel
Kernindikator Thermische Belastung	mittel	hoch	mittel
Kernindikator Soziale Benachteiligung (Statusindex)	niedriger/sehr niedriger Statusindex	mittlerer Statusindex	niedriger/sehr niedriger Statusindex

5.4 Mobilitätssystem vor Ort

Nachdem nun herausgearbeitet wurde, wie die Bevölkerung zusammengesetzt sind und dass es mehrere Umweltbelastungen in der Nördlichen Luisenstadt gibt, wird nun die Mobilität dort betrachtet. Das Mobilitätssystem in der Nördlichen Luisenstadt ist durch die Innenstadtlage sehr kompakt mit einem großen Verkehrsangebot und einem hohen Verkehrsaufkommen. Das Gebiet ist sehr gut durch den ÖPNV erschlossen durch die U-Bahnen der Linie U1 (Görlitzer Bahnhof und Schlesisches Tor) und durch Busverbindungen der Linien M29, 140, 147, 165, 265, N1, N8 und N65. Eine direkte Verbindung zum Fernverkehr besteht jedoch nicht. Die Skalitzer Straße im Süden der Bezirksregion ist die größte und meistbefahrenste Straße des Gebiets. Ein Großteil der restlichen Straßen fallen nicht unter den Stadtentwicklungsplan Verkehr und Mobilität. Die Radwegeabdeckung in der Bezirksregion ist durchmisch. Besonders stark befahrene Straßen besitzen jedoch alle Radverkehrsanlagen. Zur Fußverkehrssituation werden offiziell keine weiteren Informationen bereitgestellt, sie sind jedoch durchschnittlich für die Innenstadtlage und den Bezirk (vgl. Beil et al., 2020).

5.5 Verkehrskonzepte und Beschlüsse in Friedrichshain-Kreuzberg

Im Folgenden wird zuerst ein Überblick über die lokalen Verkehrskonzepte und Beschlüsse geschaffen. Danach wird auf die konkreten Maßnahmen eingegangen, die in dieser Arbeit untersucht werden.

Zeitungsberichte sagen, dass der Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg sich als "Modellbezirk" in Sachen Mobilitätswende hervorgetan hat (Neumann, 2022b, 2022a). Diesen Ruf hat er sich durch den verstärkten Fokus auf die Veränderung der Verkehrssituation im dicht besiedelten Bezirk erarbeitet. Ziele sind die Verbesserung der Stellung des Umweltverbundes und die Förderung von Sharingangeboten. Ein weiteres Ziel ist die Erhöhung der Straßensicherheit mit einer Vision Zero (0 Verkehrstote), was verknüpft ist mit dem Thema der Schulwegsicherheit. Alle Maßnahmen sollen sowohl sozial, als auch ökologisch zukunftsweisend sein. Klimaanpassungsmaßnahmen sind eng mit den Vorhaben verknüpft (Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2022, 2023a; Neumann, 2022b, 2022a). Die Einrichtung der Fußgänger*innen-Zone am Lausitzer Platz ist ein Beispiel für eine Umsetzung einer wichtigen Verkehrsberuhigungsmaßnahme im Untersuchungsgebiet (Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2021).

Es liegt ein Verkehrskonzept von 2018 für das Untersuchungsgebiet vor (Ingenieurgesellschaft Hoffmann Leichter & Gruppe Planwerk, 2018). Die Bezirksverordnetenversammlung hat außerdem einen Einwohner*innen-Antrag zur Umsetzung von Verkehrsberuhigung im gesamten Untersuchungsgebiet beschlossen (Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2022). Seit dem 27.06.2023 liegt zusätzlich das berlinweit erste gesamtbezirkliche Konzept namens „Xhain beruhigt sich“ für Verkehrsberuhigung für Friedrichshain-Kreuzberg vor, was die Schulwegsicherheit und die Sicherheit für den Fußverkehr in den bezirklichen Nebenstraßen deutlich zu erhöhen soll (Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2023b; *Xhain beruhigt sich - Verkehrsberuhigung im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg*, 2023). Dieses Konzept betrifft auch das Untersuchungsgebiet. Zusammenfassend kann geschlossen werden, dass sowohl auf bezirklicher Ebene, als auch in der Bezirksregion viele Momentum für die Verkehrswende da ist. Im Folgenden werden die Konzepte und Beschlüsse vorgestellt, die für die untersuchten Maßnahmen Relevanz haben.

5.5.1 Das Verkehrskonzept südliche Luisenstadt

2018 wurde das aktuelle Verkehrskonzept für das Untersuchungsgebiet vorgestellt. Das Planungsteam bestand aus der Ingenieurgesellschaft Hoffmann Leichter und der Gruppe Planwerk. Als Probleme wurden fehlende Fahrradabstellmöglichkeiten, viel Verkehr, Verkehrschaos an manchen Orten, wenig Gehkomfort mit teilweise schlechtem Bodenbelag, zugeparkte Kreuzungen und fehlende Barrierefreiheit genannt. Mit dem Ziel, Maßnahmen für die Lösung dieser Probleme zu finden, wurden kurzfristige, mittelfristige und langfristige Maßnahmen beschlossen. Diese Maßnahmen sollten Nebenstraßen, Kreuzungen und Wege im Untersuchungsgebiet aufwerten. Die Maßnahmen sollten außerdem mit dem Einsatz von Fördermitteln umgesetzt werden (Ingenieurgesellschaft Hoffmann Leichter & Gruppe Planwerk, 2018).

Als Leitbild wurden folgende Qualitäten des Untersuchungsgebiets als Ziele identifiziert: Lebendige Straßen und vor allem Nebenstraßen mit hoher Aufenthaltsqualität, sehr gute ÖPNV-Anbindung, vielfältige Nutzung des Straßenraums, gut vernetzte Plätze und Parks mit hoher Aufenthaltsqualität und sichere und kurze Wege für alle Menschen im Gebiet. Es wurden örtliche Schwerpunkte erarbeitet für Maßnahmen, die die Verkehrssicherheit und Barrierefreiheit erhöhen, die Bedingungen für ÖPNV, Fuß- und Radverkehr verbessern und währenddessen den MIV einschränken¹⁸. Besonders hohe

¹⁸ Konkret werden als Maßnahmen genannt: Reduzierung des Fahrbahnquerschnitts, Einsatz baulicher, regularischer und gestalterischer Elemente zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität und zur

Priorität haben demnach die Oranienstraße im Abschnitt zwischen Moritzplatz und Adalbertstraße, die Manteuffelstraße im Abschnitt zwischen Skalitzer Straße und Köpenicker Straße sowie die Wrangelstraße im Abschnitt zwischen Skalitzer Straße und Mariannenplatz. Als wichtiger Punkt im Verkehrskonzept wurde außerdem Bürger*innenbeteiligung und Partizipation von wichtigen Akteur*innen genannt (Ingenieursgesellschaft Hoffmann Leichter & Gruppe Planwerk, 2018, S. 31).

5.5.2 Der Einwohner*innenantrag „Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt“

Mehrere Einwohner*innenanträge (EWA) zur Verkehrsberuhigung und Verbesserung der Verkehrssituation für Fuß- und Radverkehr sind in den letzten Jahren bei der BVV eingegangen. Der wichtigste zu diesem Thema war der EWA „Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt“, der am 10.02.2022 bei der Bezirksverordnetenversammlung eingereicht wurde. Dieser wurde am 28.09.2022 ohne Änderungen beschlossen.

Dieser Antrag wird auf der Webseite der Kiezblocksinitiative beschrieben als Antrag hin zu einem Kiezblock „Kiezblock Kreuzberger Luisenstadt“. Die geforderten Maßnahmen umfassen:

den Durchgangsverkehr in allen Straßen der Kreuzberger Luisenstadt mit schnell umsetzbaren Mitteln (z. B. durch Einbahnstraßen, modale Filter und Diagonalsperren) verhindern und geplante Fahrradstraßen zeitnah einrichten, Sperrung der Straßenabschnitte direkt vor den Grundschulen für den motorisierten Verkehr;

den gesamten Kiez zu einem verkehrsberuhigten Bereich machen und dafür auf den Nebenstraßen Tempo 20 und auf den umliegenden Hauptstraßen durchgehend Tempo 30 ausweisen, unter Herabstufung der Adalbertstraße und der Oranienstraße zu Nebenstraßen;

zusätzliche Querungsmöglichkeiten für Fußgänger*innen auf den Straßen im Kiez (Zebra-Streifen) und umliegenden Hauptstraßen (Bedarfsampeln);

fuß- und radverkehrsfreundliche Umgestaltung der unfallträchtigen Kreuzungen entlang der Skalitzer Straße (Kottbusser Tor, Görlitzer Bahnhof Schlesisches Tor);

Nutzung des Potentials für zusätzliches Straßengrün und alternative Flächennutzungen (z.B. Schankgärten und Aufenthaltsflächen). (Changing Cities, 2021a)¹⁹

Geschwindigkeitsreduzierung, Regelung des Lieferverkehrs, Verbesserung Barrierefreiheit, ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, neue Querungsstellen, Rad-Abstellanlagen, Vermeidung von Durchgangsverkehr, mehr Verkehrssicherheit, Verhindern von Falschparkern, Verbesserung der Sichtbeziehungen, Verkürzung der Querungsdistanz, ggf. besondere Querungshilfen (Mittelinseln, FGÜ) (Ingenieursgesellschaft Hoffmann Leichter & Gruppe Planwerk, 2018, S. 31)

¹⁹ Weitere Details sind im Anhang A4 zu finden.

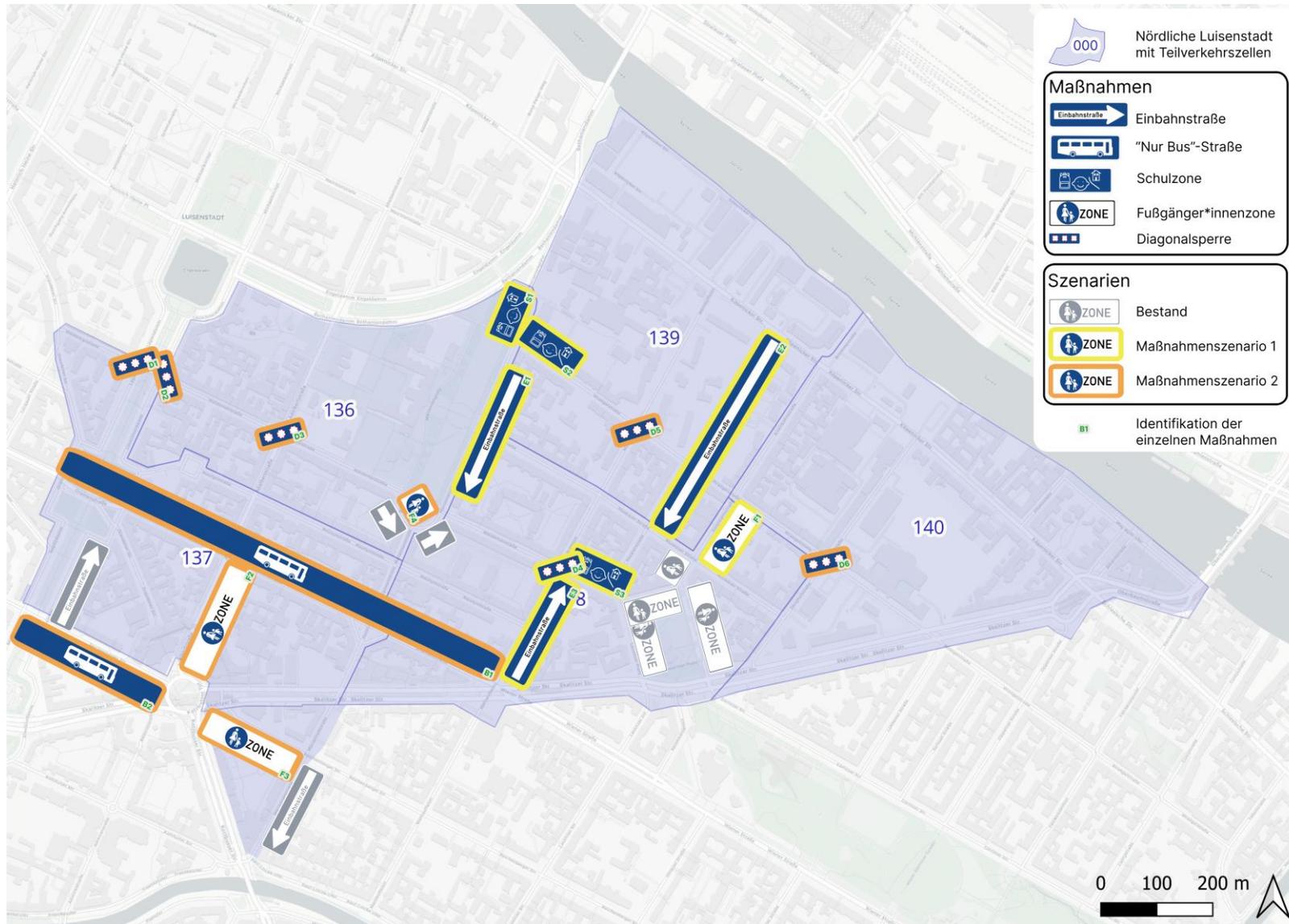


Abbildung 5-2: Die vom Bezirk geplanten und hier untersuchten Maßnahmen in der Nördlichen Lützenstadt (Stand: 4. Oktober 2022). Eigene Darstellung.

5.5.3 Die untersuchten Maßnahmen in dieser Arbeit

In dieser Arbeit werden Maßnahmen untersucht, die der Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg im Herbst 2022 in einer frühen Planungsstufe diskutierte. Diese Maßnahmen wurden dem DLR-VF zur Untersuchung überreicht im Rahmen einer Kollaboration des Bezirkes und des Forschungsinstituts. Laut bezirks-internen Aussagen haben sich die konkreten Maßnahmenpläne zwischenzeitlich verändert. Aufgrund von Forschungsabläufen werden für diese Arbeit dennoch die Pläne auf dem Stand vom 4. Oktober 2022 untersucht. Diese werden im Folgenden als „die geplanten Maßnahmen“ bezeichnet.

Die Verkehrsmaßnahmen, die der Bezirk für die Nördliche Luisenstadt plante (Stand: 4. Oktober 2022) und in die Kollaboration mit dem DLR-VF untersucht werden sollten, sind in Abbildung 5-2 dargestellt. Es wurden zwei Möglichkeitszeiträume bei der Planung aufgemacht: kurzfristig, beziehungsweise „direkt umsetzbar“ (gelb) und mittelfristig, beziehungsweise „wünschenswert, aber Klärungsbedarf“ (orange). In der Darstellung wird außerdem der Bestand der relevanten Maßnahmen dargestellt (grau).

Die geplanten Maßnahmen, die in Abbildung 5-2 dargestellt werden, sind in Tabelle 5-1 genauer definiert. Die Maßnahmen lassen sich in fünf Gruppen unterteilen:

- „Nur Bus“-Straßen: Diese Straßen sind nur noch für den Umweltverbund geöffnet, für den MIV also gesperrt. In diesem Verständnis fallen die Parkplätze an diesen Straßen weg.
- Diagonalsperren: Diagonalsperren sind Modale Filter, meist Poller oder Pflanzkübel, die eine Kreuzung diagonal zerteilen. Dadurch ist eine Durchfahrt geradeaus über die Kreuzung für schmale Fahrzeuge, wie Fahrräder und natürlich zu Fuß noch möglich, mit größeren Fahrzeugen wie Pkws oder Bussen jedoch nicht. Diagonalsperren führen deshalb zu weniger Durchgangsverkehr, da Pkws zum Abbiegen gezwungen werden, und wird hauptsächlich in Wohngebieten und auf Nebenstraßen eingesetzt.
- Einbahnstraßen: Einbahnstraßen erlauben das Fahren auf der Straße nur in eine Richtung. Für diese Arbeit wird angenommen, dass Fahrradverkehr weiterhin in beide Richtungen fahren darf, was häufig eine Sonderregel ist und nach § 46 MobG BE immer geprüft und ggf. umgesetzt werden soll (Berliner Mobilitätsgesetz, 2018).
- Fußgänger*innenzonen: Eine Fußgänger*innenzone ist als Verkehrsfläche definiert, auf der Fußgänger absoluten Vorrang vor anderen Verkehrsteilnehmern haben. Deshalb sind diese Zonen für alle anderen Verkehrsmittel als den Fußverkehr gesperrt. Diese Zonen sind außerdem speziell auf die Bedürfnisse des Fußverkehrs zugeschnitten und verfügen über ansprechende Gestaltungselemente wie attraktive Beläge, Möblierung wie Bänke, Beleuchtung, Brunnen und Bäume sowie breite Gehwege.
- Schulzonen: Schulzonen sollen die Verkehrssituation um Schulen und Kindergärten sicherer gestalten, die Schulwegsicherheit auf den letzten Metern erhöhen, das Straßenklima verbessern und je nach Bedarf auch den Pausenhof erweitern. Es existieren keine offiziellen Vorschriften der Stadt Berlin, wie eine Schulzone umgesetzt werden soll. Für diese Arbeit wird angenommen, dass in einer Schulzone das Tempolimit auf Schrittgeschwindigkeit verringert wird und ggf. die Straßengestaltung verändert wird und die Fahrbahn verengt wird. Weiterhin wird angenommen, dass die betroffenen Straßen weiterhin in beide Richtungen befahrbar sind, trotz Einspurigkeit und keine Parkplätze wegfallen. Der Bezirk befand sich nach Rücksprache noch in der Grundkonzeption und konnte keine genaueren Aussagen treffen (Stand Freitag, 14. April 2023).

Tabelle 5-3: Die geplanten und hier untersuchten Verkehrsmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt. Wichtig ist zu bemerken, dass die Maßnahmen aufeinander aufbauen. Veränderungen, die im 1. Maßnahmenzenario gemacht werden, werden im 2. Maßnahmenzenario beibehalten.

ID	Tvz	Ort	Szenario
 Nur Bus			
B1	137, 138	Oranienstraße zwischen der westlichen Seite des Oranienplatzes und der Ecke Oranienstraße /Manteuffelstraße	2
B2	137	Reichenberger Straße zwischen Segitzdamm und Kottbusser Tor	2
 Diagonalsperre			
D1	137	Kreuzung Legiendamm / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D2	137	Kreuzung Leuschnerdamm / Waldemarstraße. Sperre in Nord-Süd-Richtung	2
D3	136	Kreuzung Adalberstraße / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D4	138	Kreuzung Manteuffelstraße / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	1
D5	139	Kreuzung Manteuffelstraße / Wrangelstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D6	140	Kreuzung Zeughofstraße / Wrangelstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
 Einbahnstraße			
E1	136	Mariannenplatz (östliche Seite) zwischen Wrangelstraße und Waldemarstraße in Richtung Süden	1
E2	139	Pücklerstraße zwischen Köpenicker Straße und Muskauer Straße in Richtung Süden	1
E3	138	Manteuffelstraße zwischen Oranienstraße und Waldemarstraße in Richtung Norden	1
 Fußgänger*innenzone			
F1	138	Eisenbahnstraße zwischen Muskauer Straße und Wrangelstraße	1
F2	137	Adalbertstraße zwischen Kottbusser Tor und Oranienstraße	2
F3	143	Reichenberger Straße zwischen Kottbusser Tor und Mariannenstraße	2
F4	136	Süd-westlicher Teil des Mariannenplatzes zwischen Waldemarstraße (westlich) und Mariannenstraße (südlich)	2
 Schulzone			
S1	136	Mariannenplatz nördliches Ende zwischen Einmündung Bethaniendamm und Wrangelstraße	1
S2	139	Wrangelstraße zwischen Mariannenplatz und Manteuffelstraße	1
S3	138	Waldemarstraße zwischen Manteuffelstraße und Pücklerstraße	1

Diese Maßnahmen fügen sich sehr gut ein in die übergeordneten Ziele und Maßnahmenvorschläge des Verkehrskonzeptes und passen zum Beschluss des EwA „Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt“, aber auch zu den allgemeinen Verkehrskonzepten Berlins und dem

MobG BE, durch den Fokus auf Verkehrsberuhigung durch Diagonalsperren, Fußgänger*innenzonen und Einbahnstraßen innerhalb von Kiezen.

5.5.4 Weitere Entwicklung der Maßnahmen

Nach der Übergabe der zu untersuchenden Maßnahmen an das DLR-VF wurde in der BVV-Sitzung vom 29.06.2022 ein weiterer Antrag beschlossen. Dort sind Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung beschrieben. Diese beschlossenen Maßnahmen sind nicht deckungsgleich mit den hier untersuchten Maßnahmen, sind jedoch ähnlich in ihren Forderungen und Methoden. Deshalb wird die Untersuchung der im vorherigen Kapitel beschriebenen Maßnahmen weiterhin als sinnvoll angesehen.

5.6 Differenzierung Bezirksregion und Untersuchungsgebiet

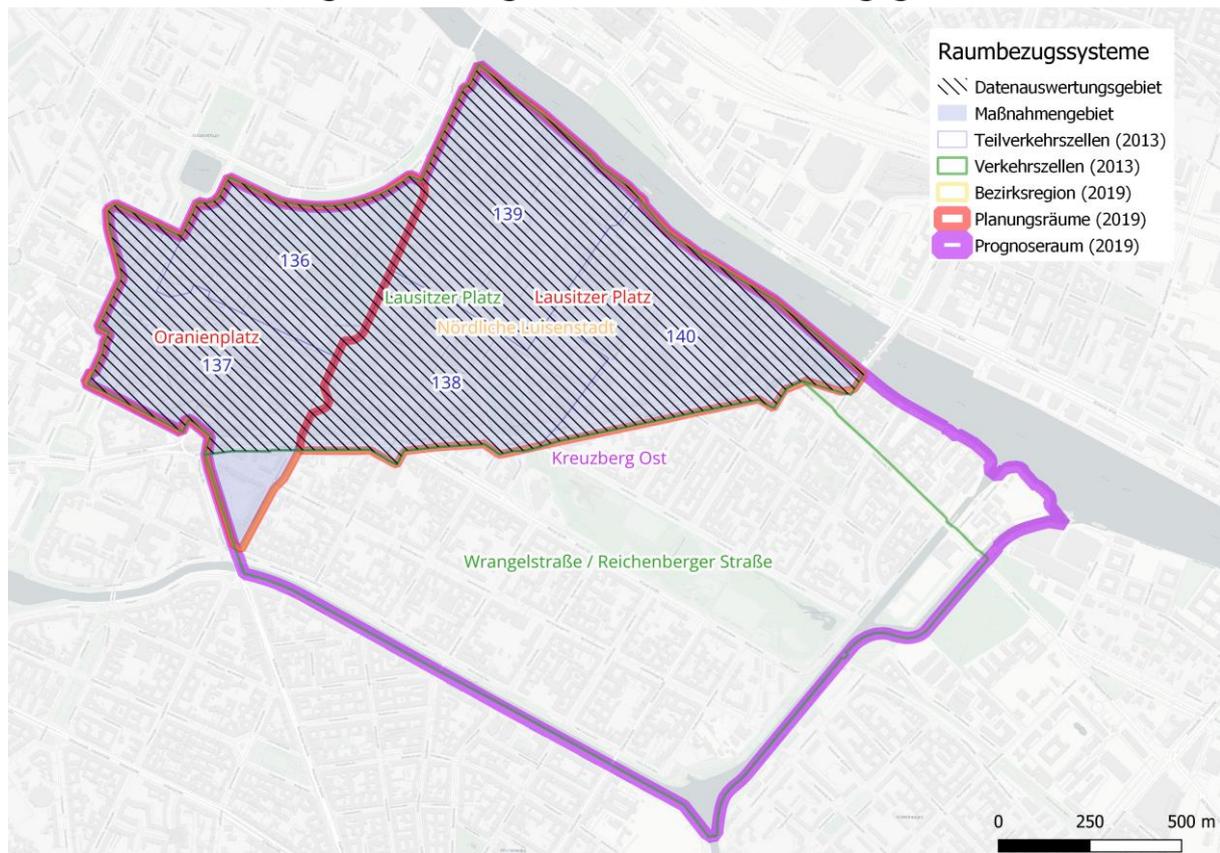


Abbildung 5-3: Das Untersuchungsgebiet mit den Raumbezugssysteme mit den jeweiligen Bezeichnungen

In den Regional- und Kommunalstatistiken Berlins wird das Raumbezugssystem der Bezirke verwendet. Unterhalb dieser Ebene gibt es verschiedene Raumbezüge²⁰, welche sich nicht immer perfekt

²⁰ Für diese Arbeit sind die relevanten Raumbezugssysteme die folgenden: Raumbezugssystem Lebensweltlich orientierte Räume (LOR) (LOR – Prognoserräume, LOR – Bezirksregionen, LOR – Planungsräume), Raumbezugssystem Statistische Gebiete/Verkehrszellen (Statistisches Gebiet, Verkehrszelle, Teilverkehrszelle) und Fördergebiete (Aktive Zentren, Stadterneuerung (Sanierungsgebiete), Stadtumbau Ost und West, Städtebaulicher Denkmalschutz, GRW-Fördergebiete)

Das Raumbezugssystem der "Statistischen Gebiete/Verkehrszellen" wurde durch das Raumbezugssystem der "Lebensweltlich orientierten Räume (LOR)" für sozialräumliche Planungszwecke abgelöst. Beide Systeme werden jedoch weiterhin fortgeschrieben, um die Vergleichbarkeit über lange Zeiträume zu gewährleisten (vgl. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2023a).

überschneiden. Die jeweiligen Grenzen und Namen werden außerdem regelmäßig angepasst, jedoch nicht perfekt synchronisiert. Deshalb bestehen für diese Masterarbeit unterschiedliche Bezugsgrenzen für das Untersuchungsgebiet, welche leicht unterschiedliche Grenzen und Namen aufweisen. Die relevanten Bezugssysteme sind in Abbildung 5-3 dargestellt.

Wie schon angemerkt, beziehen sich auch unterschiedliche Namen auf die untersuchte Region. Diese Arbeit hält sich an die Definition der Bezirksregion „Nördliche Luisenstadt“ in der Definition vom 01.01.2019 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2019b), die genau mit dem Gebiet übereinstimmt, in dem die Maßnahmen geplant sind. Es existiert eine neuere Definition der Bezirksregionsgrenzen vom 01.01.2021 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2019b). Da jedoch das neuste Bezirksregionenprofil (Beil et al., 2020) und die Maßnahmeninformationen, die die Basis für diese Arbeit bilden, sich auf die Bezirksregionengrenzen von 2019 beziehen, werden für diese Arbeit nicht die neusten Grenzen verwendet.

Einige relevante Dokumente und Quellen sind mit „südliche Luisenstadt“ übertitelt, beziehen sich jedoch auf die (fast) gleiche Stadtfläche. Dieser Unterschied kommt davon, dass sie sich auf andere Raumbezugssysteme beziehen. Hinzukommt, dass das „Sanierungsgebiet Nördliche Luisenstadt“ des Bezirk Mitte ein anderes Gebiet nordwestlich der Bezirksregion Nördliche Luisenstadt bezeichnet (Bezirksamt Mitte von Berlin, 2020). Auch die Kiezblockinitiative „Nördliche Luisenstadt“ bezieht sich auf das Gebiet im Bezirk Mitte (Changing Cities, 2021b). Die Kiezblockinitiative, die sich auf ein Gebiet bezieht, welches die BZR Nördliche Luisenstadt mit einbezieht wird hingegen „Kreuzberger Luisenstadt“ genannt (Changing Cities, 2021a). Unterm Strich können diese Bezüge zu einiger Verwirrung führen.

Für diese Arbeit werden die Information über die Gebietsstruktur, die Bevölkerung und die Maßnahmen auf Basis der Bezirksregionengrenzen der Nördlichen Luisenstadt im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg herangezogen. Für die Auswertung der Ergebnisse werden die Grenzen der Teilverkehrszellen 136, 137, 138, 139 und 140 genutzt. Das bedeutet, dass der süd-westliche Zipfel der Bezirksregion Nördliche Luisenstadt, der in der Teilverkehrszelle 143 liegt nicht direkt mit ausgewertet wird (siehe Datenauswertungsgebiet und Bezirksregion in Abbildung 5-3). Die Maßnahmen, die in diesem Bereich geplant sind, sind jedoch in den Szenarien eingeflossen. Welche Fragestellungen und Hypothesen die Forschung an diesen Maßnahmen in der nördlichen Luisenstadt motiviert haben, wird im nächsten Kapitel beschrieben.

6 Fragestellung und Hypothesen

Verkehrsinfrastrukturplanung ist komplex und langwierig, weshalb sich die Untersuchung von Maßnahmen in Modellen lohnt, um mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen und Maßnahmen fundiert abzustimmen. Deshalb ergibt sich für diese Arbeit die erste Fragestellung:

- (1) Wie wirken sich die geplanten Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt auf die Verkehrsnachfrage aus?

Die Hypothese zu dieser Fragestellung ist: Der Anteil des MIV am Modal Split in der Verkehrsnachfrage im Untersuchungsgebiet ist in den Szenarien mit den Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen geringer als im Basisszenario.

Aus Kapitel 5 ergibt sich ein Bild der Nördlichen Luisenstadt als stark umweltbelastete Bezirksregion mit einem hohen Anteil an Einwohner*innen, die von sozialen Benachteiligungen betroffen sind. Die Frage, welche Einflüsse Verkehrsmaßnahmen auf benachteiligte Gruppen haben, ist für eine sozial gerechte Mobilitätswende von besonderer Bedeutung. Daraus folgt die zweite Fragestellung für diese Arbeit:

- (2) Sind einzelne sozioökonomische Gruppen besonders von den Maßnahmen betroffen?

Aus der Zielsetzung des MobG BE in § 3 Nr. 3²¹ und den Erkenntnissen über die Bevölkerung in der nördlichen Luisenstadt soll dabei ein besonderer Fokus auf die Dimensionen ökonomischer Status, Alter, Erwerbsstatus, Alleinerziehende und Gender gelegt werden. Für diese zweite Fragestellung ergeben sich keine fundierten Hypothesen, da die Forschung mit einem explorativen Ansatz erfolgt.

Zwei weitere Fragestellungen ergeben sich aus der Methodik:

- (3) Wie gut sind TAPAS und die verbundenen Modelle geeignet um den Einfluss von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen auf das Verkehrsverhalten
 - a. kleinräumig zu untersuchen?
 - b. von einzelnen sozialen Gruppen zu untersuchen?

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen zur Beantwortung dieser Fragen näher erläutert.

²¹ „Mobilität in Berlin [...] bezogen auf die wesentlichen Wegezwecke [...] unabhängig von Alter, Geschlecht, Einkommen und persönlichen Mobilitätsbeeinträchtigungen, sowie von Lebenssituation, Herkunft oder individueller Verkehrsmittelverfügbarkeit gewährleistet werden“ (§ 3 Nr. 3 MobG BE)

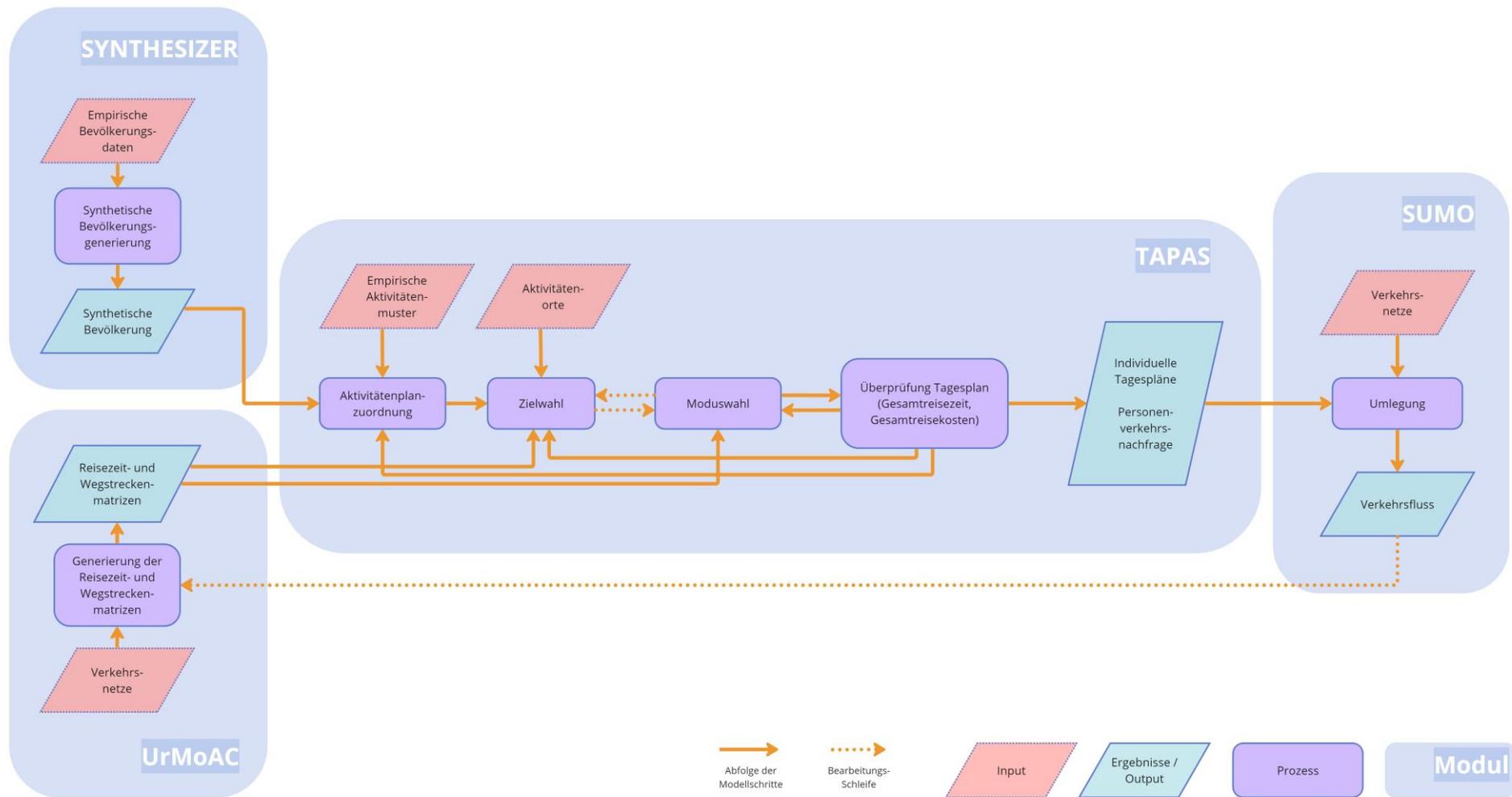


Abbildung 6-1: Simulationsablauf mit den Modellen SYNTHESIZER, UrMoAC, TAPAS und SUMO in Anlehnung an Heinrichs et al. (2016). Dateninputs und -outputs und Abhängigkeiten werden dargestellt.

7 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik, die für die vorliegende Forschung verwendet wurde, beschrieben. Zuerst werden die verwendeten Modelle vorgestellt und ihre Parametrisierungen beschrieben. Danach werden die verwendeten Metriken definiert, die für die Auswertung der Ergebnisse genutzt wurden. Schlussendlich wird auf den Vorgang der Datenauswertung eingegangen.

7.1 Modelle

Für die Modellierung der Personenverkehrsnachfrage werden unterschiedliche Modelle herangezogen. Der Simulationsablauf, abgebildet in Abbildung 6-1, macht deutlich, dass in dieser Arbeit vier Modelle beziehungsweise Umgebungen herangezogen wurden, um die Personenverkehrsnachfrage zu modellieren: SYNTHESIZER, UrMoAC, TAPAS und SUMO. Dabei stehen am Anfang eines Simulationsprozesses immer die Erstellung der synthetischen Bevölkerung mit dem Programm SYNTHESIZER und die Erstellung vom Verkehrsnetz und von Reisezeit- und Wegstreckenmatrizen (zuerst auf dem unbelasteten Netz) zwischen Aktivitätenorten im Untersuchungsgebiet mit dem Programm „Urban Mobility Accessibility Computer“ (UrMoAC). Diese beiden Ergebnisse werden dann in das Modell "Travel-Activity PAttern Simulation" (TAPAS) übertragen und verwendet, um die Personenverkehrsnachfrage in der Form von individuellen Wegen und Tagesplänen für die synthetische Bevölkerung zu simulieren. Dieses Ergebnis wird dann in SUMO umgelegt auf das Verkehrsnetz, um die konkreten Routen und Verkehrsflüsse zu ermitteln. Da dieser Durchlauf auf einem unbelasteten Netz startet, was die Auslastung des Verkehrsnetzes nicht mit einbezieht (evtl. Staus etc.), wird der Verkehrsfluss wieder zurück an UrMoAC beziehungsweise TAPAS gegeben, um einen weiteren Simulationsdurchlauf, jedoch diesmal auf einem belasteten Netz zu rechnen. Dies wird optimalerweise so lange wiederholt, bis sich ein Gleichgewicht in den Verkehrsflüssen zeigt, in dem die Verkehrsflussunterschiede zwischen zwei Schleifendurchläufen unter einen gewissen Grenzwert fallen. Im Folgenden wird auf diese vier Module eingegangen mit einem besonderen Fokus auf das Hauptmodul TAPAS.

7.1.1 SYNTHESIZER

Die Erstellung der synthetischen Bevölkerung und die Zuordnung einer MIV-Fahrzeugflotte geschehen mit dem Modell SYNTHESIZER. Dieses Modell wurde unter anderem am DLR-VF entwickelt, um realistische und mikroskopische synthetische Bevölkerungen aus Erhebungen und prognostisch zu erstellen (Cyganski et al., 2017; Schmidt et al., 2017). Die Erstellung einer synthetischen Bevölkerung mit dem SYNTHESIZER ist besonders gut für TAPAS geeignet, da dort für das betrachtete Untersuchungsgebiet hochdetaillierte Bevölkerungsdaten als Eingabe benötigt werden. Diese Daten umfassen Angaben zur Soziodemographie (Alter, Gender, Status), Informationen zum assoziierten Haushalt (Haushaltsgröße, -einkommen) und zur Verfügbarkeit verschiedener Mobilitätsoptionen (Fahrradbesitz, Führerschein, Anzahl und Art der Pkw im Haushalt, ÖPNV-Zeitkarte, Mobilitätsbudget). Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, wird für TAPAS die synthetische Bevölkerung erstellt. Sie wird im SYNTHESIZER durch die Kombination verschiedener statistischer Daten erzeugt. Jede Person der synthetischen Bevölkerung umfasst soziodemografische Merkmale wie Alter, Geschlecht, Beschäftigungsstatus, Mobilitätsbudget, ÖPNV-Abonnement, Führerschein und Fahrradbesitz. Die dazugehörigen Haushaltsattribute umfassen die Anzahl der Haushaltsmitglieder, das Haushaltsgesamteinkommen und eine verfügbare Anzahl von Pkw. Der MIV-Besitz wird modelliert, indem eine externe, spezifizierte Fahrzeugflotte mit Größe, Wert und Kraftstofftyp pro Fahrzeug

erstellt und verteilt wird. Die resultierende Bevölkerung kann für die Simulation verschiedener Szenarien verwendet werden (Cyganski et al., 2017; Schmidt et al., 2017).

7.1.2 UrMoAC

Der "Urban Mobility Accessibility Computer" (UrMoAC) ist ein wissenschaftliches Open-Source-Tool zur Berechnung von Erreichbarkeit in der Form von Reisezeiten und Wegstrecken, das von Mitarbeiter*innen des DLR-VF entwickelt wurde. Das Programm unterstützt die Aggregation von Daten, variable Grenzen und Intermodalität. Es kann verwendet werden, um die Erreichbarkeit von Orten in städtischen Gebieten zu berechnen und somit zur Planung von Verkehrsinfrastruktur und zur Förderung der Verkehrswende beizutragen (Krajzewicz, Heinrichs, et al., 2017). Dafür verwendet UrMoAC ein detailliertes Straßennetzwerk und Positionsdaten von Gebäuden, Verkehrshaltestellen und anderen Standorten. Es basiert auf einer feinkörnigen, mikroskopischen Modellierung, bei der jede Entität individuell simuliert wird. Das Modell kann Zugänglichkeitsmaße für verschiedene Verkehrsmittel wie Fußverkehr, Fahrradverkehr, ÖPNV und MIV berechnen. Zusätzlich können intermodale Kombinationen von Verkehrsmitteln unterstützt werden (Krajzewicz, Heinrichs, et al., 2017).

Das Tool startet dabei mit einer Reihe von Aktivitätenorten (Ursprungsorte und Zielorte) sowie einem Straßennetzwerk und einer Beschreibung des ÖPNV. Daraus werden dann Erreichbarkeiten in Form von Reisezeit- und Wegstreckenmatrizen auf Verkehrszellenebene berechnet. Zunächst werden dafür für jede Verkehrszelle fünf Adressen zufällig ausgewählt. Für die Berechnung der Reisezeiten im ÖPNV werden aktuelle GTFS-Daten²² und für die Matrizen zu Fuß sowie im MIV werden Open Street Map-Daten (OSM) (Straßenkanten) verwendet. Darauf basierend werden anschließend zwischen allen Verkehrszellen die Reisezeiten beziehungsweise Distanzmatrizen mit dem UrMoAC berechnet. Beim ÖPNV wird die Reisezeit für unterschiedliche Wochentage (Dienstag, Mittwoch, Donnerstag) sowie verschiedene Zeitfenster (7-9 Uhr, 10-16 Uhr, 17-19 Uhr, 19-23 Uhr, 23-24 Uhr) berechnet (Krajzewicz, Heinrichs, et al., 2017).

Die Ergebnisse von UrMoAC umfassen demnach Zugänglichkeitsdaten für einzelne Quellen und Zielorte, die innerhalb von festgelegten Grenzen erreichbar sind. Diese Daten können aggregiert werden, um Durchschnittswerte für größere Gebiete zu erhalten. Insgesamt bietet UrMoAC eine flexible Methode zur Berechnung von Zugänglichkeitsmaßen, die für die städtische Mobilitätsplanung und die Verkehrsnachfragemodellierung von Bedeutung ist (Krajzewicz, Heinrichs, et al., 2017).

7.1.3 TAPAS

TAPAS, das zentrale Modell dieser Arbeit, wurde von Hertkorn (2005) entworfen und wurde seitdem unter anderem am DLR-VF weiterentwickelt. Das agent*innenbasierte Modell basiert auf einem aktivitätenbasierten Ansatz und prognostiziert die täglichen Wege einer sogenannten synthetischen Bevölkerung (bestehend aus den sogenannten Agent*innen) für einen typischen Werktag. Der Zeitraum, der mit TAPAS abgebildet wird, beträgt deshalb in der Regel 24 Stunden. TAPAS fällt unter die Kategorie der mikroskopischen Personenverkehrsnachfragemodelle, wie in Kapitel 4 beschrieben. Der Input von Tapas besteht aus Informationen über die Bevölkerung, über Mobilitätsverhalten, über

²² „Die General Transit Feed Specification (GTFS) ist eine Datenspezifikation, die es öffentlichen Verkehrsbetrieben ermöglicht, ihre Verkehrsdaten in einem Format zu veröffentlichen, das von einer Vielzahl von Softwareanwendungen genutzt werden kann.“ (General Transit Feed Specification, 2023)

die Verkehrssysteme und über die Struktur der Orte, an denen Aktivitäten gemacht werden können. Das Ergebnis einer TAPAS-Simulation besteht aus allen Wegen, die die Agent*innen an dem simulierten Tag zurückgelegt haben. Dieser Wege-Daten umfassen Informationen zu den Aktivitäten, den Standorten, den genutzten Verkehrsmitteln, den Wegstrecken sowie den Reisezeiten. Das klassische Vierstufenmodell der Verkehrsnachfragemodellierung umfasst separate Modelle für Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, auch Zielwahl genannt, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl (Friedrich, 2011). TAPAS bildet die ersten drei Stufen integriert ab und lässt die Routenwahl von einem externen Modell (SUMO) berechnen. Das bedeutet, dass TAPAS aus drei Teilmodulen besteht: Aktivitätengenerierung, Zielwahl und Verkehrsmittelwahl, wie sie in der Abbildung 6-1 dargestellt und in Kapitel 4 erklärt sind (vgl. DLR - Institut für Verkehrsforschung, o. J.; Heinrichs, Cyganski, et al., 2016; Heinrichs et al., 2017). Die Funktionalität von TAPAS wird im folgenden Kapitel zuerst beschrieben und dann werden Anwendungen von TAPAS vorgestellt.

Die Eingabedaten über die Bevölkerung und die Fahrzeugflotte verlangen Informationen auf Personen- und Haushaltsebene, wie sie von dem SYNTHESIZER erstellt werden. Alle Personen eines synthetischen Haushalts werden individuell verarbeitet, sind jedoch durch die Haushaltsbeschränkungen wie der Verfügbarkeit von Pkws und dem Mobilitätsbudget begrenzt. Das bedeutet zum Beispiel, dass keine zwei Personen das gleiche Fahrzeug für unterschiedliche Wege als Fahrer*innen nutzen können (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016).

Die Aktivitäten werden aus Erhebungsdaten abgeleitet und mittels einer Clusteranalyse klassifiziert, wobei soziodemographische Merkmale den Personen zugeordnet werden. Die unterschiedlichen Aktivitäten sind im Anhang A6 zu finden. Daraus ergeben sich Personengruppen beziehungsweise Aktivitätsschemaklassen zur Aktivitätenplanzuordnung (siehe Tabelle 13-1 in Anhang A5). Jede Personengruppe verfügt über einen Wahrscheinlichkeitsvektor, um eine der Aktivitätsschemaklassen auszuwählen. Die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Plan aus der Schemaklasse zu ziehen, ist gleichmäßig verteilt (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016).

TAPAS ordnet jeder Person einen Tagesplan mit Aktivitäten entsprechend dieser Aktivitätsschemaklassen zu und rechnet diesen durch, indem es zuerst Standorte für jede Aktivität findet und dann das entsprechende Verkehrsmittel für den Weg dorthin bestimmt. Die zur Wahl stehenden Aktivitäten und Tagespläne beruhen dabei auf der Auswertung und Aufbereitung der Zeitbudgeterhebung (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016).

In TAPAS werden die Auswahl der Ziele und Modi in einem mehrstufigen, iterativen Prozess kombiniert. TAPAS betrachtet hierbei jeweils komplette Wegeketten im Sinne der Tagespläne und bestimmt die im Verlauf einer Kette aufzusuchenden Orte sukzessive und hierarchisch gemäß ihrer Bedeutung im Tagesverlauf. Zu Beginn werden Ziele und Modi für die verpflichtenden Aktivitäten gemäß der Hierarchie festgelegt. Der Wohnort ist per se als Start- und Endpunkt jedes Tages festgelegt. Verpflichtende Aktivitäten sind dabei (je nach Personengruppe und Tagesplan) Bildung und Lohnarbeit. Die möglichen Ziele, also Aktivitätenorte kommen für TAPAS aus unterschiedlichen Quellen, wie der Verwaltung, OSM, Branchenbüchern und anderen Verzeichnissen. Jedem dieser Aktivitätenorte wird dann eine oder mehrere Aktivitäten und zugehörige Kapazitäten zugeschrieben. Diese werden mit unterschiedlichen Methoden ermittelt, z.B. händisch, durchschnittsgeleitet (z.B. bei Kinos) oder quadratmetergeleitet (z.B. bei Einkaufsfläche) (Heinrichs, Cyganski, et al., 2016). Für jede

Aktivität werden dann mögliche Ziele auf der Grundlage der verfügbaren Verkehrsmittel, der verkehrsspezifischen Zugänglichkeit, der verbleibenden Kapazität, des Zeitbudgets und eines empirisch ermittelten Suchradius ausgewählt (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016). Die verkehrsspezifische Zugänglichkeit berücksichtigt Fahrzeugbeschränkungen, wie Umweltzonen. Der Zugang zu solchen Zonen kann für bestimmte Verkehrsmittel oder Fahrzeugklassen untersagt sein und somit für Personen, die betroffene Fahrzeuge besitzen, weniger attraktiv werden. Darauf basierend erfolgt die Auswahl des Ziels und daraufhin die Moduswahl je nach Verfügbarkeit von Fahrrädern und Autos, Führerscheinen, Kosten, Reisezeiten, lokalen Beschränkungen, einer Jahreskarte, dem Alter, dem Reisezweck und der Entfernung zum Zielort. Die Kosten für Autofahrten werden unter Verwendung der spezifischen Kostenfaktoren des verwendeten Fahrzeugs berechnet. Zusätzlich werden Parkgebühren für die Dauer des Aufenthalts hinzugefügt, falls diese im Zielgebiet berechnet werden (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016). In TAPAS wird Parkplatzverfügbarkeit mit Zu- und Abgangszeiten zum MIV pro Teilverkehrszelle dargestellt. Dafür wird in einer separaten Berechnung die Zu- und Abgangszeit aus dem Verhältnis zwischen Parkplatzanzahl und Pkw-Anzahl pro Teilverkehrszelle berechnet. Durch eine Reduktion der Parkplatzanzahl verändert sich in der Logik in Tapas nur die Abgangszeit vom MIV, da die Parkplatzsuche länger dauert. Die Zugangszeit hingegen verändert sich nicht, da die Person ja jeweils weiß, wo ihr Fahrzeug geparkt wurde und deshalb davon ausgegangen wird, dass sie nicht per se länger braucht um dort hin zu kommen.

All die genannten Faktoren, die die Moduswahl bestimmen, werden durch ein multinomiales Pivot-Point-MNL-Modell (vgl. de Dios Ortuzar & Willumsen, 2011, S. 433ff) berücksichtigt. Die spezifische Verkehrsmittelwahl mit dem MNL-Modell ist ähnlich aufgebaut, wie in Kapitel 4.1.3.3 beschrieben. Das Modell berücksichtigt zusätzlich Moduskonstanten in der Nutzenfunktion. Diese bemessen den Beitrag zur Nutzenfunktion von Attributen, die sonst nicht explizit enthalten sind, wie unter anderem Komfort, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Diese Attribute sind nicht für alle Verkehrsmittel und Personen gleich, weshalb die Moduskonstanten personengruppen- und modusspezifisch sind. Diese werden anhand von Referenzdaten geschätzt (Heinrichs, Cyganski, et al., 2016). Das MNL-Modell für die Verkehrsmittelwahl ist deshalb in TAPAS so zu beschreiben:

Die Auswahlwahrscheinlichkeit p für die Modusalternative j durch Personengruppe g ist implementiert durch:

$$p_{gj} = \frac{e^{\beta_{gj}c_{gj}}}{\sum_{j \in J} e^{\beta_{gj}c_{gj}}}$$

Die v_{gj} Nutzenfunktion ist deshalb dargestellt durch $v_{gj} = \beta_{gj}c_{gj}$.

J : Menge der Modusalternativen

β : Moduskonstante

c : Abhängiger Nutzen (abhängig von Reisezeit, Wegezweck, Alter, Führerschein, Pkw-Verfügbarkeit, ÖPNV-Kartenbesitz)

Des Weiteren kann in TAPAS sogenanntes Expert*innenwissen zur Berücksichtigung von „weichen“ Szenarioaspekten durch heuristische Verlagerungsvolumina einfließen, wie zum Beispiel Radsicherheit, verlässlicher ÖPNV und autonomes Fahren (Heinrichs, Cyganski, et al., 2016).

Die weiteren Ziele mit geringerer Priorität werden schrittweise in die Reisekette eingefügt, indem gegebenenfalls auch vorhandene Fahrten aus dem vorherigen Schritt aufgespalten werden. Dabei werden Einschränkungen bei der Wahl des Verkehrsmittels und des Standorts berücksichtigt, insbesondere bei Reiseketten, in denen private Autos und Fahrräder genutzt werden, welche am Ende des Tages wieder mitgenommen werden müssen. In TAPAS werden die Aktivitätenpläne ebenfalls modifiziert, wenn der ausgewählte Plan zeitlich nicht realisierbar ist oder die festgelegte finanzielle Obergrenze der Agent*innen überschreitet. In solchen Situationen werden die Dauer der Aktivitäten sowie die Wahl der Verkehrsmittel oder Ziele entsprechend angepasst. Der so erstellte Tagesplan wird nun bewertet. Dabei fließen Abweichungen der Gesamtreisezeit, Kosten und Abweichungen zur Tagebuchklasse ein. Aus dieser Bewertung errechnet sich eine Auswahlwahrscheinlichkeit, die gegen eine Zufallszahl geprüft wird. Wird ein Plan nicht akzeptiert, wird ein neuer Plan generiert. Dies wiederholt sich, bis ein Schwellwert für die maximale Plananzahl erreicht wird. Dann wird der bisher beste Plan verwendet. Ist der Plan gewählt, werden individuelle Verkehrsmittel endgültig für die Zeitspanne belegt und die Kapazitäten der ausgewählten Gelegenheiten entsprechend reduziert (Heinrichs et al., 2017; Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016). Durch die Rückkopplung mit einem Verkehrsfluss- und Umlegungsmodell (SUMO) wird ein konsistenter Zustand von Nachfrage, Verkehrsbelastung und Reisezeiten erreicht (Heinrichs, Cyganski, et al., 2016).

7.1.3.1 Anwendungen von TAPAS

TAPAS wurde schon zu unterschiedlichen Zwecken benutzt. Einer dieser Zwecke ist die Politikberatung, in die auch diese Arbeit zuzordnen ist. In der Arbeit von Krajzewicz et al. (2016a) wird beispielsweise die Verwendung von mikroskopischen Verkehrsmodellen wie TAPAS zur Simulation von Emissionsmanagementmaßnahmen diskutiert, um die Wirksamkeit solcher Maßnahmen im Voraus zu bestimmen. Sie betonen die Bedeutung von mikroskopischen Modellen, die Veränderungen im Verkehrsfluss, im Fahrzeugbestand und im Nutzerverhalten replizieren können, um Veränderungen im Verkehrsfluss, im Fahrzeugbestand und im Nutzerverhalten zu simulieren (Krajzewicz et al., 2016a). Die Arbeit von Krajzewicz, Hardinghaus, et al. (2017) zeigt, wie TAPAS zur Unterstützung der Planung von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen genutzt werden kann. Die Studie beschäftigt sich mit der Modellierung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Berlin, um den Ladebedarf zu bestimmen und die entsprechende Ladeinfrastruktur zu planen (Krajzewicz, Hardinghaus, et al., 2017). Diese Beispiele zeigen, dass Modellierungen mit TAPAS dazu beitragen können, Verkehrsmaßnahmen fundierter zu planen und umzusetzen.

Mehlin et al. (2011) nutzen TAPAS zur Modellierung der Verkehrsnachfrage für das Jahr 2030 in mehreren demographischen Szenarien für Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern. Die Autor*innen leiten daraus Erkenntnisse für die zukünftige Infrastrukturentwicklung ab. TAPAS ist laut dieser Studie, gut geeignet, um zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen in der Verkehrsnachfrage zu untersuchen (Mehlin et al., 2011).

TAPAS wurde außerdem in verschiedenen Projekten der Bundesministerien eingesetzt, wie z.B. im Projekt RENEWABILITY (Zimmer et al., 2013) zur Berechnung der Nachfrage im Personenverkehr für

verschiedene Regionen in Deutschland. Weitere Projekte wie ENavi (Brakel, 2020), Move Urban (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), 2023a) und RAMONA (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), 2023b) nutzen TAPAS zur Simulation von Verkehrsverhalten und zur Untersuchung der Vernetzung mit dem Energiesektor.

TAPAS wird außerdem stetig weiterentwickelt, wie beispielsweise im Rahmen der Arbeit von Heinrichs et al. (2017). Die Autor*innen präsentieren dort einen integrierten Ansatz zur Modellierung von Carsharing als neuen Verkehrsmodus in TAPAS. Sie verwenden disaggregierte Fahrzeugflotten mit spezifischen Attributen und schätzen die Parameter für die Wahl des Verkehrsmittels anhand von Umfragedaten. Die Ergebnisse der Studie zeigen eine gute Übereinstimmung mit den realen Daten und verdeutlichen, dass die Integration von Carsharing in TAPAS möglich ist.

TAPAS wurde demnach sowohl in wissenschaftlichen Projekten als auch in Kollaboration mit öffentlichen Stellen erfolgreich eingesetzt. Zusammenfassend lässt sich schließen, dass TAPAS vielfältige Anwendungsmöglichkeiten hat, darunter die Simulation von Verkehrsmanagementmaßnahmen und die Untersuchung der Verkehrsentwicklung im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien und Emissionen. Zur Untersuchung von sozioökonomischen Dimensionen in der Verkehrsnachfrage sind jedoch noch keine Forschungen durchgeführt worden. Die Nutzung von TAPAS für diese Arbeit ist deshalb vielversprechend und das Erkenntnispotential hoch.

7.1.4 SUMO

SUMO wurde 2001 am DLR-VF entwickelt und ist seitdem zu einer umfassenden Open Source Verkehrssimulationssoftware erwachsen (Behrisch et al., 2011). Es umfasst Tools zur Erstellung von Straßennetzen, zur Generierung von Verkehrsnachfrage und zur Simulation von Verkehrssituationen. SUMO wird in verschiedenen Projekten eingesetzt, um Themen wie Routenwahl, Verkehrslichtalgorithmen und Fahrzeugkommunikation zu erforschen (Alvarez Lopez et al., 2018). In dieser Arbeit ist demnach besonders die Routenwahlberechnung in SUMO interessant. Die Routenwahl in SUMO erfolgt mikroskopisch mit dynamischer Navigation. Das ermöglicht es, die Auswirkungen des Verkehrsflusses auf mikroskopische Entscheidungen im Verkehr einzubeziehen, bis hin zum Spurwechsel oder dem Setzen des Blinkers eines Pkw. SUMO simuliert dabei auch Lichtsignalanlagen und andere Faktoren, die den Verkehrsfluss beeinflussen. Als Ergebnis des Einsatzes von SUMO zur Umlegung von Daten aus TAPAS produziert SUMO Routingdaten für die Wege aus der Verkehrsnachfrage. Diese Daten können unter anderem zur Untersuchung der Verkehrsbelastung des Netzes und daraus ableitend zur Emissionsmodellierung genutzt werden (Alvarez Lopez et al., 2018).

7.2 Parametrisierung der Modelle für die Szenarien

Die Modelle, die im vorherigen Unterkapitel vorgestellt wurden, wurden für die Umsetzung der Szenarien im Modell konfiguriert. Die wichtigen Aspekte dieser Parametrisierung werden in diesem Unterkapitel beschrieben.

7.2.1 Synthetische Bevölkerung

Die synthetische Bevölkerung inklusive der Pkw-Flotte, die im Rahmen dieser Arbeit für die Modellierung der Szenarien in dieser Masterarbeit genutzt wird, ist eine Bevölkerung, die auf der

Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD) 2017²³, Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes, Nexiga-Daten, öffentlichen Daten der Stadt Berlin, der Zeitverwendungserhebung 2001/02, dem Mikrozensus und der Einkommens- und Verbrauchsstrichprobe 2003 basiert. Sie wurde am DLR-VF 2018 erstellt und wird für alle drei Szenarien verwendet.

Die Verteilung von Führerschein, Autobesitz, ÖPNV-Ticket und Fahrradbesitz auf die Personen und Haushalte ist abhängig von anderen sozioökonomischen Eigenschaften. Die Variablen, welche in die jeweiligen Regressionsmodelle einfließen, sind in Tabelle 7-1 aufgeführt.

Tabelle 7-1: Die Einflüsse von sozioökonomischen Eigenschaften auf Auto-, Fahrrad-, ÖPNV-Ticket-, und Führerscheinbesitz in den Regressionsmodellen der synthetischen Bevölkerung.

Variable	Führerschein	Anzahl Autos ²⁴	ÖPNV-Ticket	Fahrrad
Geschlecht	x	x	x	x
Alter	x		x	x
Status	x	x	x	
Führerschein		x	x	
Haushaltsgröße	x	x	x	
Anzahl Autos im Haushalt			x	
Haushaltseinkommen	x	x	x	
Haushaltstyp		x		

7.2.2 SUMO

Durch den sehr hohen personellen und zeitlichen Aufwand, den die wiederholte Kopplung der Modelle fordert, war nur ein Durchlauf durch den Simulationsablauf (siehe Abbildung 6-1) möglich. Deshalb wurde für die Modellierung der Szenarien nicht mit Reisezeitmatrizen eines unbelasteten Netzes (aus UrMoAC) gestartet (wie in Kapitel 7.1 beschrieben), sondern mit denen eines belasteten Netzes von einer Szenarienmodellierung mit Umlegung in SUMO mit der oben genannten synthetischen Bevölkerung für Berlin. Dieses Szenario wird im Folgenden als „Ursprungsszenario“ bezeichnet. Es ist davon auszugehen, dass die Werte dieses Szenarios eine sehr gute Basis für die Untersuchung der Szenarien in dieser Arbeit darstellen, da die Modellparametrisierung auch im sonstigen Aufbau kaum von diesem Ursprungsszenario abweicht. Des Weiteren ist es sehr wichtig zu bemerken, dass lediglich die MIV-Reisezeiten für alle Szenarien neu berechnet wurden, die Reisezeiten der anderen Modi jedoch identisch zum Ursprungsszenario übernommen wurden. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da die Maßnahmen aufgrund ihrer Beschaffenheit allesamt auf die anderen Modi keine nennenswerten Auswirkungen haben:

- Der Fahrradverkehr ist je nach Umsetzung der Maßnahmen gar nicht, oder nur in den Bereichen der Fußgänger*innenzonen eingeschränkt durch die Maßnahmen. Da diese

²³ Weitere Informationen zur MiD sind im Anhang A3 zu finden.

²⁴ „Die Verteilung des Fahrzeugbestands richtet sich nach dem Einkommen, der Haushaltsgröße und dem Vorhandensein eines Führerscheins, wobei maximal zwei Autos pro Haushalt zulässig sind, was den Anteil von weniger als 1 % der Haushalte in Berlin widerspiegelt, die mehr Autos besitzen. Leider wird die Bevölkerungsdichte aufgrund der unzureichenden räumlichen Auflösung der Daten nicht in den Verteilungsalgorithmus integriert. Dies führt zu einem leicht überschätzten Motorisierungsgrad in der Innenstadt“ (Heinrichs, Krajzewicz, et al., 2016, S. 158).

Einschränkungen und daraus folgend Reisezeitveränderungen minimal wären, sind diese Änderungen vernachlässigbar.

- Da sich die Verkehrssituation für den Fußverkehr durch die Maßnahmen zwar verbessert, sich jedoch Reisegeschwindigkeiten des Fußverkehrs dadurch nicht nennenswert verändern können²⁵, sind die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Fußverkehr auch vernachlässigbar.
- Der einzige Bereich des ÖPNV, der durch die Maßnahmen betroffen wäre, wäre der Busverkehr. Buslinien, die aktuell über Straßen fahren, die in den Szenarien nicht mehr befahrbar wären, wie z.B. die Buslinie 140, würden verlegt, sodass dennoch eine vergleichbare Anbindung vor Ort verfügbar wäre. Deshalb sind die Veränderungen für den ÖPNV und die ÖPNV-Reisezeiten vernachlässigbar.

Die Maßnahmen (siehe Tabelle 7-3), wurden mit Hilfe des netedit-Tools von SUMO im Modell implementiert, wie in den folgenden Unterkapiteln erklärt wird.

7.2.2.1 „Nur Bus“-Straßen

„Nur Bus“ Straßen wurden implementiert, indem den betroffenen Kanten im Netz die Erlaubnis für den MIV in beide Richtungen entzogen wurde.

7.2.2.2 Diagonalsperre

Diagonalsperren wurden implementiert, indem die Abbieger für den MIV an den Kreuzungen/Knoten verändert wurden. Die Abbieger sind am Ende so umgesetzt, dass der MIV eine diagonale Sperre über die Straße nicht durchqueren kann. In Abbildung 7-1 wird es sichtbar, wie für die Diagonalsperren die Abbieger verändert wurden.

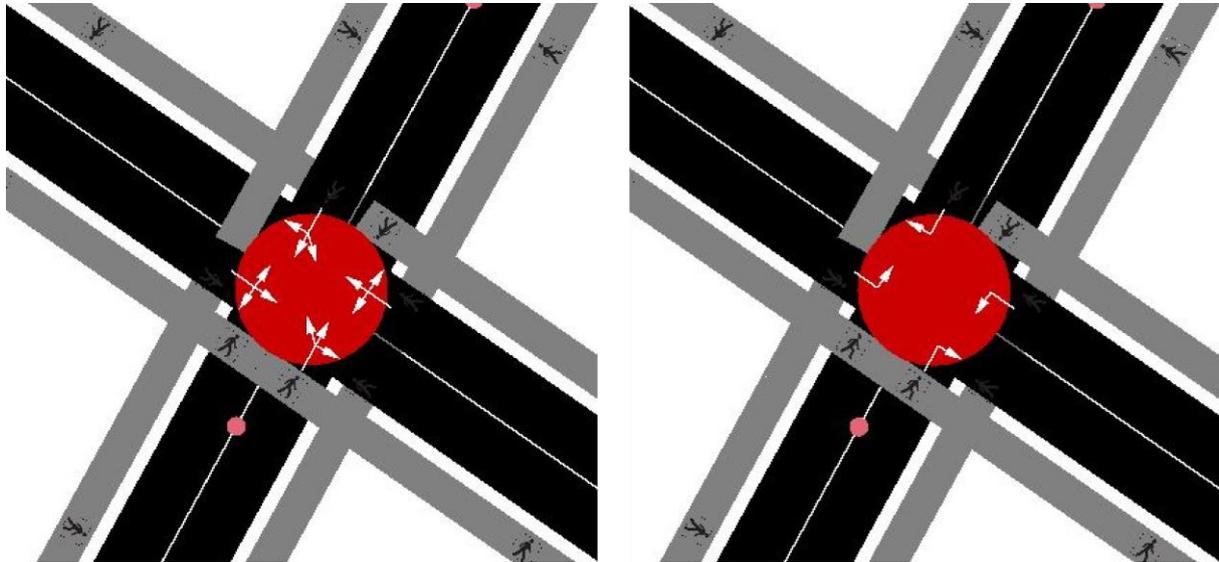


Abbildung 7-1: Veränderung der Abbieger zur Umsetzung einer Diagonalsperre. Links die Kreuzung ohne Diagonalsperre mit Abbiegern in alle möglichen Richtungen. Rechts die Kreuzung mit Diagonalsperre, die die Kreuzung von Südwesten nach Nord-Osten durchquert. Dort kann der MIV nur jeweils in eine Richtung abbiegen entlang der Diagonalsperre. Abbildungen aus dem Programm Netedit.

²⁵ Es wird davon ausgegangen, dass niemand für einen alltäglichen Weg joggen oder rennen wird, nur weil sich die Bedingungen für den Fußverkehr durch eine Fußgänger*innenzone verbessert haben.

7.2.2.3 Einbahnstraße

Einbahnstraßen wurden dadurch implementiert, dass die Straßenbenutzung auf den betroffenen Kanten für den MIV in die der gewünschten Fahrtrichtung entgegengesetzte Richtung verboten wurde.

7.2.2.4 Fußgänger*innenzone

Fußgänger*innenzonen wurden umgesetzt, indem die Durchfahrt für Fahrzeuge außer Fahrräder verboten wurde.

7.2.2.5 Schulzone

Dadurch, dass Spurverengung und Straßengestaltung nicht abgebildet werden können, beschränkte sich die Umsetzung der Schulzonen im Modell auf eine Herabsenkung der Geschwindigkeitsbegrenzung auf Schrittgeschwindigkeit (1,38m/s beziehungsweise 5km/h).

7.2.3 UrMoAC

Das Netz, das für die Modellierung in dieser Arbeit genutzt wurde, basiert auf einem Netz, welches am DLR-VF für Berlin in den 2010-er Jahren erstellt wurde. Als Basis dienten Open-Street-Map-Daten und Daten der öffentlichen Verwaltung Berlins.

7.2.4 TAPAS

TAPAS wurde bis auf die Zu- und Abgangszeiten für den MIV unverändert von vorherigen Modellierungen (aus den 2010-er Jahren) für Berlin übernommen. Obwohl das Untersuchungsgebiet im Vergleich zu gesamt Berlin nur sehr wenig Fläche einnimmt, wird für diese Forschung die Verkehrsnachfrage im kompletten Bundesland simuliert. Veränderungen der Attraktivität der unterschiedlichen Modi durch die Maßnahmen (beispielsweise durch sicherere oder ruhigere Straßen) wurden vernachlässigt und nicht in die Moduskonstanten oder Expert*innenwissen in TAPAS übernommen.

Durch die Einführung von Fußgänger*innenzonen und „Nur Bus“-Straßen wurde von einer bedeutenden Reduktion der Parkplätze ausgegangen, jedoch von keiner Veränderung durch die Maßnahmen in der Pkw-Anzahl oder Flotte. Die Parkplatzreduktion wurde mit Hilfe von Daten vom OpenStreetMap Parkraum Projekt für Berlin (2023) berechnet, vervollständigt durch eigenhändige Erfassung von Parkplätzen.

Es ergibt sich für die Tvz 137 eine Reduktion der Parkplätze von 867 im Ursprungsszenario um 107 auf 760 im 2. Maßnahmenzenario. Für die Tvz 138 ergibt sich eine Reduktion der Parkplätze von 696 im Ursprungsszenario um 71 auf 625 im Basisszenario (-10%) (und davon übernommen auch im 1. Maßnahmenzenario). Zusätzlich ergibt sich für die Tvz 138 eine weitere Reduktion der Parkplätze von 625 im Basisszenario um 93 auf 532 im 2. Maßnahmenzenario (-15%).

Dadurch verändern sich die Abgangszeiten des MIV in den Teilverkehrszellen 137 und 138 wie in Tabelle 7-2 deutlich wird. Diese Veränderungen bewegen sich dennoch im Bereich unter einer Minute zusätzlichem Zeitaufwand.

Tabelle 7-2: Abgangszeiten des MIV in den Szenarien.

Teilverkehrszellen des Untersuchungsgebiets	Abgangszeit Basisszenario [sec]	Abgangszeit 2. Maßnahmenzenario [sec]	Veränderung 2. Maßnahmenzenario zu Basisszenario [sec]
136	504	504	0
137	357	378	+21
138	385	417	+32
139	183	183	0
140	213	213	0

7.2.5 Übersicht der Implementierung der Maßnahmen in den Szenarien

Zum Abschluss dieses Unterkapitels erfolgt eine Übersicht über die Maßnahmen, die in den drei Szenarien implementiert wurden. Grundlegend kann geschlossen werden, dass die Szenarien zu großen Teilen auf dem Ursprungsszenario basieren. Im Basisszenario wurden im Vergleich zum Ursprungsszenario Veränderungen in der Verkehrsinfrastruktur nachgerüstet um somit das Netzmodell auf einen aktuellen Stand zu bringen. Die Tabelle 7-3 listet alle Veränderungen in den Szenarien auf. Sie ist angelehnt an die Tabelle 5-3 aus Kapitel 5.5, zeigt jedoch alle Veränderungen inklusive der Aktualisierungen des Ursprungsszenarios zum Basisszenario, die im Rahmen dieser Arbeit im Modell implementiert wurden und außerdem die Parkplatzreduktion, die sich durch die Maßnahmen ergibt. Wichtig ist zu bemerken, dass die Maßnahmen aufeinander aufbauen. Veränderungen, die im 1. Maßnahmenzenario implementiert werden, werden im 2. Maßnahmenzenario beibehalten.

Tabelle 7-3: Im Modell umgesetzte Maßnahmen pro Szenario inklusive der Aktualisierungen des Ursprungsszenarios zum Basisszenario.

ID	Ort	Szenario
 Nur Bus		
B1	137, 138 Oranienstraße zwischen der westlichen Seite des Oranienplatzes und der Ecke Oranienstraße /Manteuffelstraße	2
B2	137 Reichenberger Straße zwischen Segitzdamm und Kottbusser Tor	2
 Diagonalsperre		
D1	137 Kreuzung Legiendamm / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D2	137 Kreuzung Leuschnerdamm / Waldemarstraße. Sperre in Nord-Süd-Richtung	2
D3	136 Kreuzung Adalberstraße / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D4	138 Kreuzung Manteuffelstraße / Waldemarstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	1
D5	139 Kreuzung Manteuffelstraße / Wrangelstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
D6	140 Kreuzung Zeughofstraße / Wrangelstraße. Sperre in Ost-West-Richtung	2
 Einbahnstraße		
	136 Mariannenplatz südliches Ende, Halbkreis zwischen Waldemarstraße und Waldemarstraße in Richtung Osten	0

ID		Ort	Szenario
	137	Leuschnerdamm zwischen Oranienstraße und Waldemarstraße in Richtung Norden	0
	143	Mariannenstraße zwischen Reichenberger Straße und Paul-Lincke-Ufer	0
E1	136	Mariannenplatz (östliche Seite) zwischen Wrangelstraße und Waldemarstraße in Richtung Süden	1
E2	139	Pücklerstraße zwischen Köpenicker Straße und Muskauer Straße in Richtung Süden	1
E3	138	Manteuffelstraße zwischen Oranienstraße und Waldemarstraße in Richtung Norden	1
 Fußgänger*innenzone			
	138	Straßen westlich, nördlich und östlich um den Lausitzer Platz und die Eisenbahnstraße zwischen Lausitzer Platz und Muskauer Straße	0
F1	138	Eisenbahnstraße zwischen Muskauer Straße und Wrangelstraße	1
F2	137	Adalbertstraße zwischen Kottbusser Tor und Oranienstraße	2
F3	143	Reichenberger Straße zwischen Kottbusser Tor und Mariannenstraße	2
F4	136	Süd-westlicher Teil des Mariannenplatzes zwischen Waldemarstraße (westlich) und Mariannenstraße (südlich)	2
 Schulzone			
S1	136	Mariannenplatz nördliches Ende zwischen Einmündung Bethaniendamm und Wrangelstraße	1
S2	139	Wrangelstraße zwischen Mariannenplatz und Manteuffelstraße	1
S3	138	Waldemarstraße zwischen Manteuffelstraße und Pücklerstraße	1
 Parkplatzreduktion			
	137	Reduktion der Parkplätze von 867 im Ursprungsszenario um 107 zu 760 im 2. Maßnahmenszenario (-12%)	2
	138	Reduktion der Parkplätze von 696 im Ursprungsszenario um 71 zu 625 im Basisszenario (-10%) (und darauf aufbauend auch im 1. Maßnahmenszenario)	0
	138	Weitere Reduktion der Parkplätze von 625 im Basisszenario um 93 zu 532 im 2. Maßnahmenszenario (-15%)	2

7.3 Metriken

In dieser Forschungsarbeit werden einige Metriken herangezogen, um die Daten auszuwerten. Im folgenden Unterkapitel werden diese erklärt und kontextualisiert.

7.3.1 Modal Split

Der Modal Split, auch Modal Share oder Mode Choice genannt, ist eine Metrik, die die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf verschiedene Verkehrsmittel beschreibt. Die Kenngröße Modal Split wird seit Mitte des letzten Jahrhunderts sowohl im Verkehrsingenieurwesen, als auch in der Verkehrsforschung

und in weiteren verkehrsbezogenen Bereichen angewandt als auch in der öffentlichen Kommunikation und in den Medien verwendet (vgl. Ungvarai, 2019).

Eine Dimension der Komplexität, die durch den Modal Split nicht abgebildet wird, ist die Intermodalität, das heißt, für einen Weg²⁶ mehrere Verkehrsmittel zu nutzen. Stattdessen wird immer nur das Hauptverkehrsmittel²⁷ gezählt und somit in der Statistik abgebildet. Der Modal Split wird oft in zwei Varianten angewendet: Zur Darstellung (1) der prozentualen Verteilung des Verkehrsaufkommens (Wege, Tonnen) oder (2) der Verkehrsleistung (Personenkilometer, Tonnenkilometer) differenziert nach den Verkehrsmitteln (Ungvarai, 2019).

In dieser Arbeit wird -solange nicht anders ausgewiesen- die erste Variante verwendet: der Modal Split als Aufteilung der Wege auf die unterschiedlichen Verkehrsmittel unabhängig davon, wie lang diese Wege jeweils sind.

7.3.2 Modal Shift

Der Modal Shift bezeichnet die Veränderung des Modal Splits zwischen zwei Zeitpunkten oder aufeinander aufbauenden Szenarien. Diese absolute oder relative Veränderung wird aus den Modal Splits beider Zeitpunkte/Szenarien berechnet.

7.3.3 Reisezeit

Als Reisezeit wird in dieser Arbeit die Zeit verstanden, die für den Weg zwischen Start- und Endpunkt eines Weges benötigt wird. Dazu zählen sowohl Zu- als auch Abgangszeiten zum Verkehrsmittel. Sie wird in Sekunden, jedoch vor allem in Minuten bemessen.

7.3.4 Wegstrecke

Als Wegstrecke wird in dieser Arbeit die komplette Strecke zwischen Quell- und Zielpunkt eines Weges verstanden. In den Simulationsergebnissen ist zu bemerken, dass die Wegstrecke nicht Ergebnis eines konkreten Routings ist, noch die Luftlinie, sondern eine angenäherte Entfernung, die auf der Berechnung des Netzes beruht.

7.4 Datenauswertung

7.4.1 Aggregationsebene Haushalt und Person

Die Auswertung der Modelldaten erfolgt auf der Basis von einzelnen Wegen und einzelnen Personen. Da einige Daten nur auf Haushaltsebene vorliegen, werden manche Attribute auf alle zugehörigen

²⁶ Definition Weg: Ein Weg beschreibt eine Verkehrsstrecke von einem Startpunkt zu einem Endpunkt für einen bestimmten Zweck. Auf einem Weg können verschiedene Verkehrsmittel genutzt werden. Die einzelnen die einzelnen Etappen und Umstiege zwischen Verkehrsmitteln zählen dabei nicht als einzelne Wege. Nur bei Unterbrechungen mit dem Ziel einer Aktivität werden unterschiedliche Wege einzeln gezählt (vgl. Robert Follmer, 2019).

²⁷ Definition Hauptverkehrsmittel: Sowohl in der Erhebung Mobilität in Deutschland 2017 als auch in den verwendeten Verkehrsmodellen wird jeweils das höchstrangige Verkehrsmittel für den Modal Split herangezogen. Die Rangfolge ist dabei ÖPNV, MIV, Fahrrad und zu Fuß (vgl. Robert Follmer, 2019).

Personen pro Haushalt projiziert. Diese Attribute sind: ökonomischer Status, Autobesitz im Haushalt und Alleinerziehendenstatus.

7.4.2 Modus MIV

In TAPAS werden MIV-Fahrer*innen und MIV-Mitfahrer*innen separat voneinander berechnet, was vor allem wichtig ist für die weitere Umlegung, da es dafür einen großen Unterschied macht, ob ein oder mehrere Fahrzeuge bewegt werden. Für diese Arbeit werden diese beiden Modi jedoch zusammengefasst, da es mehr um die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsverhalten geht. Die hier vorliegenden Werte für MIV beziehen demnach Fahrer*innen und Mitfahrer*innen ein und bedeuten nicht, dass bei jedem Weg, der mit dem MIV zurückgelegt wird, jeweils ein einzelnes Fahrzeug bewegt wird.

7.4.3 Alleinerziehendenstatus

Als Alleinerziehend werden in dieser Auswertung aus Ermangelung an Informationen über Betreuungszuständigkeiten alle Haushalte markiert, die nur einer erwachsenen Person (über 18) und mindestens einer minderjährigen Person (unter 18) bestehen. Durch die Projektion der Haushaltsattribute auf die zugehörigen Personen, bekommen somit sowohl die Erwachsenen, als auch die Minderjährigen den Status „alleinerziehend“.

7.4.4 Ökonomischer Status analog zu MID 2017

Zur Auswertung der Szenarien nach ökonomischem Status, ist eine fundierte Kategorisierung der Haushaltseinkommen der synthetischen Bevölkerung notwendig. Ein reiner Fokus auf das Haushaltseinkommen ist dabei jedoch nicht ausreichend. Zusätzlich muss die gewichtete Haushaltsgröße berücksichtigt werden. Für diese Arbeit wird dabei die Kategorisierung der MiD 2017 herangezogen, welche sowohl die gewichtete Haushaltsgröße, als auch das Haushaltsnettoeinkommen einbezieht (Nobis & Köhler, 2018, S. 17). Zur Gewichtung der Haushaltsgröße wird die Anzahl und das Alter der Haushaltsmitglieder betrachtet:

Kinder unter 14 Jahren gehen mit dem Faktor 0,3 ein. Die erste Person ab 14 Jahren im Haushalt erhält den Gewichtungsfaktor 1, alle weiteren Personen ab 14 Jahren den Faktor 0,5. [...] Anhand [einer] Matrix aus Haushaltsnettoeinkommen und gewichteter Haushaltsgröße wird jeder Haushalt einer von fünf Kategorien, die von sehr niedrig bis sehr hoch reichen, zugeordnet. (Nobis & Köhler, 2018, S. 17)

In Abbildung 7-2 wird deutlich, wie das Haushaltsgewicht zusammen mit dem Haushaltseinkommen den ökonomischen Status ergibt.

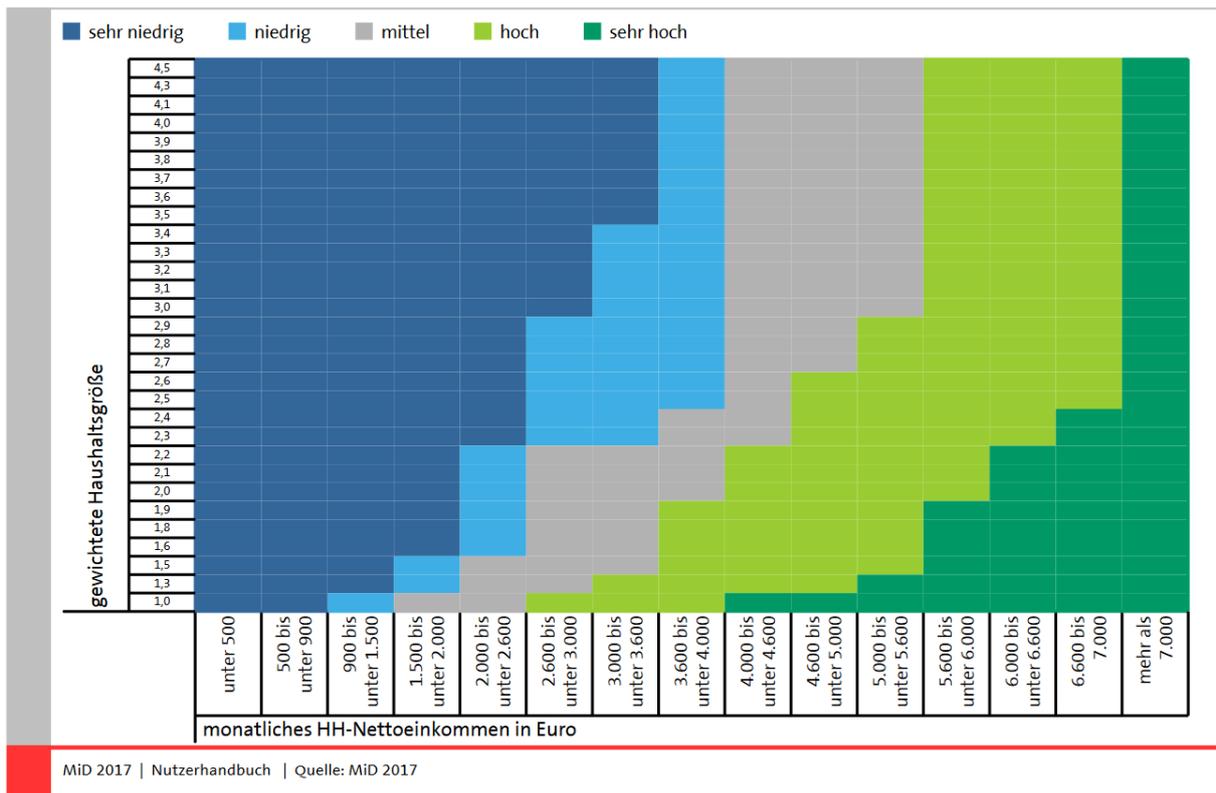


Abbildung 7-2: Matrix zur Bestimmung des ökonomischen Status. Abbildung aus dem Nutzerhandbuch für die MiD 2017 von Nobis und Köhler (2018, S. 18).

7.4.5 Rechnerische Datenanalyse und -Visualisierung.

Die Auswertung der Daten wurde mit Hilfe von Python gemacht. Zur Handhabung der großen Datenmengen wurden die Bibliotheken pandas (*pandas - Python Data Analysis Library*, o. J.) und numpy (*NumPy*, o. J.) genutzt. Für die Erstellung der Grafiken wurden die Bibliotheken Seaborn (*seaborn: statistical data visualization — seaborn 0.12.2 documentation*, o. J.) und Matplotlib (*Matplotlib — Visualization with Python*, o. J.) genutzt.

8 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse vorgestellt. Zuerst werden die synthetische Bevölkerung betrachtet und Kennwerte für unterschiedliche Analysedimensionen genannt. Danach erfolgt die Vorstellung der Modellergebnisse im Basisszenario, gemeinsam mit Studiendaten für Berlin und Friedrichshain-Kreuzberg. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der drei Szenarien in drei unterschiedlichen Verkehrsteilmengen gezeigt. Als letzten Punkt werden die Datenauswertungen der Verkehrsnachfrage nach den fünf sozioökonomischen Dimensionen vorgestellt.

8.1 Synthetische Bevölkerung

Die synthetische Bevölkerung sollte die reale Bevölkerung möglichst gut abbilden können (Cyganski et al., 2017). Deshalb wird die synthetische Bevölkerung auf ihre Zusammensetzung untersucht. In der Tabelle 8-1 sind die Daten für die synthetische Bevölkerung im Untersuchungsgebiet und in Friedrichshain-Kreuzberg aufgelistet. So werden für die Modellierung insgesamt 28 864 Agent*innen in 17 109 Haushalten für das Untersuchungsgebiet modelliert und insgesamt 350 471 Agent*innen in 200 413 Haushalten im gesamten Bezirk. Die Agent*innen haben in beiden Raumbezügen ein Durchschnittsalter von 42 Jahren und die Genderbalance zwischen weiblich und männlich neigt sich ganz leicht zur weiblichen Seite.

Für beide Raumbezüge fällt auf, dass mehr als die Hälfte der Personen nicht in einem Haushalt mit privatem Pkw-Zugang modelliert werden, wobei es im Untersuchungsgebiet knapp 70% und im Bezirk ca. 53% sind. Das resultiert in einer Motorisierungsrate von 191 Pkw/1000 Einwohner*innen im Untersuchungsgebiet und 234.1 Pkw/1000 Einwohner*innen in Friedrichshain-Kreuzberg. In beiden Raumbezügen besitzen ca. 73% der Einwohner*innen ein Fahrrad, 52% beziehungsweise 53% ein ÖPNV-Abo²⁸ und ca. 65% einen Führerschein.

Die Statusvariabel unterteilt sich in die Gruppen Nichterwerbspersonen (Kinder, Schüler*innen, Studierende, Rentner*innen, Erwerbslose und sonstige Nichterwerbspersonen [sonstige NEP]) und Erwerbspersonen (Vollzeit, Teilzeit, Auszubildende). In beiden Raumbezügen werden ca. 50% Nichterwerbspersonen modelliert.

Das durchschnittliche Haushaltseinkommen liegt im Untersuchungsgebiet bei 2241€ und ist damit um 30€ geringer als in Friedrichshain-Kreuzberg, wo es bei 2217€ liegt. Jedoch ist der Anteil der Menschen, die in Haushalten mit niedrigem und mittlerem ökonomischem Status wohnen höher im Untersuchungsgebiet als im gesamten Bezirk, wo mehr Menschen in Haushalten mit höherem ökonomischem Status leben, was durch den unterschiedlichen Kinderanteil bedingt ist.

²⁸ Ein ÖPNV-Abo schließt jede Art von ÖPNV-Abonnement oder Fahrtsausweis ein (auch Studierendentickets, Arbeitstickets, Schüler*innentickets, etc.). Dazu zählen Einzel- oder Mehrfahrtenkarten nicht.

Tabelle 8-1: Synthetische Bevölkerung und ihre Zusammensetzung für das Untersuchungsgebiet und für Friedrichshain-Kreuzberg.

Synthetische Bevölkerung	Untersuchungsgebiet									Friedrichshain-Kreuzberg										
Haushalte	17 109									200 413										
Haushaltsnettoeinkommen Ø	2241€									2217€										
Haushaltsgröße	2.29 Personen (1.68 Erwachsene, 0.62 Kinder)									2.40 Personen (1.78 Erwachsene, 0.62 Kinder)										
Motorisierungsrate je Haushalt	0			1			2+			0			1			2+				
	69.19%			29.40%			1.41%			52.92%			40.99%			6.09%				
Personen	28 864									350 471										
Alter Ø	42.16									42.10										
Altersstruktur	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<70	<80	>=80	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<70	<80	>=80		
	9.92	7.84	12.09	14.88	14.81	19.28	9.33	7.57	3.26	9.55	7.77	14.74	15.96	13.45	14.46	9.95	8.98	4.12		
Gender	männlich					weiblich				männlich					weiblich					
	49.71					50.29				49.1					50.9					
Erwerbsstatus	Auszubildende	Erwerbslose	Kinder	Rentner*innen	Schüler*innen	Studierende	Teilzeit	Vollzeit	Sonstige NEP	Auszubildende	Erwerbslose	Kinder	Rentner*innen	Schüler*innen	Studierende	Teilzeit	Vollzeit	sonstige NEP		
	1.15	4.59	6.57	15.31	8.54	4.82	12.74	35.62	10.67	1.14	4.27	6.19	17.89	8.55	5.22	12.61	36.05	8.08		
Ökonomischer Status nach MiD 2017	1		2		3		4		5		1		2		3		4		5	
	22.63		25.15		33.66		12.53		6.04		22.30		23.33		32.77		14.20		7.41	
Motorisierungsrate je Person	191.0 Pkw/1000 Einwohner*innen									234.1 Pkw/1000 Einwohner*innen										
Fahrradbesitz pro Person	0				1+					0				1+						
	27.14%				72.86%					27.28%				72.72%						
Führerscheinbesitz	Nein				Ja					Nein				Ja						
	34.85%				65.15%					35.44%				64.56%						
ÖPNV-Abo	Nein				Ja					Nein				Ja						
	47.92				52.08					46.7				53.3						

8.2 Basisszenario²⁹

8.2.1 Modal Split³⁰ im Modell und anderen Datenquellen

Der Modal Split im Basisszenario sollte für eine gute Anwendbarkeit des Modells nah am Modal Split aus offiziellen Erhebungen sein. Deshalb werden hier die Modelldaten für ganz Berlin und für Friedrichshain-Kreuzberg zusammen mit Daten aus der MiD 2017 (Ermes et al., 2020, S. 41) und der SrV 2018 (Gerike et al., 2019, S. 4) abgebildet, welche die beiden großen und vertrauenswürdigen Quellen für Mobilitätsenerhebungen in Berlin sind³¹. Für kleinräumigere Untersuchungen liegen keine (SrV 2018) beziehungsweise nicht ausreichend (MiD 2017) Erhebungsdaten vor, um sie mit Modelldaten zu vergleichen.

8.2.1.1 Berlin

Die Modal Splits für ganz Berlin des Modells, der MiD 2017 (Ermes et al., 2020, S. 41) und der SrV 2018 (Gerike et al., 2019, S. 4) sind in Abbildung 8-1 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Modelldaten beiden realen Erhebungen ähnlich sind, beziehungsweise die Simulation bei allen Modi mit ihren Werten zwischen den beiden Erhebungen liegt.

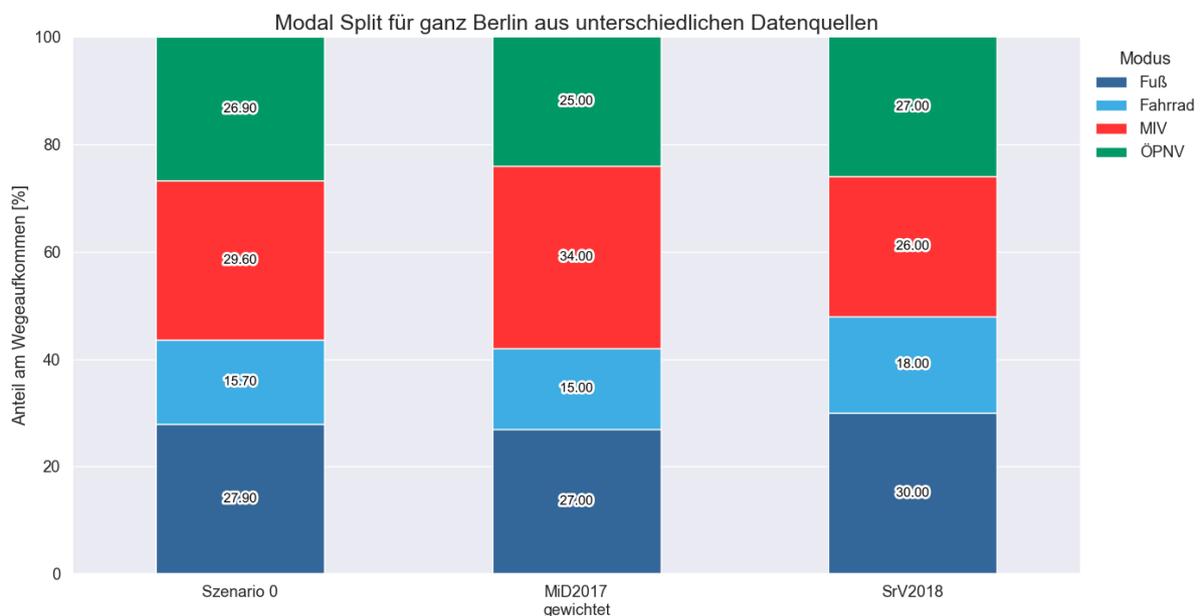


Abbildung 8-1: Modal Split für ganz Berlin aus dem Basisszenario, von der MiD2017 und von der SrV2018.

Die Daten der MiD sind die offiziellen Auswertungen der Quellen-, Ziel- und Binnenwege aus dem Regionalbericht Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg für das Jahr 2017 (Ermes et al., 2020, S. 41). Die Daten der SrV sind die offiziellen Auswertungen für das Jahr 2018 unter dem Sammelbegriff "Alle Wege" was Quellen-, Ziel- und Binnenverkehre einschließt und wenige Außen- und Durchgangsverkehre (Gerike et al., 2019, S. 4).

8.2.1.2 Friedrichshain-Kreuzberg

Bei Betrachtung des Modal Split für Friedrichshain-Kreuzberg in den Daten des Modells und der beiden realen Erhebungen, zu sehen in Abbildung 8-2, fallen deutliche Unterschiede auf, sowohl zwischen den beiden Erhebungen selbst, als auch im Vergleich

²⁹ Die Begriffe „Szenario 0“ und „Basisszenario“ werden synonym verwendet. Szenario 1 und 2 werden jeweils im Kontrast zum Basisszenario auch als Maßnahmenzenario 1 und 2 bezeichnet. Alle drei Szenarien entsprechen den in Kapitel 7.3 „Implementierung der Szenarien im Modell“ beschriebenen Szenarien.

³⁰ Bei allen Modal Split Darstellungen sollten die absoluten Werte laut Ungvarai (2019) mit genannt werden. Deshalb werden alle absoluten Werte für alle Ergebnisse jeweils im Anhang A7 zu finden sein.

³¹ Weitere Informationen zur MiD und zur SrV sind im Anhang A3 zu finden.

zu den Modelldaten. Bei der MiD 2017 (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Clearingstelle für Verkehr, 2020) und der SrV 2018 (Gerike et al., 2019, S. 4) unterscheiden sich grob nur die Fahrradverkehrs- und ÖPNV-Anteile³². Diese Unterschiede belaufen sich auf jeweils über ca. 15% und sind in

Tabelle 8-2 weiter aufgeschlüsselt. Die beiden Erhebungen stimmen jedoch sowohl im MIV-Anteil, als auch im Fußverkehrs-Anteil beinahe überein.

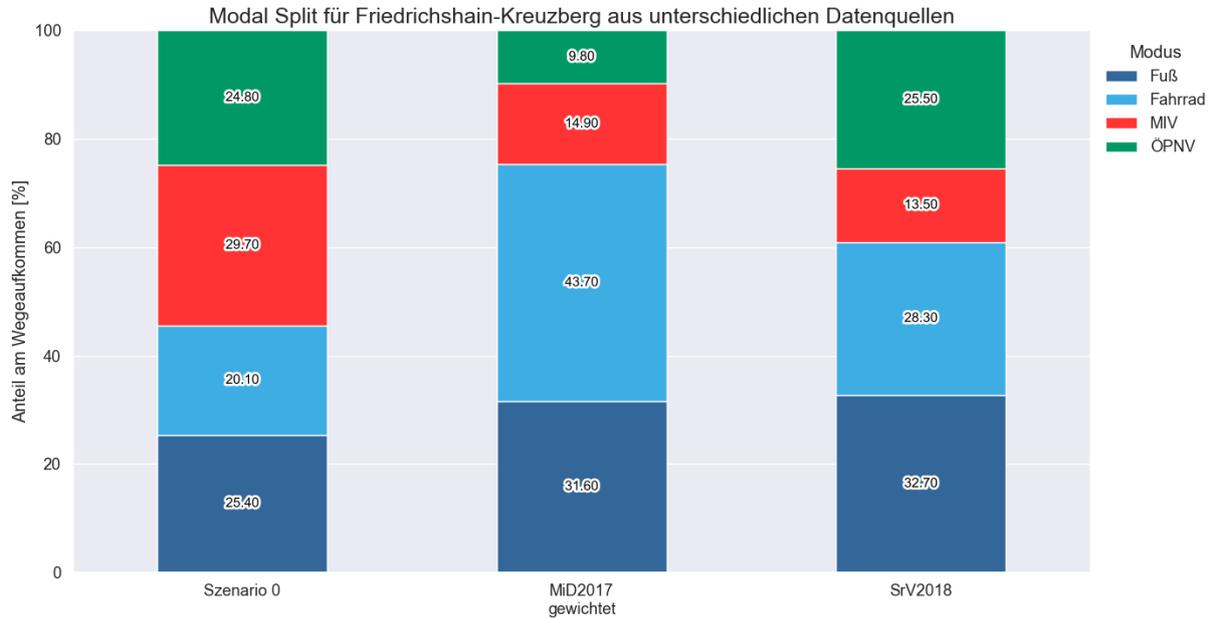


Abbildung 8-2: Modal Split für Friedrichshain-Kreuzberg aus dem Basisszenario, von der MiD2017 und von der SrV2018: Für die Daten des Basisszenarios wurde der Modal Split der Modellierung für Friedrichshain-Kreuzberg berechnet, wobei Quellen-, Ziel- und Binnenwege berücksichtigt wurden. Die Daten der MiD kommen aus eigenen Berechnungen beruhend auf dem B3-Datensatz für 2017 (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Clearingstelle für Verkehr, 2020) mit einer Anzahl von 1937 Wegen in der Stichprobe. Die Berechnungen schließen Quellen-, Ziel- und Binnenwege ein, welche mit den bereitgestellten Gewichten verrechnet wurden. Die Daten der SrV sind die offiziellen Auswertungen für das Jahr 2018 unter dem Sammelbegriff "Alle Wege" was Quellen-, Ziel- und Binnenverkehre einschließt und wenige Außen- und Durchgangsverkehre (Gerike et al., 2020, tbl. 6.6).

Tabelle 8-2: Zahlen der Modal Splits für den Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg aus dem Basisszenario, von der MiD 2017 und von der SrV 2018 zusammen mit Vergleichen zwischen den offiziellen Daten und der Modellierung im Basisszenario.

Modal Split Friedrichshain-Kreuzberg [%]	Basisszenario	Differenz Basisszenario zu MiD 2017	MiD Datensatzauswertung 2017 gewichtet	Differenz Basisszenario zu SrV 2018	SrV 2018 "Alle Wege"
MIV	29,7	+14,8	14,9	+16,2	13,5
Fußverkehr	25,4	-6,2	31,6	-7,3	32,7
Radverkehr	20,1	-23,6	43,7	-8,2	28,3
ÖPNV	24,8	+15	9,8	-0,7	25,5
Summe	100		100		100

³² Die Unterschiede zwischen MiD 2017 und SrV 2018 für Friedrichshain-Kreuzberg könnten dadurch zustande kommen, dass die MiD-Daten nicht offiziell für Friedrichshain-Kreuzberg vorliegen, sondern für diese Arbeit mit den bereitgestellten Gewichten der Wege in der Stichprobe berechnet wurden. Trotz der anweisungsgemäßen Auswertung der Daten, ist demnach nicht sichergestellt, wie zuverlässig die MiD-Daten auf Bezirksebene sind. Die SrV 2018-Daten für Friedrichshain-Kreuzberg sind deshalb als verlässlicher einzuschätzen.

8.3 Ergebnisse der Szenarien

Um zu untersuchen, wie sich die Maßnahmenszenarien vom Basisszenario unterscheiden, werden im Folgenden die allgemeinen Kennwerte Modal Split, Reisezeiten und Wegstrecken betrachtet.

8.3.1 Modal Split

Da die Verkehrsnachfrage für ganz Berlin modelliert wurde, werden hier drei Verkehrsteilmengen betrachtet:

1. Binnen-, Quell- und Zielverkehr, also Wege, die Start- und/oder Zielpunkt im Untersuchungsgebiet haben
2. Binnenverkehr, also Wege, die Start und Zielpunkt im Untersuchungsgebiet haben
3. Verkehr der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets, also alle Wege, die die Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets zurücklegen in gesamt Berlin

8.3.1.1 Modal Split Binnen-, Quell-, und Zielverkehr

Der Modal Split für Binnen-, Quell-, und Zielverkehr in den drei Szenarien ist in Abbildung 8-3 abgebildet. Im Basisszenario und im Maßnahmenszenario 1 werden jeweils ca. ein Viertel der Wege mit dem MIV und dem ÖPNV zurückgelegt und ca. die andere Hälfte der Wege mit aktiver Mobilität (ca. 30% zu Fuß und ca. 20% mit dem Fahrrad). In Szenario 2 ergibt sich eine deutlich andere Aufteilung der Wege auf die Verkehrsmittel mit ca. 60% aktiver Mobilität (ca. 37% zu Fuß und 23% mit dem Fahrrad), ca. 18% ÖPNV und nur ca. 12% MIV.

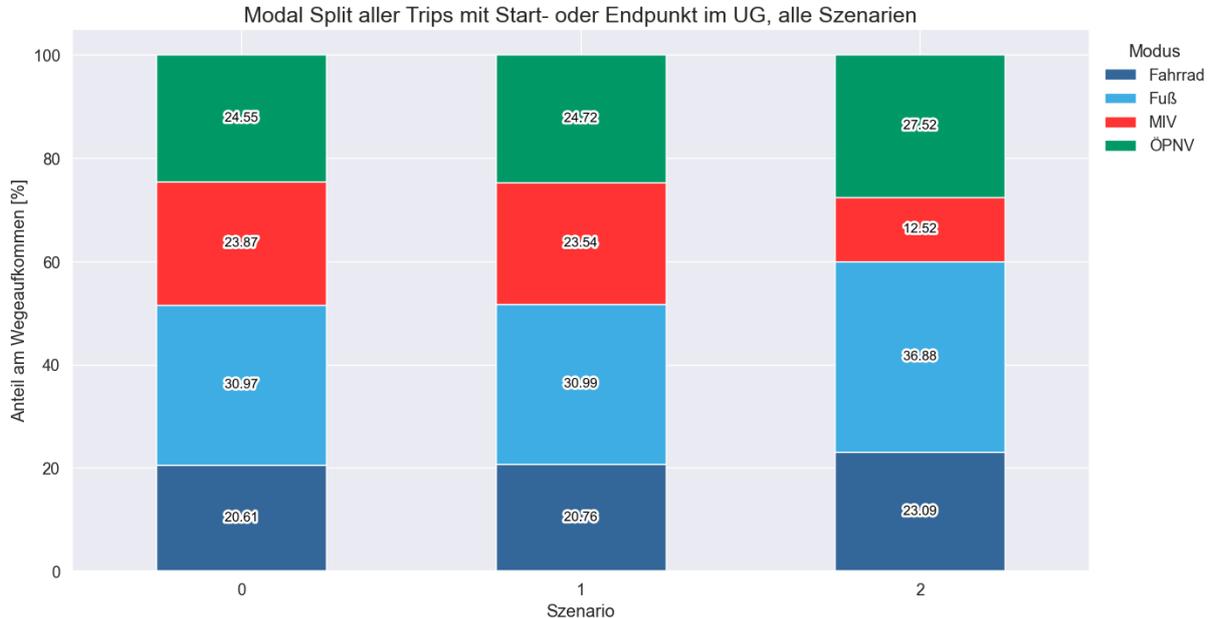


Abbildung 8-3: Modal Split des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.1 zu finden.

In Abbildung 8-4 sind die Modal Shifts der beiden Maßnahmenszenarien zum Basisszenario separat abgetragen. Es ist deutlich erkennbar, dass der Modal Split sich kaum zwischen dem Basisszenario und Szenario 1 verändert. Zum Szenario 2 gibt es jedoch eine deutliche Veränderung mit einer Verringerung des MIV-Anteils um 11,35% was fast einer Halbierung des Anteils entspricht. Das führt zu einer Verlagerung auf den Umweltverbund. Den größten Zuwachs hat der Fußverkehr, um knapp 6% (was einer relativen Steigerung um knapp 20% entspricht), gefolgt vom Fahrradverkehr und ÖPNV, welche jeweils einen 2-3% größeren Anteil (relativ ein 12%-en Zuwachs) besitzen.

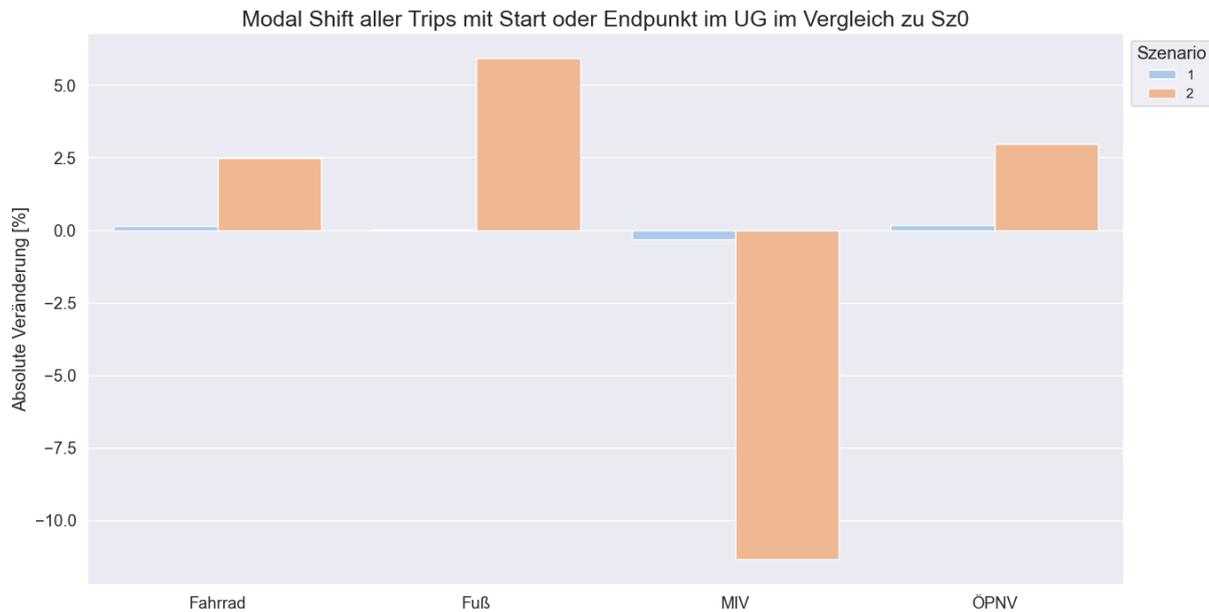


Abbildung 8-4: Modal Shift des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) der beiden Maßnahmenszenarien zum Basisszenario.

Für diese Teilmenge der Wege lohnt sich auch eine Betrachtung des Modal Splits nach Personenkilometern, wie in Abbildung 8-5 dargestellt, statt nach Wegeaufkommen, wie die bisherige Betrachtung behandelte. Hier fällt auf, dass dieser Modal Split deutlich höhere Anteile des MIV und ÖPNV hat, jedoch einen deutlich kleineren Anteil des Fußverkehrs und einen wenig geringeren Fahrradverkehrsanteil. Das bedeutet, dass dieser Modal Split in allen drei Szenarien auf die Verkehrsmittel verschoben ist, die eher für längere Entfernungen genutzt werden: der ÖPNV und der MIV. Beachtenswert ist auch hier, dass es kaum Unterschiede zwischen dem Basisszenario und dem 1. Maßnahmenszenario gibt, zum 2. Maßnahmenszenario jedoch sehr deutliche. Bei letzterem umfasst der Modal Split fast 10% mehr ÖPNV und fast 15% weniger MIV. Sowohl beim Fuß- als auch beim Fahrradverkehr hingegen steigen die Anteile jeweils nur um ca. 2%. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass eine weitere Untersuchung des Modal Splits nach Wegstrecken sinnvoll ist. Das wird in Kapitel 8.3.3 getan.

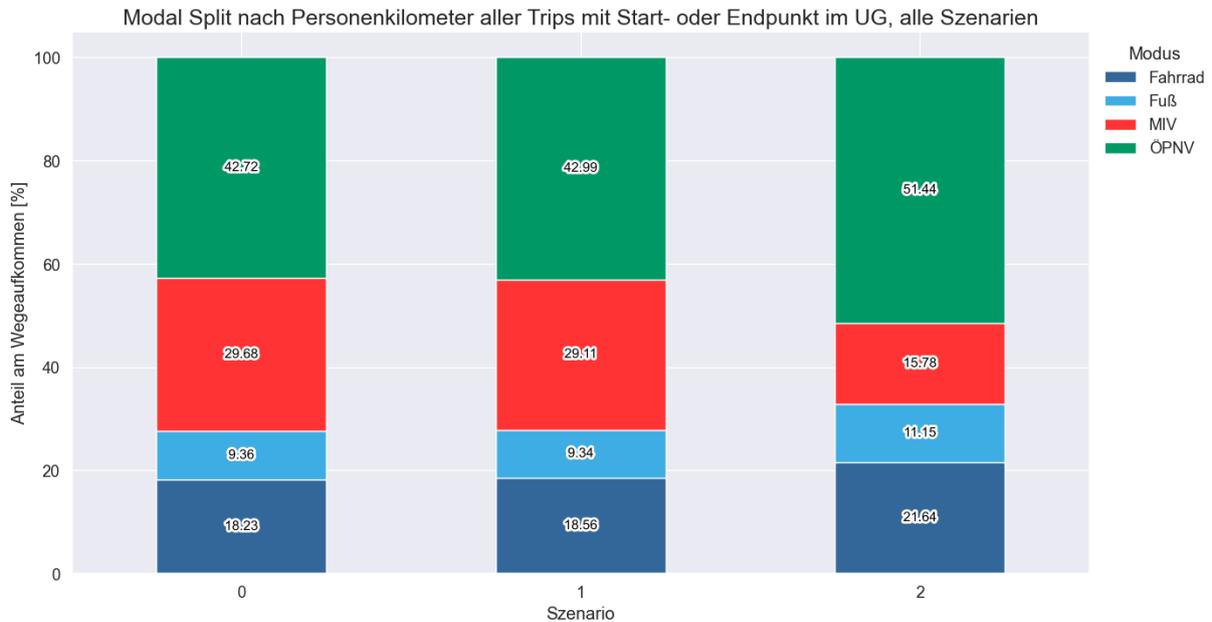


Abbildung 8-5: Modal Split des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs in allen drei Szenarien nach Personenkilometern.

8.3.1.2 Modal Split Binnenverkehr

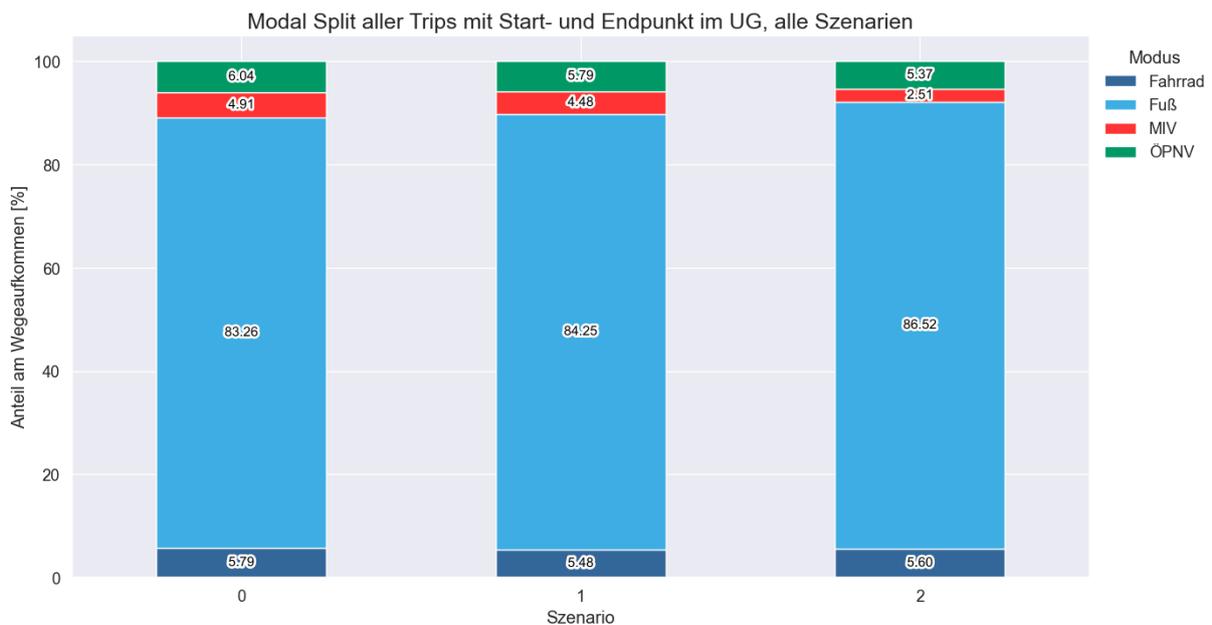


Abbildung 8-6: Modal Split des Binnenverkehrs des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.2 in Tabelle 13-3 zu finden.

Bei der Betrachtung des Modal Splits des Binnenverkehrs des Untersuchungsgebiets in Abbildung 8-6 fällt auf, dass in allen drei Szenarien der Fußverkehr mit über 80% den größten Anteil hat über 80%, wobei dieser Anteil im 2. Maßnahmenszenario mit 86,52%, also mit einem Unterschied von 3,26%, am größten ist. Der Unterschied von 2,3% beim MIV bedeutet fast eine Halbierung des MIV-Anteils. Bei der Betrachtung dieser Teilmenge an Wegen fällt erneut auf, dass der Unterschied zwischen dem

Basisszenario und dem 1. Maßnahmenszenario deutlich geringer ist, als der zwischen dem Basisszenario und dem 2. Maßnahmenszenario.

8.3.1.3 Modal Split Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets

Die Einwohner*innen in der synthetischen Bevölkerung des Untersuchungsgebiets unternehmen in ihrem Tagesplan viele unterschiedliche Wege im und außerhalb des Untersuchungsgebiets. Die Diskussion rund um Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen dreht sich oft darum, wie diese die Anwohner*innen beeinflussen werden. Deshalb lohnt sich die Betrachtung des Modal Splits der Bewohner*innen des Untersuchungsgebiets.

In den Modelldaten haben jeweils nur ca. 18% Wege der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets Start- oder Endpunkt im Untersuchungsgebiet. In Abbildung 8-7 wird deutlich, dass sich auch hier der Modal Split zwischen dem Basisszenario und Szenario 1 nicht wesentlich verändert. Der große Unterschied zwischen Szenario 2 und dem Basisszenario, der im Modal Shift des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des UG zu erkennen war, ist hier nicht vorhanden. Auch hier lässt sich jedoch die gleiche Tendenz erkennen: Der MIV-Anteil ist um ca. 2% (relativ um ca. 11%) geringer. Dafür sind die Anteile des Umweltverbundes jeweils ein wenig höher, am meisten auch hier beim Fußverkehr.

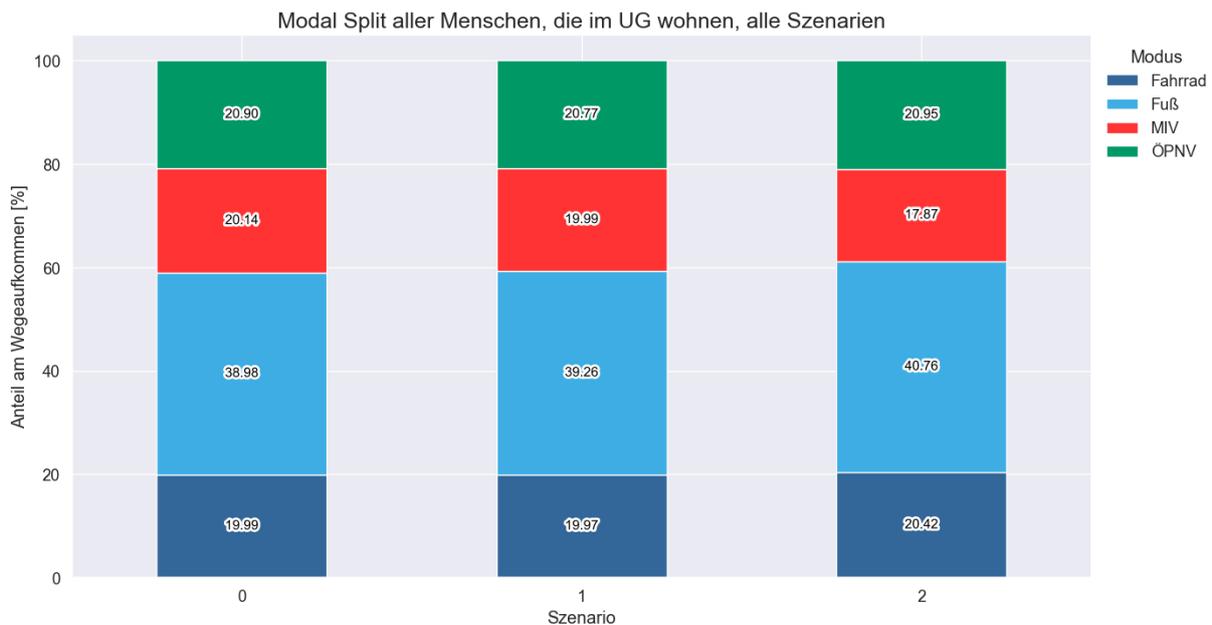


Abbildung 8-7: Modal Split aller Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets (UG) in allen drei Szenarien. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.3 zu finden.

8.3.2 Reisezeiten

Für diese und alle weiteren Untersuchungen wird die Verkehrsteilmenge der Binnen-, Quell- und Zielverkehre im Untersuchungsgebiet betrachtet. Die mittlere Reisezeit im Basisszenario dieser Verkehrsteilmenge liegt bei 28,45 Minuten im Median (Durchschnitt: 34,12 min). Sie verändert sich zum ersten Maßnahmenszenario kaum (Median: 28,55 min (+0,1), Durchschnitt: 34,18 min (+0,06)), konsistent mit den Ergebnissen des Modal Splits jedoch deutlich zum 2. Maßnahmenszenario (Median: 31,74 min (+ 3,29), Durchschnitt: 35,87 min (+1,75)).

In Abbildung 8-10 sind die Reisezeiten aller drei Szenarien aufgeschlüsselt nach Modus abgetragen. Dort zeigt sich deutlich, dass sich nur die Reisezeit beim MIV verändert, die der anderen Modi jedoch weitestgehend gleichbleiben. Die Reisezeitenveränderung des MIV erklärt deshalb die Veränderung der Reisezeiten komplett.

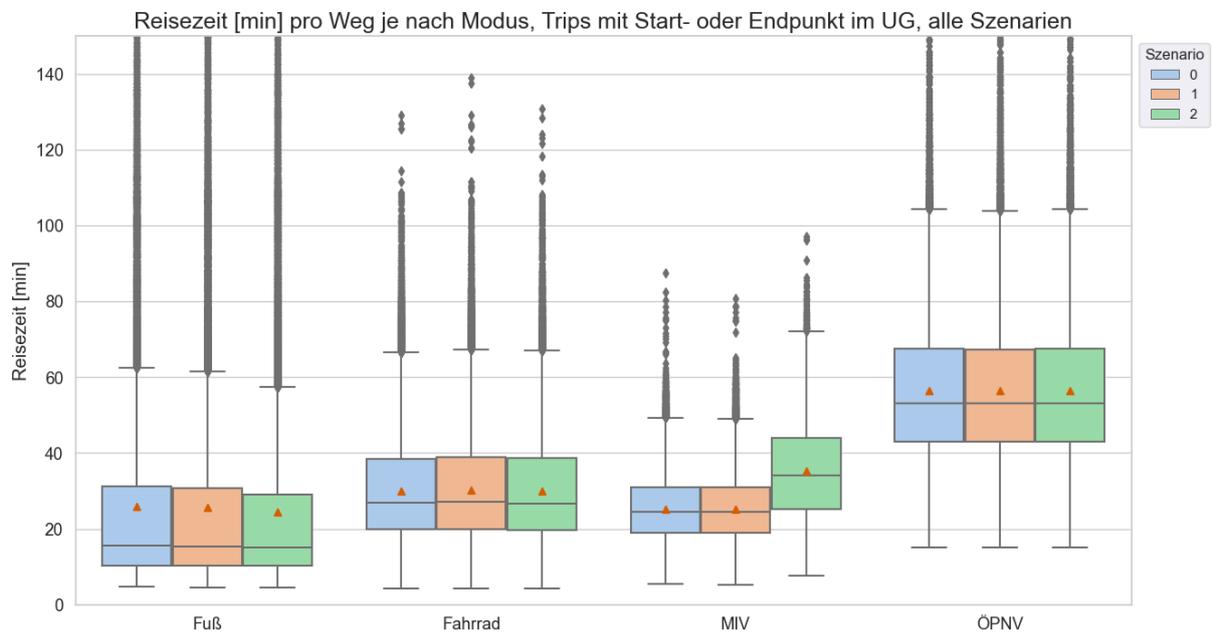


Abbildung 8-8: Die Reisezeiten in allen drei Szenarien aufgeschlüsselt nach den Modi. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.4 zu finden.

Aus dieser Beobachtung lohnt sich eine reine Betrachtung der Reisezeiten des MIV. In Abbildung 8-9 sind die MIV-Reisezeiten aller drei Szenarien dargestellt, wobei die Wege räumlich aufgeschlüsselt werden nach Teilverkehrszellen (Tzv) des Start- oder Endpunktes. (Die genaue räumliche Zuordnung der Tzv ist in Abbildung 5-1 einsehbar.) Hier werden zwei Punkte deutlich: Einerseits bestätigt die Darstellung die Beobachtung, dass sich in Szenario 1 fast keine Effekte auf die Reisezeiten der MIV-Wege ergeben haben. Andererseits wird deutlich, dass verschiedene Teilverkehrszellen unterschiedlich starke Veränderungen in den MIV-Reisezeiten haben. In Tzv 137 steigen die Reisezeiten am meisten, und zwar um ca. 25 Minuten (Durchschnitt: +24.17min, Median: +25.48min), wohingegen sich in der Tzv 136 keine Effekte zeigen (Durchschnitt: 0.05min, Median: -0.17min).

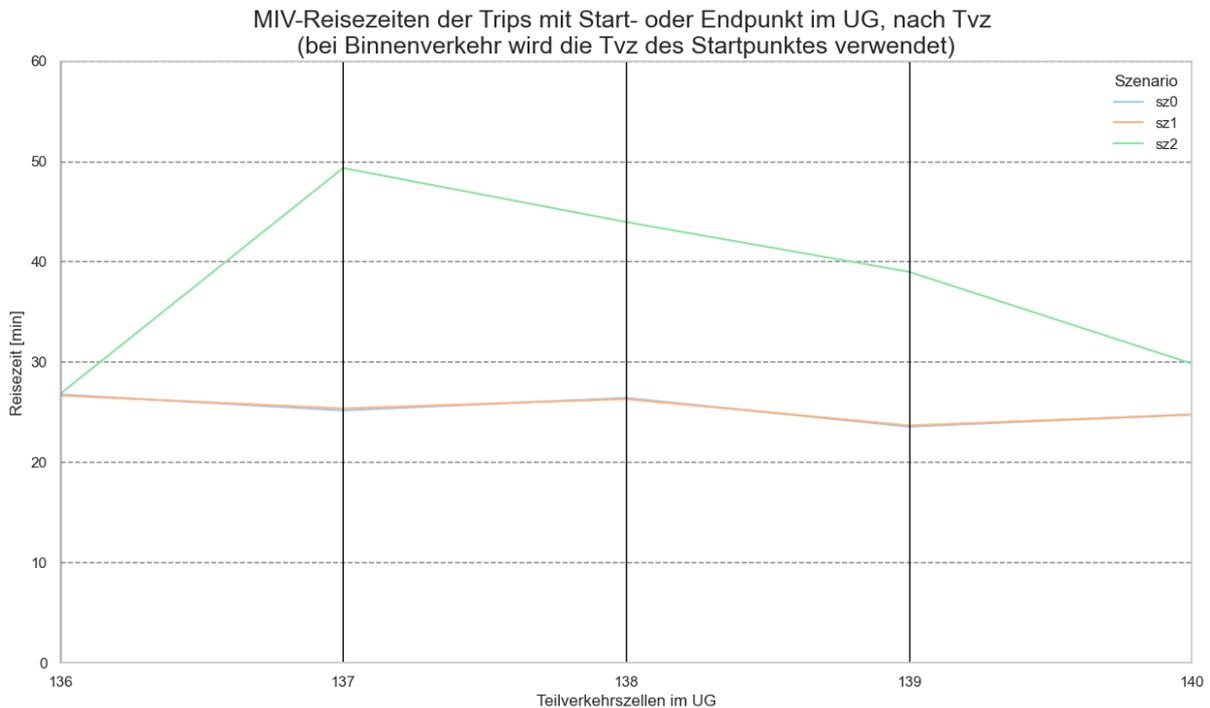


Abbildung 8-9: MIV-Reisezeiten in allen drei Szenarien räumlich aufgeschlüsselt nach Tvz in der Start- oder Endpunkt des Weges liegt.

Bei Binnenverkehr wird der Weg zur Tvz des Startpunktes zugeordnet.

Zusätzlich zu der starken Differenz in den Reisezeiten zwischen den Tvz gibt es auch eine starke Reduktion an MIV-Fahrten (siehe Modal Split). Diese Reduktion ist ebenfalls räumlich heterogen zwischen den Tvz, wie in Tabelle 8-3 einsehbar ist (in Tabelle 13-8 im Anhang A7.9 sind die Wegezahlen für alle Modi in allen Szenarien und Teilverkehrszellen nachzusehen). So starten und enden in Szenario 2 im Vergleich zum Basisszenario in den Tvz 137, 138 und 139 rund 70% weniger MIV-Fahrten, in Tvz 140 28% weniger Fahrten und in Tvz 136 ist sogar ein leichtes Plus um 1,4% zu sehen.

Tabelle 8-3: MIV-Wegezahzahl im Basisszenario und im 2. Maßnahmenszenario, aufgeschlüsselt nach Tvz.

MIV-Wegezahzahl pro Tvz	136	137	138	139	140	Gesamtes UG
Basisszenario	5698	10549	8859	7703	6657	39.466
Szenario 2	5775	2896	2878	2230	4793	18.572
Differenz	77 (+1,4%)	-7653 (-72,5%)	-5981 (-67,5%)	-5473 (-71,1%)	-1864 (-28,0%)	-20.894 (-47,1%)

Um diese Reisezeitunterschiede des MIV näher zu betrachten, ist in Abbildung 8-10 die Veränderung der MIV-Reisezeit im 2. Maßnahmenszenario zum Basisszenario aufgeschlüsselt nach Wegstrecke dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Reisezeit besonders bei mittleren Strecken (zwischen 5 und 25km) besonders viel höher ist als im Basisszenario, jedoch durchschnittlich nicht mehr als 6 Minuten.

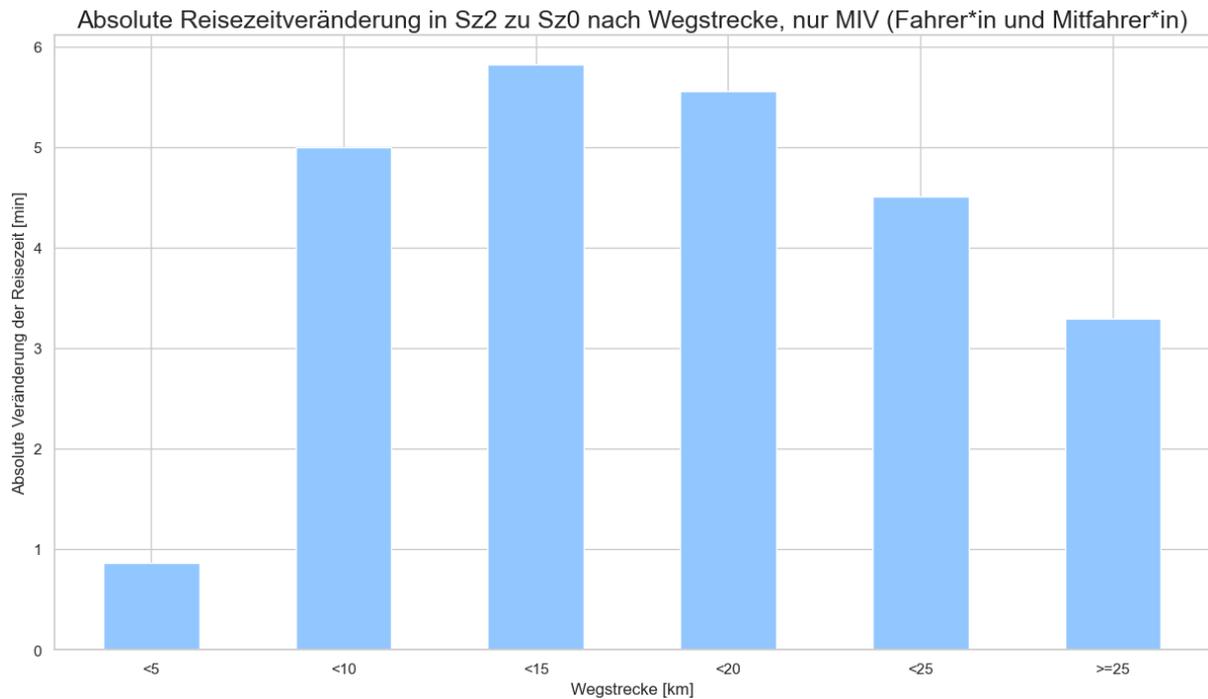


Abbildung 8-10: Reisezeitveränderungen im 2. Maßnahmenszenario zum Basisszenario des MIVs, aufgeschlüsselt nach der Wegstrecke.

8.3.3 Wegstrecken

Die Wegstrecken an sich sind keine direkten Kennwerte für die Auswertung der Szenarien, da sich Entfernungen im Modell per se nicht ändern durch Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen, da die Verkehrsnachfragemodelle keine konkreten Routing-Informationen enthalten. Dennoch sind Wegstrecken interessant, da sie Auskunft darüber geben, welche Aktivitätenorte ausgewählt werden. Es ist dabei vorab wichtig zu bemerken, dass Anzahl der Wege pro Person (der Bewohner*innen des UG) in allen Szenarien gleich ist, mit einem Median von genau 4.³³

Ausgehend von der Betrachtung des Modal Splits nach Personenkilometern in Abbildung 8-5 ist zur weiteren Analyse eine Betrachtung des Modal Splits je nach Wegstrecke sinnvoll. In Abbildung 8-11 ist der Modal Split aller drei Szenarien je nach Wegstrecke aufgetragen.

³³ Unterschiede wären möglich durch Nicht-Erreichen von aktivitätsreichen Tagesplänen und stattdessen Durchführung von aktivitätsarmen Tagesplänen.

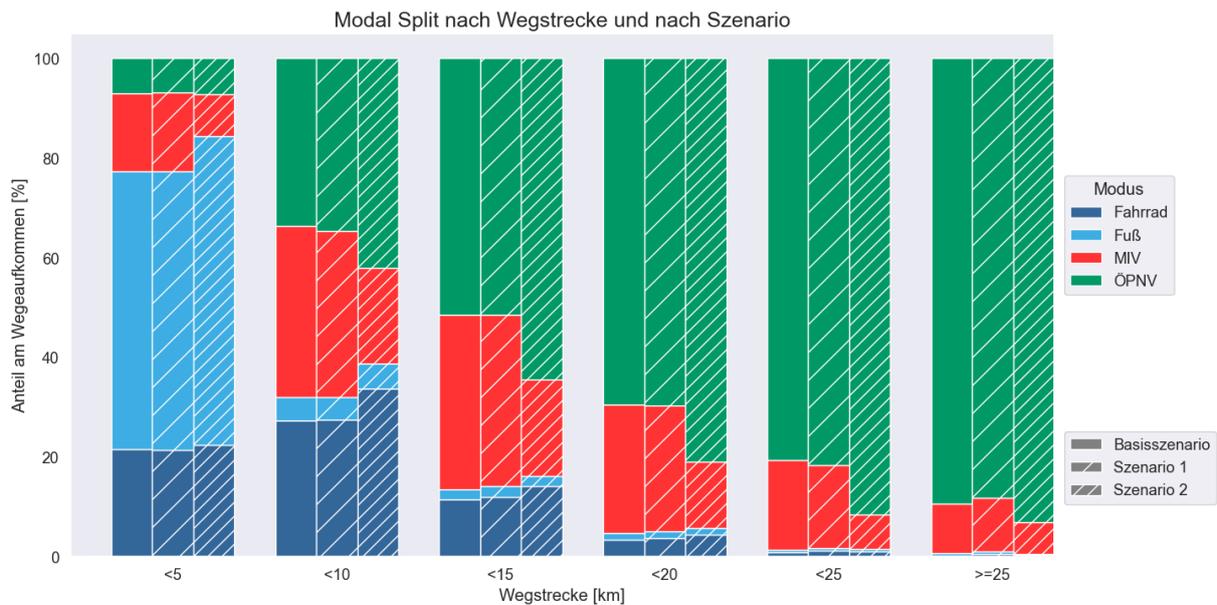


Abbildung 8-11: Modal Split geclustert nach Wegstrecke und nach Szenario.
Die absoluten Werte sind im Anhang A7.5 zu finden.

Wege mit einer Strecke von unter 5km, die ihren Start- oder Zielpunkt im Untersuchungsgebiet haben, werden in allen drei Szenarien mit großer Mehrheit zu Fuß zurückgelegt (SZ0: 55,74; SZ1: 55,87; SZ2: 62,02). Dieser hohe Anteil an Fußverkehr ist bei höheren Entfernungen nicht mehr zu finden und schon bei Entfernungen zwischen 5 und 10km schrumpft der Fußverkehrsanteil auf nur ein 10tel im Vergleich zu Strecken unter 5km. Dafür steigen die Anteile aller anderen Modi. Der Fahrradverkehrsanteil erreicht seinen Höhepunkt bei Entfernungen zwischen 5 und 10km mit 27,28% im Basisszenario, 27,46% im 1. Maßnahmenszenario und 33,78% im 2. Maßnahmenszenario. Der MIV-Anteil erreicht seinen Höhepunkt bei Entfernungen zwischen 10 und 15km mit 35% (SZ0), 43,46% (SZ1) und 19,35% (SZ2). Der ÖPNV-Anteil steigt stetig mit längeren Entfernungen und erreicht seinen Höhepunkt bei Strecken über 25km mit 89,28% (SZ0), 88,10% (SZ1) und 93,08% (SZ2). Ab 20km Wegstrecke betragen die Anteile des aktiven Verkehrs (Fuß- und Fahrradverkehr) nicht mehr als rund 1%.

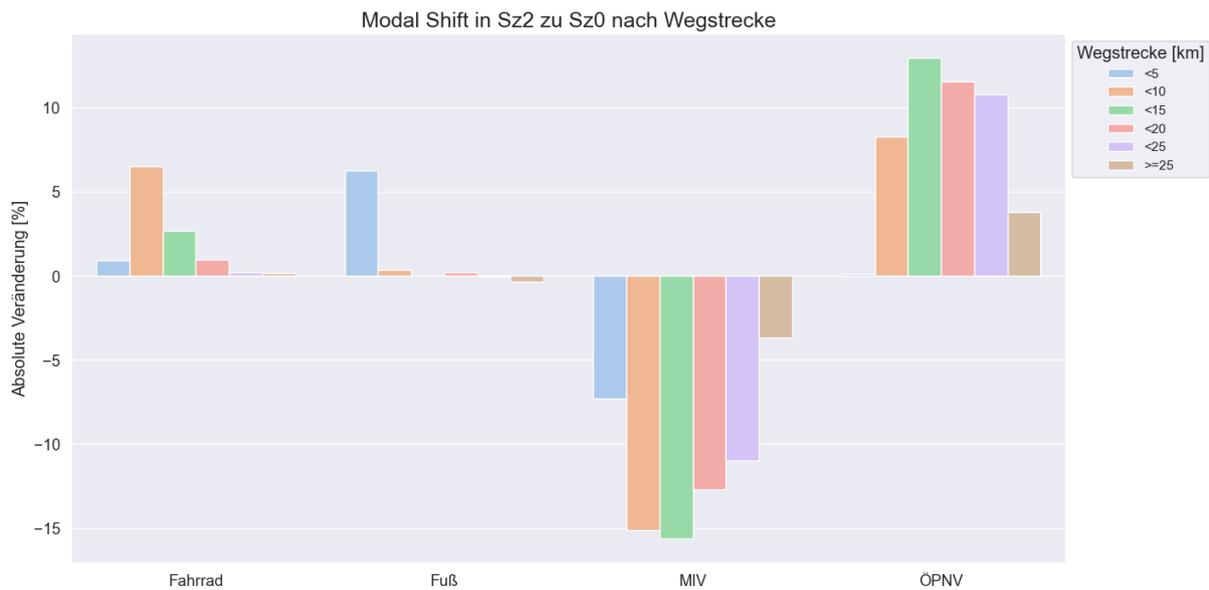


Abbildung 8-12: Absoluter Modal Shift im 2. Maßnahmenszenario zum Basisszenario nach der Wegstrecke.

Wenn man den Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario betrachtet, wird deutlich, dass für alle Entfernungen der Anteil des MIV deutlich sinkt. In Abbildung 8-12 ist der absolute Shift in Prozent zwischen dem Basisszenario und dem 2. Maßnahmenszenario aufgeschlüsselt nach Wegstrecke dargestellt. Dort wird sichtbar, dass der MIV-Anteil im 2. Maßnahmenszenario deutlich geringer ist. Besonders große Modal Shifts sind in den Entfernungsbereichen zu sehen, in denen der MIV-Anteil per se hoch ist (zwischen 5 und 25km). Im relativen Vergleich bedeutet das, dass der MIV auf fast allen Streckenlängen um 44-62% reduziert ist (siehe Abbildung 13-1 im Anhang A7.6). Der Fahrradverkehr nimmt in der Modellierung auf allen mittel-kurzen Streckenlängen zu und auf Strecken über 5km um relativ rund 25%. Auch der ÖPNV nimmt auf allen Streckenlängen zu, dabei aber vor allem bei Entfernungen zwischen 5 und 25km. Bei Entfernungen über 25km ist der Anteil des ÖPNV zwar um mehrere, absolute Prozentpunkte höher, jedoch relativ gesehen nur um einen geringen Anteil. Der Fußverkehrsanteil steigt auf kurzen Entfernungen unter 5km deutlich, jedoch bei höheren Entfernungen nicht. Diese Ergebnisse zeigen allgemein einen starken Modal Shift weg vom MIV auf allen Streckenlängen. Bei kurzen Strecken passiert der Shift hauptsächlich zum Fußverkehr, bei Strecken zwischen 5 und 15km stark zum Fahrrad und ÖPNV und bei längeren Strecken über 15km zum ÖPNV.

8.4 Personenverkehrsnachfrage untersucht nach sozioökonomischen Charakteristika

Im folgenden Unterkapitel wird die Verkehrsnachfrage differenziert nach den fünf sozioökonomischen Dimensionen (ökonomischer Status, Alter, Erwerbsstatus, Alleinerziehende und Gender) der Agent*innen explorativ betrachtet. Da in den bisher dargestellten Ergebnissen kaum Effekte im Maßnahmenszenario 1 gezeigt werden können, werden in der weiteren Ergebnisvorstellung nur noch das Basisszenario und das Maßnahmenszenario 2 betrachtet. Für die Untersuchungen in diesem Kapitel wird die Verkehrsteilmenge der Binnen-, Quell- und Zielverkehre im Untersuchungsgebiet betrachtet. Das bedeutet, dass die in diesem Unterkapitel vorgestellten Ergebnisse jeweils die sozioökonomischen Charakteristika der Agent*innen betrachten, die Wege in und aus dem

Untersuchungsgebiet unternehmen. Bei Vergleichen zwischen den Szenarien ist deshalb nicht gewährleistet, dass die Verkehrsnachfrage von den gleichen Personengruppen untersucht wird, da sich alleine durch die Maßnahmen die Zielwahl der Agent*innen so verändert, dass andere Agent*innen in und aus dem Untersuchungsgebiet Wege unternehmen.

8.4.1 Ökonomischer Status

8.4.1.1 Basisszenario

In Abbildung 8-13 werden die Modal Splits der fünf ökonomischen Statusgruppen im Basisszenario aufgeschlüsselt. Dort wird sichtbar: Es bestehen Unterschiede in der Verkehrsmittelwahl zwischen den ökonomischen Statusgruppen. Es lässt sich der Trend erkennen, dass höhere ökonomische Statusgruppen (öSg) tendenziell mehr MIV und das Fahrrad nutzen, als niedrigere öSg. Eine gegenläufige Tendenz ist hinsichtlich des Fußverkehrs zu erkennen, wobei niedrigere öSg am meisten Fußverkehr nutzen und höhere öSg am wenigsten. Die ÖPNV-Nutzung ist am geringsten bei der mittleren öSg, und nimmt zu den höheren und niedrigeren öSg zu, wobei die höchste öSg am meisten den ÖPNV nutzt. Das bedeutet, dass niedrigere öSg eher den langsamen Modus Fußverkehr als schnellere Modi nutzen.

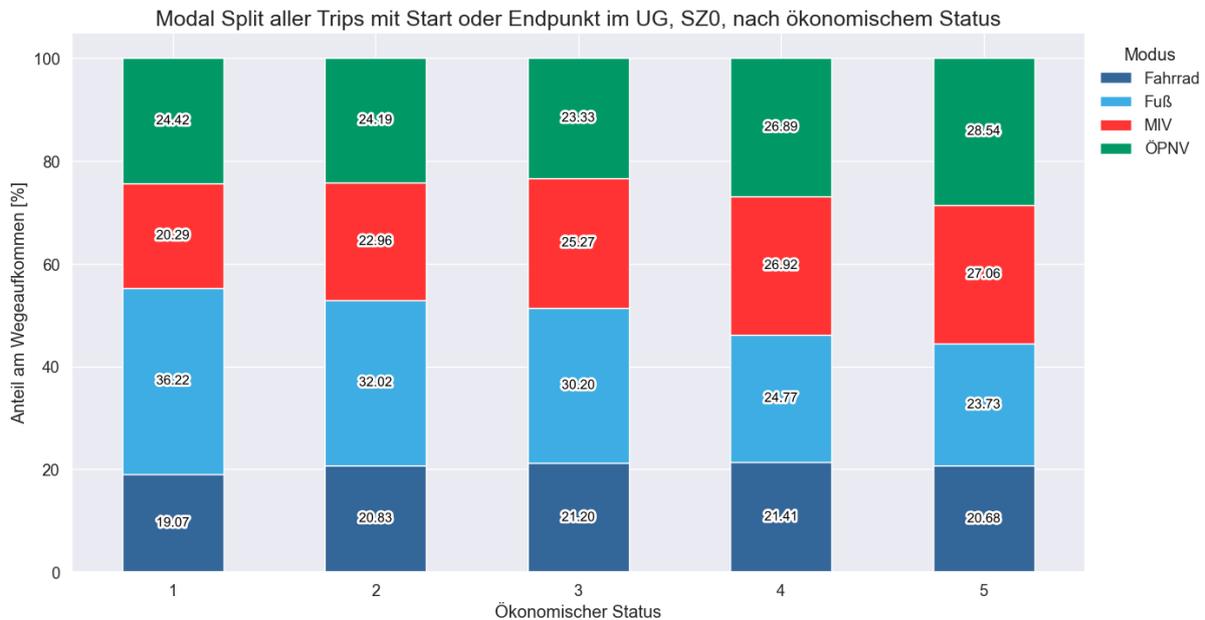


Abbildung 8-13: Modal Split im Basisszenario aufgeschlüsselt nach den 5 ökonomischen Statusgruppen (öSg). Die absoluten Werte sind im Anhang A7.7 zu finden.

Die Wege können außerdem nach Wegstrecke und Geschwindigkeit je nach ökonomischen Statusgruppen aufgeschlüsselt werden (siehe Abbildung 8-14 und Abbildung 13-2). Wenn die Wegstrecke betrachtet wird (siehe Abbildung 8-14), wird sichtbar, dass niedrigere öSg deutlich kürzere Strecken zurücklegen als höhere öSg. Die durchschnittliche Wegstrecke der niedrigsten öSg ist dabei ca. 2 km kürzer als die der höchsten öSg (öSg 1: Durchschnitt: 5,38km; Median: 4,10km | öSg 5: Durchschnitt: 7,39km; Median: 6,04km).

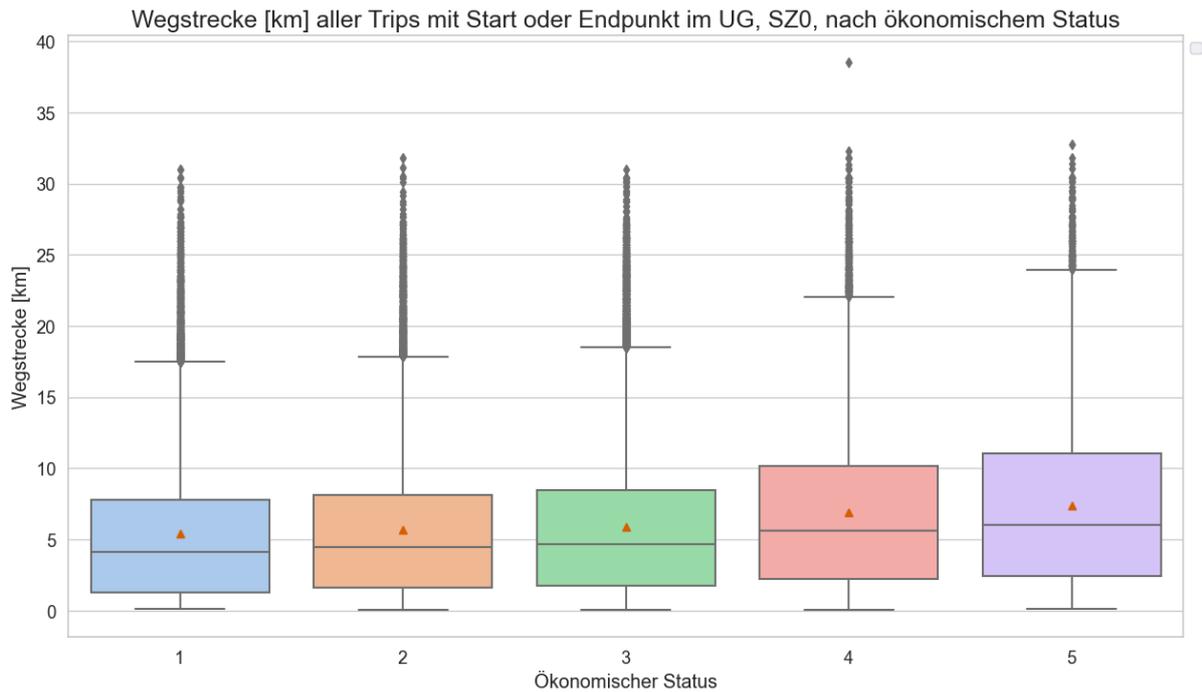


Abbildung 8-14: Die Wege im Basisszenario aufgeschlüsselt nach Wegstrecke und ökonomischem Status.

Bei Betrachtung der Reisegeschwindigkeiten fällt auf, dass die Reisegeschwindigkeiten der niedrigen öSg deutlich geringer sind, als die der höheren öSg, wobei die höchste öSg die höchste Durchschnittsgeschwindigkeit hat (öSg 1: Durchschnitt: 9,14km/h; Median: 8,92km/h | öSg 5: Durchschnitt: 10,95km/h; Median: 10,54km/h) (siehe Abbildung 13-2 im Anhang A7.8). Es ist wichtig zu beachten, dass in diese Reisegeschwindigkeiten auch die oft langsamen Zu- und Abgangszeiten hineinzählen.

8.4.1.2 Maßnahmenszenarien

Die Veränderung der Personenverkehrsnachfrage kann auch zwischen den Szenarien nach ökonomischem Status der Agent*innen untersucht werden. In Abbildung 8-15 sind die Modal Splits aller fünf ökonomischen Statusgruppen dargestellt, sowohl im Basisszenario als auch im 2. Maßnahmenszenario. Es ist erkennbar, dass in allen öSg die gleichen Veränderungen zu beobachten sind: eine Reduktion des MIV-Anteils und eine Steigerung des Umweltverbund-Anteils im Modal Split.

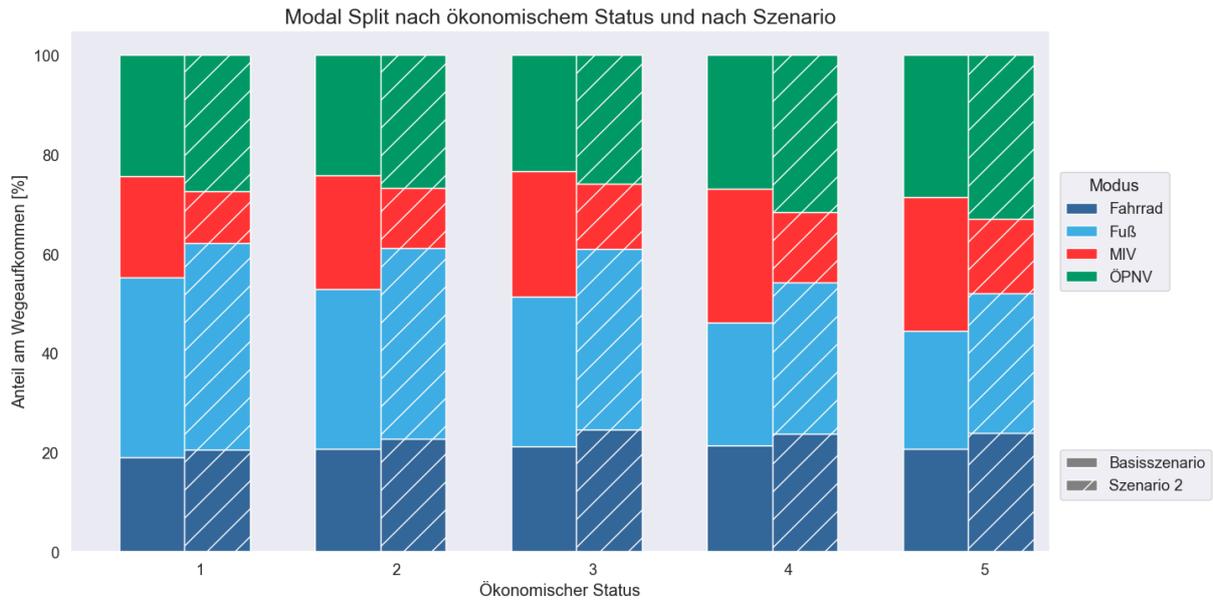


Abbildung 8-15: Der Modal Split aufgeschlüsselt nach den ökonomischen Status Gruppen in allen drei Szenarien. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.7 zu finden.

Unter Mitbetrachtung des Modal Shift in Abbildung 8-16 ist erkennbar, dass die Reduktion des MIV in allen ökonomischen Statusgruppen ca. 10-13% beträgt und sich diese Wege auf die anderen Modi Fußverkehr (ca. +4-6%), ÖPNV (ca. +3-5%) und Fahrradverkehr (ca. +1-3%) verlagern. Durch die unterschiedlichen Modal Splits der öSg bedeutet das eine relative Reduktion des MIV von ca. 45-48% bei allen öSg (in Abbildung 13-3 im Anhang A7.10 ist der relative Modal Shift dargestellt).

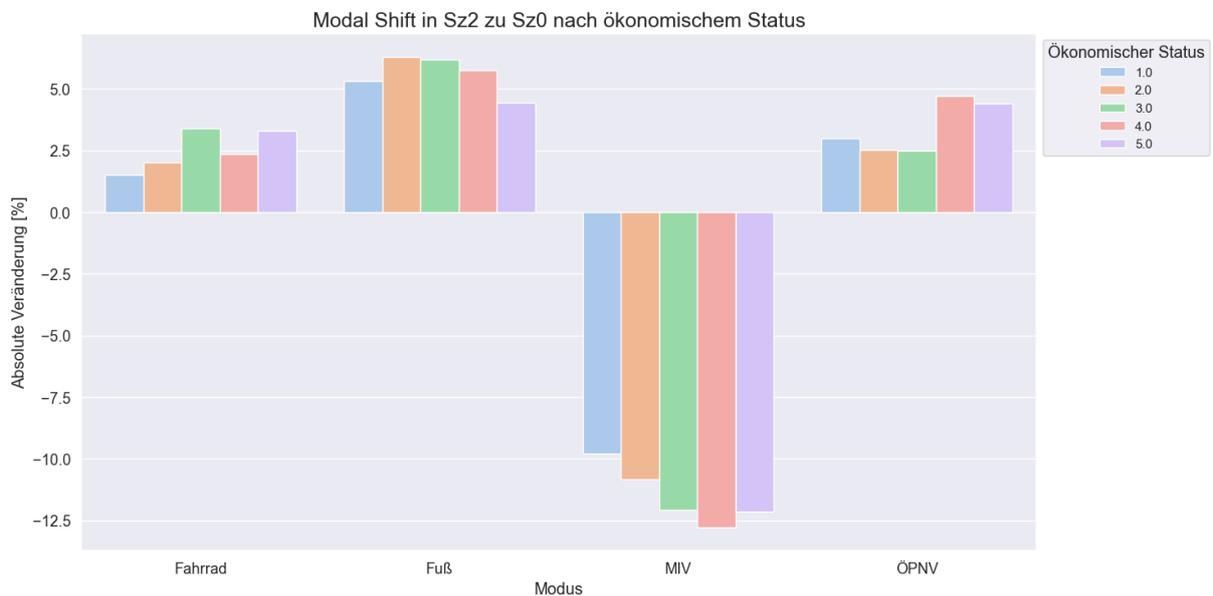


Abbildung 8-16: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach ökonomischen Statusgruppen.

8.4.2 Alter

8.4.2.1 Basisszenario

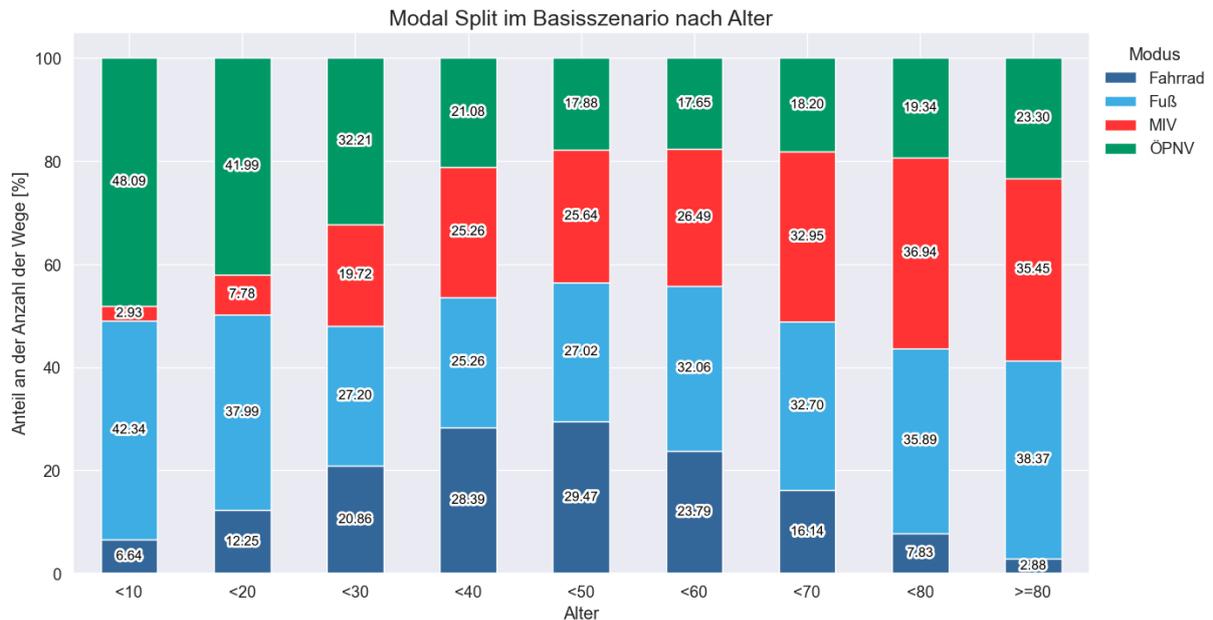


Abbildung 8-17: Modal Split im Basisszenario nach Altersgruppen.
Die absoluten Werte sind im Anhang A7.11 zu finden.

Im Basisszenario zeigen sich deutliche Unterschiede im Modal Split der Verkehrsnachfrage in den unterschiedlichen Altersgruppen, dargestellt in Abbildung 8-17. So steigt im Modell der Anteil des Radverkehrs von 6,64% bei unter 10-Jährigen konstant an bis zur Altersgruppe der 40 bis 50-Jährigen (29,47% Fahrradanteil) und sinkt danach wieder konstant ab bis zu einem Anteil von nur 2,88% bei über 80-Jährigen. Dahingegen besteht ein gegenläufiger Effekt mit dem Anteil des Fußverkehrs, der seinen Tiefpunkt bei den 30 bis 40-Jährigen mit nur 25,26% hat, im Vergleich zu 42,43% bei der jüngsten und 38,75% bei der ältesten Altersgruppe. Der ÖPNV- Anteil hat genauso wie der Fußverkehr den höchsten Anteil bei den unter 10-Jährigen mit 48,09% und sinkt kontinuierlich bis zur Altersgruppe der 50 bis 60-Jährigen, um dann wieder bis zur ältesten Altersgruppe auf 23,30% zu steigen. Der MIV-Anteil hat seinen Höhepunkt bei 36,94% bei der zweitältesten Altersgruppe der 70 bis 80-Jährigen.

8.4.2.2 Maßnahmenszenarien

Bei der Betrachtung des Modal Splits in den unterschiedlichen Szenarien in Abbildung 8-18 wird deutlich, wie sich die Anteile im Modal Split zwischen den Szenarien unterscheiden je nach Altersgruppe. In allen Altersgruppen lässt sich der gleiche übergeordnete Effekt erkennen, dass der Anteil des MIV in Szenario 2 geringer ist und der der anderen Verkehrsmittel höher. Allgemein lässt sich sagen, dass der Modal Shift größer ist, je älter die Altersgruppe.

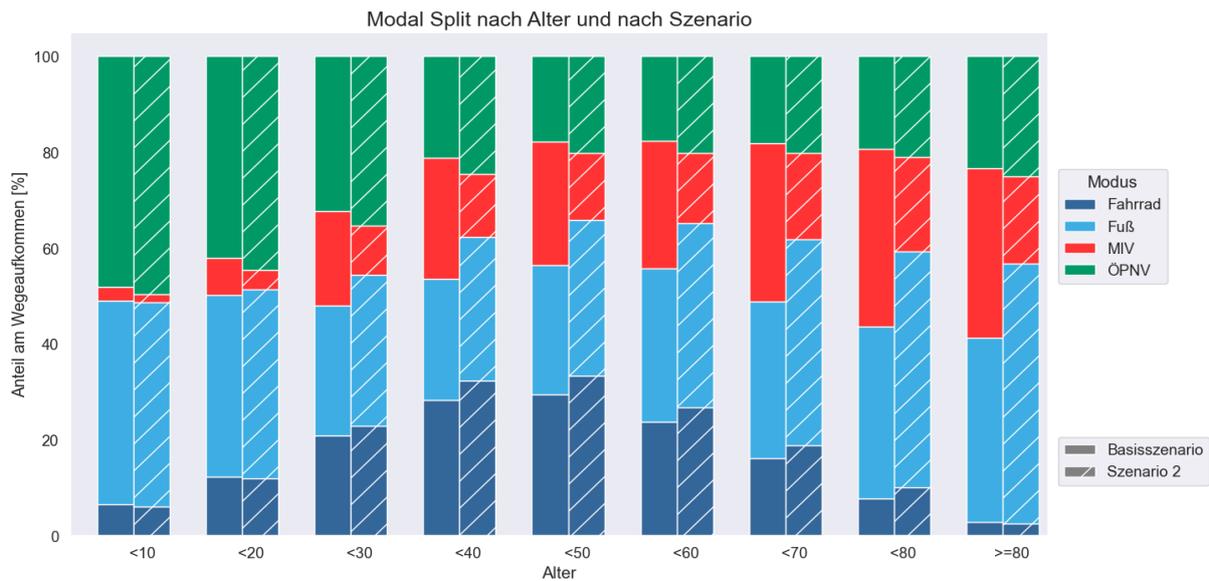


Abbildung 8-18: Der Modal Split in den Altersgruppen im Basisszenario und im 2. Maßnahmenszenario. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.11 zu finden.

Bei Betrachtung der Abbildung 8-19, in der der Modal Shift zwischen Szenario 2 und dem Basisszenario differenziert nach den Altersgruppen dargestellt ist, lässt sich erkennen, dass die Reduktion des MIV-Anteils absolut gesehen eine große Spannweite besitzt von nur 1,25% in der jüngsten Altersgruppe, bis zu einer Reduktion von 17,27% in der ältesten Altersgruppe. In Betrachtung der Anteile des MIV im Modal Split bedeutet dies jedoch über alle Altersgruppen hinweg eine relative Reduktion um 42,66-48,72% (der relative Modal Shift ist im Anhang A7.12 in Abbildung 13-4 dargestellt). Die Verlagerung auf die anderen Modi zeigt jedoch ein heterogenes Bild (siehe Abbildung 8-19). Die Verlagerung auf den Fußverkehr ist in den hohen Altersgruppen deutlich höher (eine Spannweite von fast 15%) als in den jüngeren Altersgruppen. Diese Tendenz besteht auch im relativen Vergleich. Die Verlagerung auf die anderen Modi (Fahrradverkehr und ÖPNV) hat den höchsten Anteil bei den jüngeren und mittleren Altersgruppen.

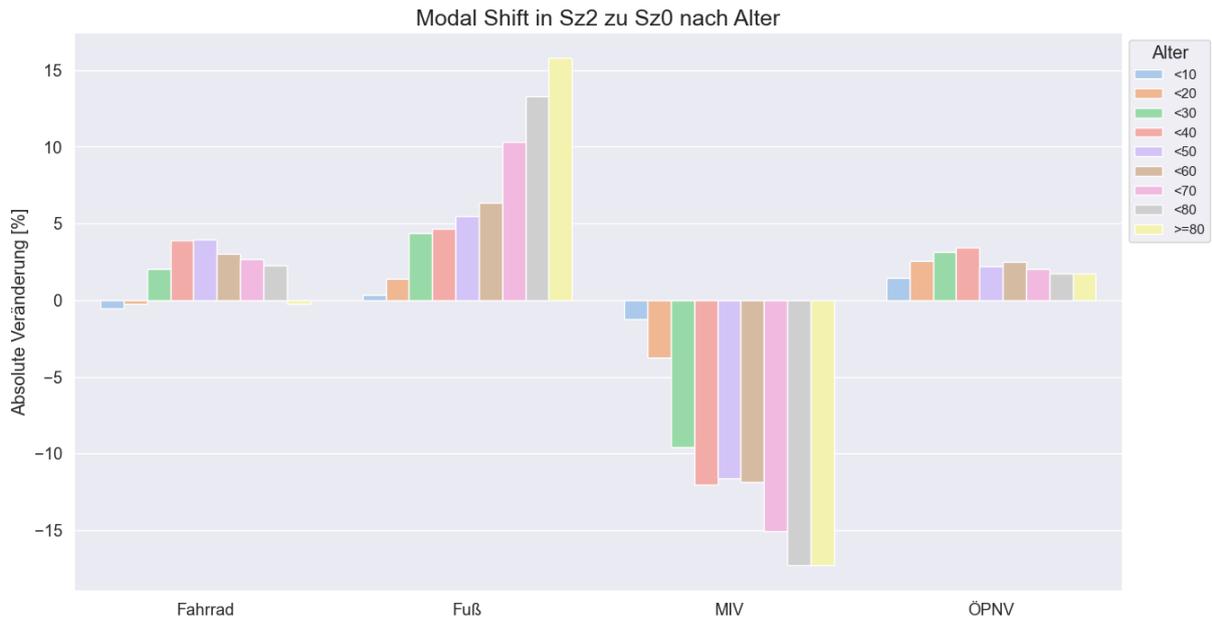


Abbildung 8-19: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach Altersgruppen.

8.4.3 Erwerbsstatus

8.4.3.1 Basisszenario

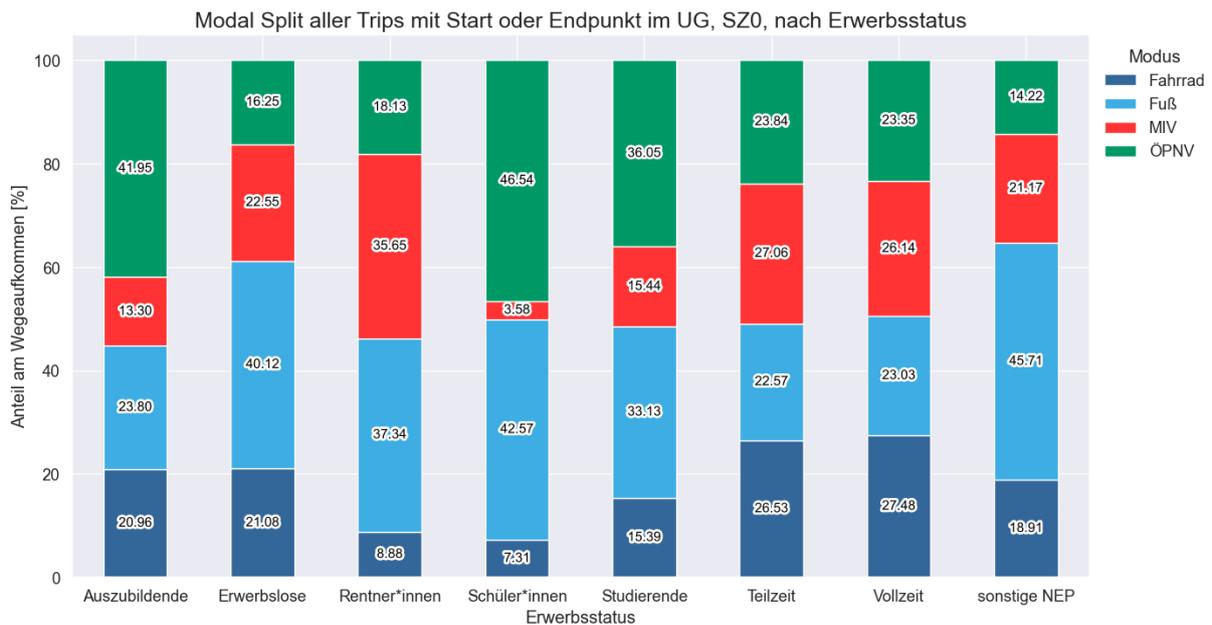


Abbildung 8-20: Modal Split im Basisszenario nach Erwerbsstatus. „sonstige_NEP“ steht für „sonstige Nichterwerbspersonen“.

Bei der Betrachtung der Modal Splits der unterschiedlichen Erwerbsstatusgruppen im Basisszenario wird deutlich, dass sich diese deutlich unterscheiden, wie in Abbildung 8-20 einsehbar ist. MIV-Anteile rangieren zwischen 3,58% bei Schüler*innen und 35,65% bei Rentner*innen. Der Fußverkehrsanteil hat keine derart große Spannweite und rangiert zwischen 22,57% bei Teilzeitarbeitenden und 45,71% bei sonstigen Nichterwerbspersonen. Der Fahrradverkehrsanteil rangiert zwischen 7,31% bei

Schüler*innen und 27,48% bei Vollzeitarbeitenden. Der ÖPNV-Anteil rangiert zwischen 14,22% bei sonstigen Nichterwerbspersonen und 46,54% bei Schüler*innen.

8.4.3.2 Maßnahmen szenarien

Nach der Betrachtung der Modal Splits im Basisszenario folgt hier die Betrachtung der Verkehrsmittelnutzung der Erwerbsstatusgruppen mit den Maßnahmen. Die Modal Splits der unterschiedlichen Erwerbsstatusgruppen im Basisszenario und 2. Maßnahmen szenario sind in Abbildung 8-21 abgebildet. Es ist ersichtlich, dass ähnlich zu den heterogenen Modal Splits auch die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien heterogen sind. Aber auch hier lässt sich bei allen Erwerbsstatusgruppen außer den Schüler*innen das Muster erkennen, dass der MIV-Anteil geringer ist und alle anderen Modi größere Anteile haben im 2. Maßnahmen szenario als im Basisszenario.

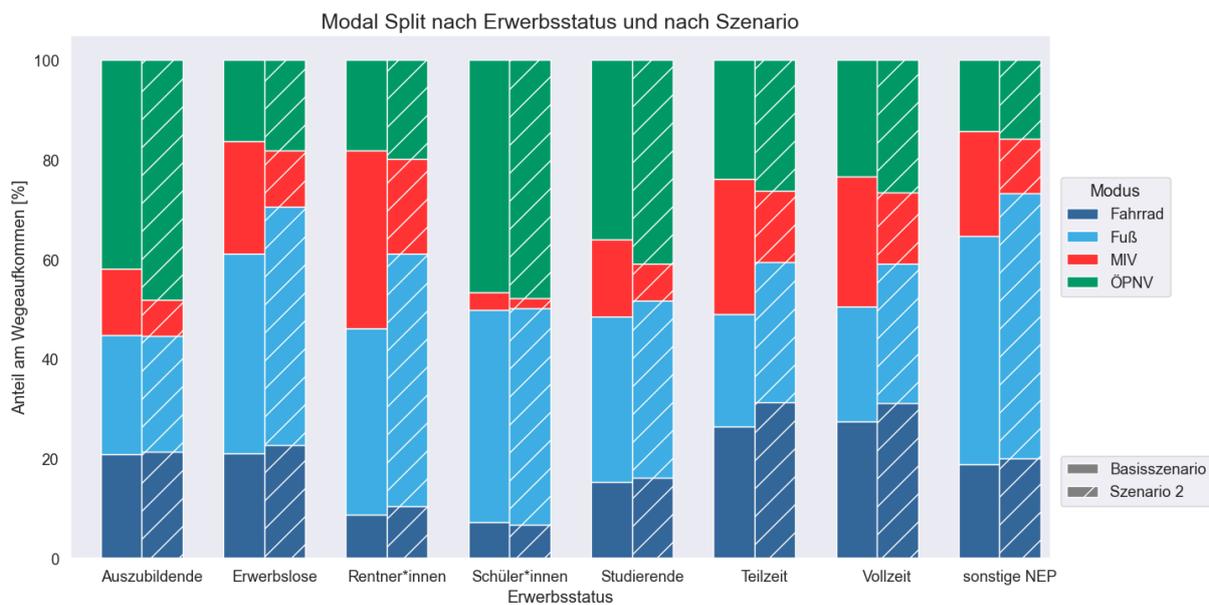


Abbildung 8-21: Der Modal Split in den Erwerbsstatusgruppen im Basisszenario und im 2. Maßnahmen szenario. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.13 zu finden.

Bei näherer Betrachtung des Modal Shifts in Abbildung 8-22 ist erkennbar, wie heterogen der Modal Shift ist mit Reduktionen des MIV-Anteils von nur 1,61% bei Schüler*innen bis zu -16,66% bei Rentner*innen. Im relativen Vergleich (siehe Abbildung 13-5 im Anhang A7.14) bedeuten die Effekte vergleichsweise homogene, relative Reduktionen um 45,07%-51,94% des MIV-Anteils (der relative Modal Shift ist im Anhang A7.14 dargestellt). Die Verlagerung auf die anderen Modi ist auch sehr heterogen (siehe Abbildung 8-22). Einzelne Statusgruppen bevorzugen demnach andere Verkehrsmittel des Umweltverbundes. So verlagert sich das Wegeaufkommen bei Auszubildenden und Studierenden vor allem auf den ÖPNV. Rentner*innen, Erwerbslose und sonstige Nichterwerbspersonen verlagern ihre Mobilität mehr auf den Fußverkehr. Teilzeit- und Vollzeitbeschäftigte verlagern ihren Verkehr sowohl auf den Fuß, als auch auf den Fahrradverkehr.

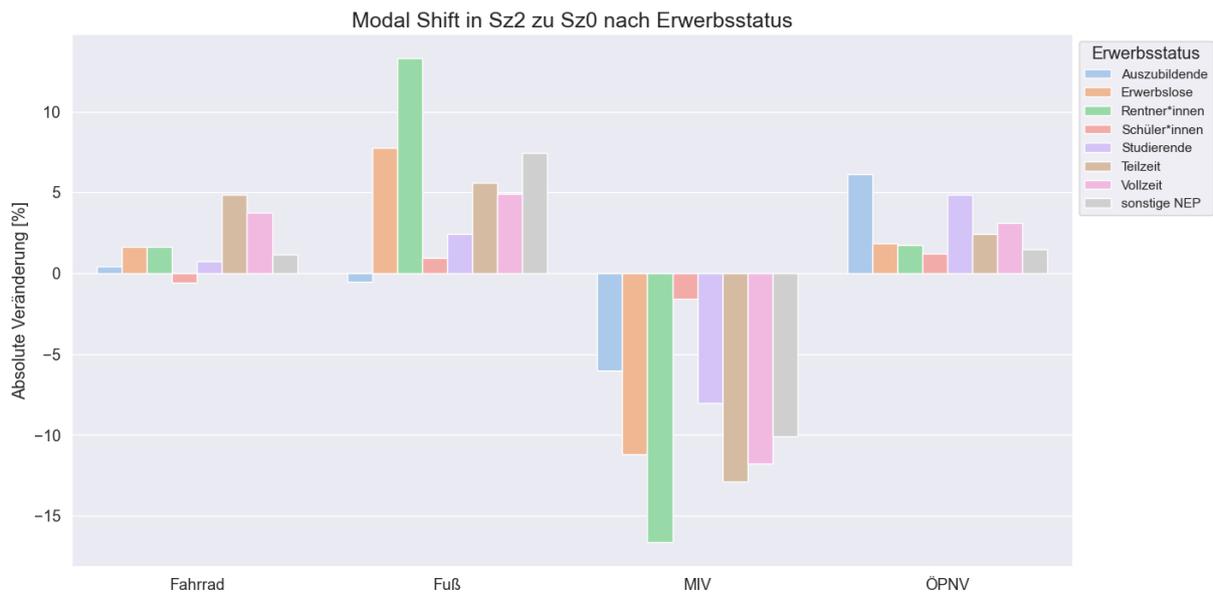


Abbildung 8-22: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Erwerbsstatusgruppen.

8.4.4 Alleinerziehende

8.4.4.1 Basisszenario

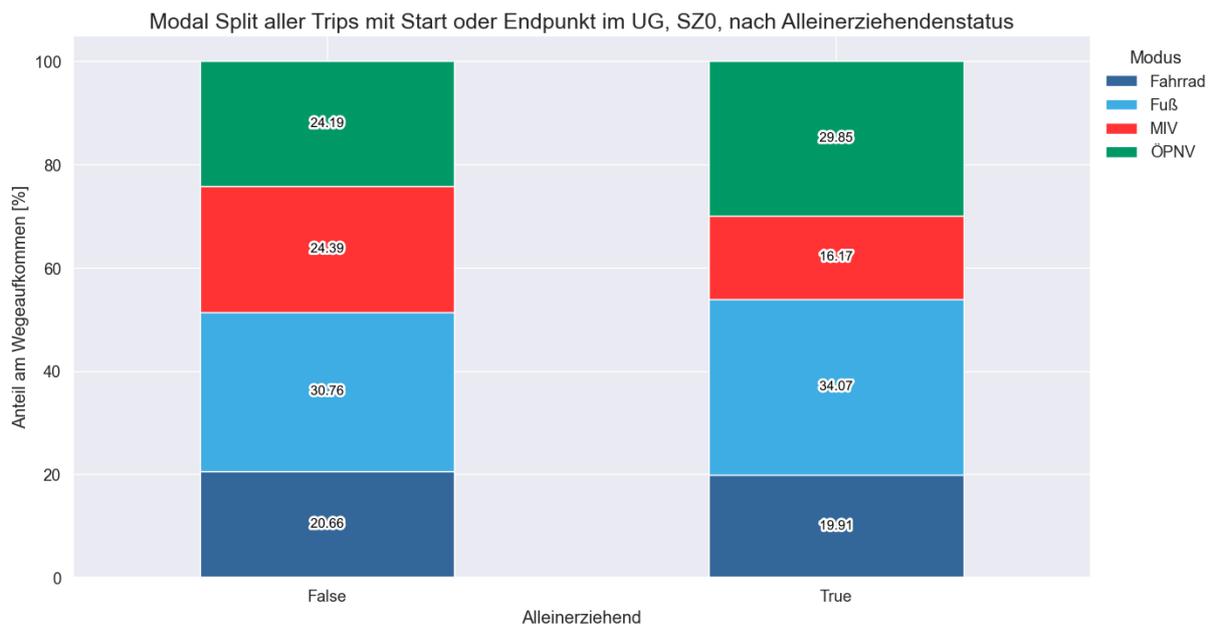


Abbildung 8-23: Modal Split im Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.

Die absoluten Werte sind im Anhang A7.15 zu finden.

Alleinerziehende und Kinder von Alleinerziehenden sind in der Bezirksregion besonders oft von Benachteiligungen betroffen (siehe Kapitel 5.2). Der Modal Split von Personen, die in Alleinerziehendenhaushalten wohnen, ist in Abbildung 8-23 dargestellt. Dort ist erkennbar, dass der Modal Split von Menschen in Haushalten mit Alleinerziehendenstatus einen 8% geringeren MIV-Anteil und einen 1% geringeren Fahrrad-Anteil hat im Vergleich zu Personen, die nicht in

Alleinerziehendenhaushalten wohnen. Dementsprechend nutzen Personen aus Alleinerziehendenhaushalten ca. 5% mehr den ÖPNV und gehen ca. 4% mehr zu Fuß.

8.4.4.2 Maßnahmenszenarien

Die Modal Splits im Basisszenario und 2. Maßnahmenszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten sind in Abbildung 8-24 dargestellt. Auch hier ist das Muster erkennbar, dass im 2. Maßnahmenszenario die MIV-Anteile geringer und die Anteile der anderen Modi höher sind als im Basisszenario.

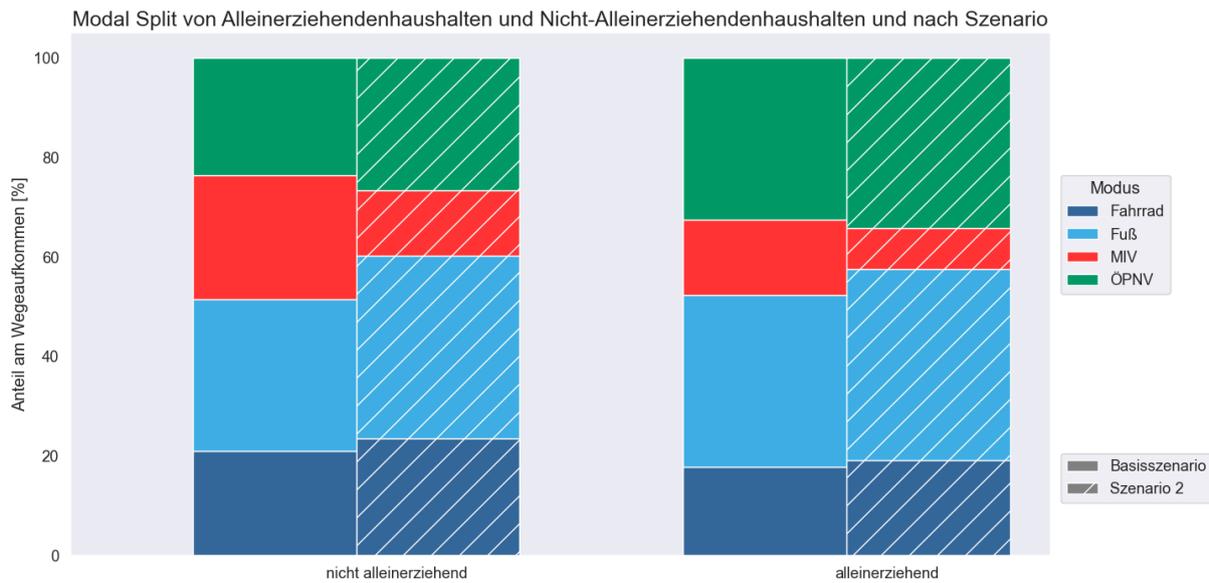


Abbildung 8-24: Der Modal Split von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten im Basisszenario und im 2. Maßnahmenszenario. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.15 zu finden.

Bei Betrachtung des Modal Shifts (dargestellt in Abbildung 8-25) wird deutlich, dass der Modal Shift bei Personen aus Nicht-Alleinerziehendenhaushalten deutlich größer ausfällt, als bei Personen aus Alleinerziehendenhaushalten. Auch im relativen Vergleich (siehe Abbildung 13-6 im Anhang A7.16) ist der Unterschied des Modal Splits zwischen Basisszenario und 2. Maßnahmenszenario unwesentlich größer bei Personen aus Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.

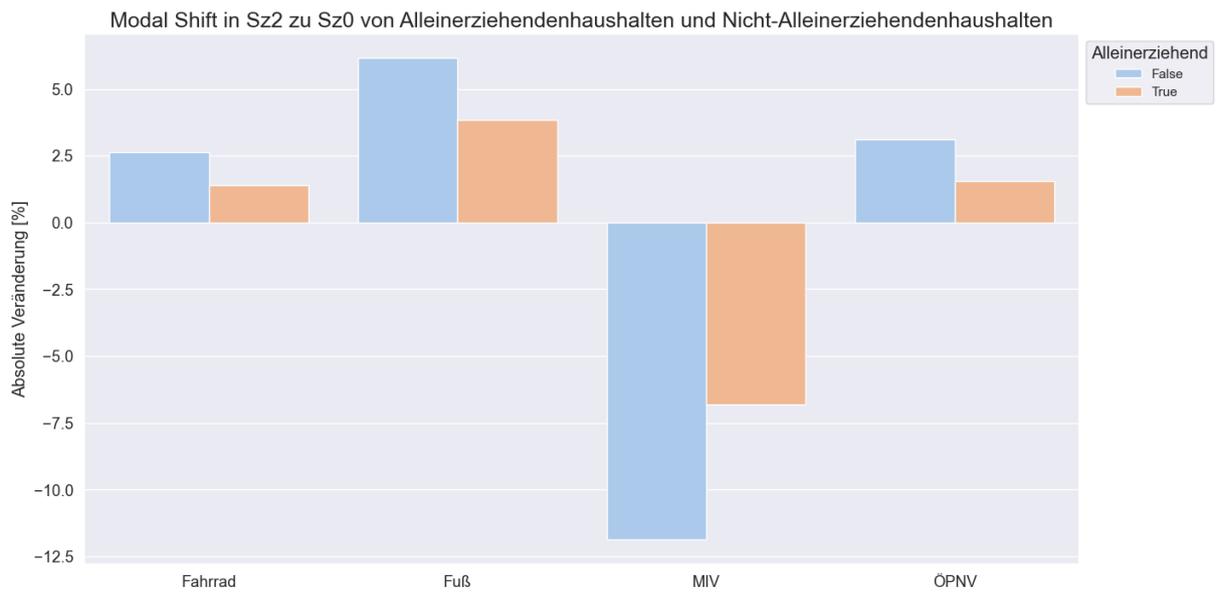


Abbildung 8-25: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.

8.4.5 Gender

In den Daten liegen nur die Genderkategorien „männlich“ und „weiblich“ vor, weshalb die Auswertung sich auf diese beiden Gender beschränkt.

8.4.5.1 Basisszenario

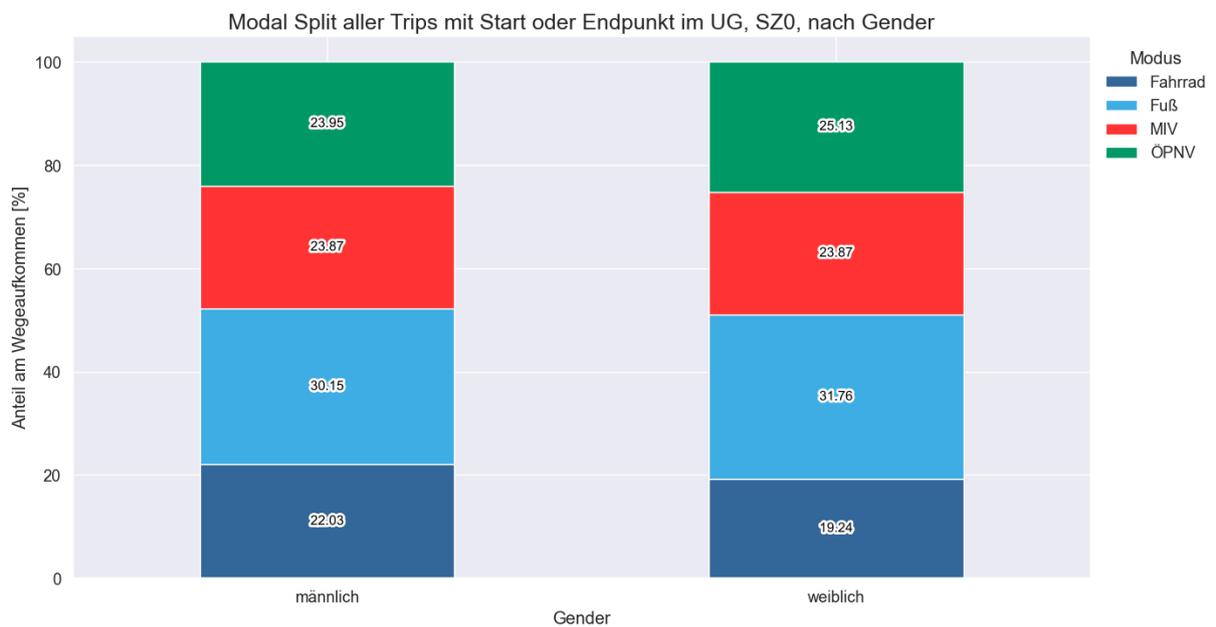


Abbildung 8-26: Modal Split im Basisszenario nach Gender. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.13 zu finden.

Im Basisszenario unterscheidet sich der Modal Split zwischen Männern und Frauen, dargestellt in Abbildung 8-26, nur gering. So nutzen Frauen und Männer gleichermaßen zu 23,87% den MIV für Wege in und aus dem Untersuchungsgebiet. Agentinnen nutzen zu jeweils etwas mehr als 1% mehr den

ÖPNV und den Fußverkehr für Wege als Agenten und Agenten hingegen nutzen um fast 3% mehr das Fahrrad.

8.4.5.2 Maßnahmenszenarien

Im Vergleich der Modal Splits von Männern und Frauen im Basisszenario und im 2. Maßnahmenszenario (siehe Abbildung 8-27) wird deutlich, dass auch hier der MIV-Anteil bei beiden Gruppen geringer und die aller anderen Modi höher ist im 2. Szenario im Vergleich zum Basisszenario. Im konkreten Vergleich der Modal Shifts in Abbildung 8-28 ist erkennbar, dass die Modal Shifts sich von Männern und Frauen kaum unterscheiden (weniger als 1% Unterschied). Diese Beobachtung gilt auch für den relativen Modal Shift (siehe Abbildung 13-7 im Anhang A7.18).

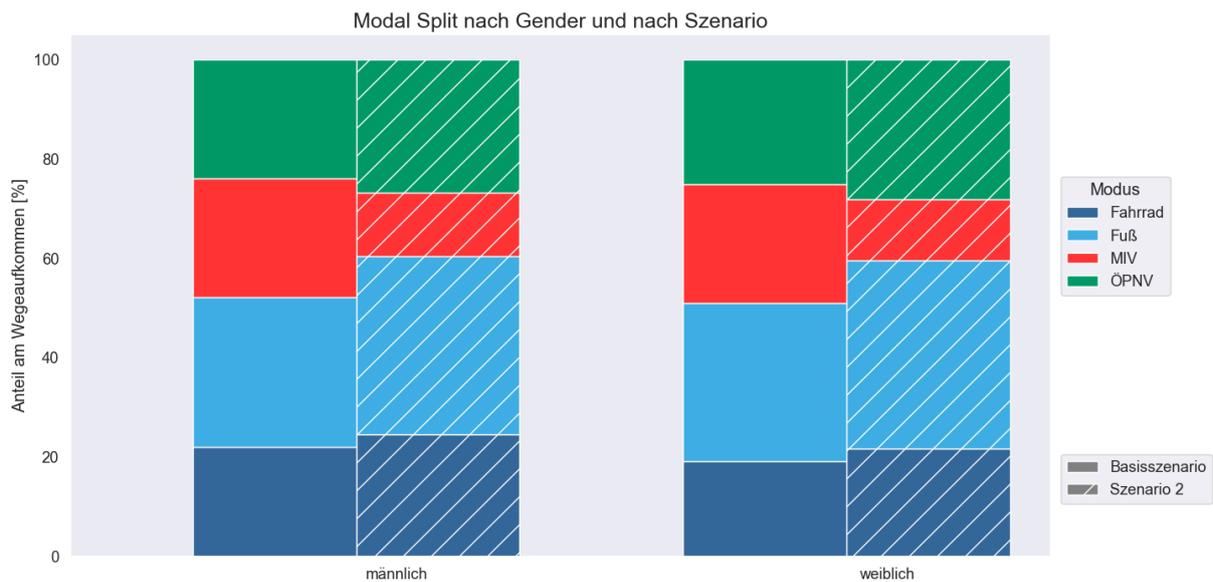


Abbildung 8-27: Der Modal Split nach Gender im Basisszenario und im 2. Maßnahmenszenario. Die absoluten Werte sind im Anhang A7.13 zu finden.

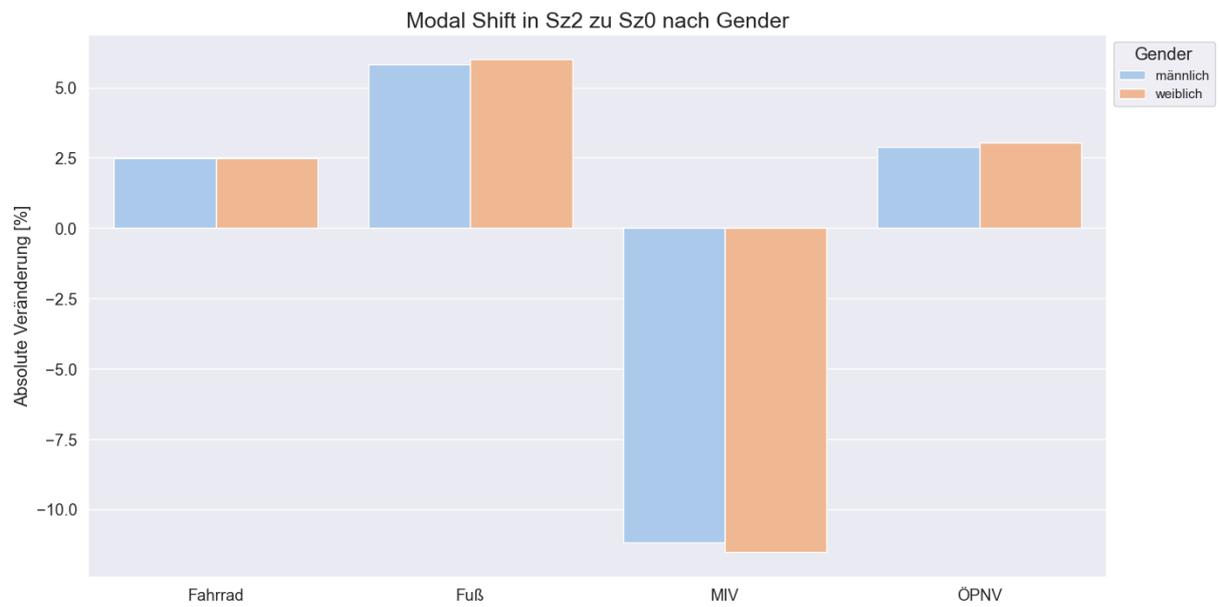


Abbildung 8-28: Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach Gender.

9 Diskussion

In dieser Arbeit wurden mit mikroskopischer Personennachfragemodellierung drei Szenarien mit Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt auf ihre Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage untersucht. In diesem Kapitel wird zuerst auf Vergleichbarkeit des Modells mit der realen Welt diskutiert. Das ist notwendig für die weitere Diskussion der Ergebnisse, die danach folgt. Dort wird in Unterkapitel 9.2 zuerst auf die Fragestellung (1) eingegangen, wie sich die untersuchten Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage im Untersuchungsgebiet auswirken. In Unterkapitel 9.3 werden die Ergebnisse der Modellierung aufgeschlüsselt nach sozioökonomischen Dimensionen diskutiert. Diese Analyse bezieht sich auf die Fragestellung (2), ob und wie einzelne sozioökonomische Gruppen besonders von den Maßnahmen betroffen sind. In Unterkapitel 9.4 wird zusammenfassend die Eignung des Modells für die Untersuchungen diskutiert. Das dient schließlich zur Auseinandersetzung mit der Fragestellung (3) wie gut die Modelle geeignet sind um die Maßnahmen kleinräumig (a) und von den genannten sozioökonomischen Gruppen (b) zu untersuchen.

9.1 Vergleichbarkeit des Modells

Um Schlüsse über die Vergleichbarkeit des Modells zu ziehen, wird in diesem Unterkapitel auf die Modelldaten für Berlin, Friedrichshain-Kreuzberg und die Nördliche Luisenstadt im Vergleich mit den offiziellen Daten eingegangen. Im Folgenden wird zuerst die Vergleichbarkeit der synthetischen Bevölkerung und danach die der Modal Splits diskutiert. Vor der Diskussion weiterer Ergebnisse werden am Ende dieses Unterkapitels die Limitationen, die sich aus der Vergleichbarkeitsanalyse ergeben, genannt. Diese sind wichtig für die weitere Einordnung der Ergebnisse.

9.1.1 Vergleichbarkeit der synthetischen Bevölkerung in der Nördlichen Luisenstadt

Die Auswertung der Kennwerte der synthetischen Bevölkerung [syn. Bevölkerung] (Kapitel 8.1) zeigen auf, dass die reale Bevölkerung der Bezirksregion trotz einigen kleinen Abweichungen in der syn. Bevölkerung gut abgebildet wird.

Es bestehen mehrere Unterschiede zwischen realer und synthetischer Bevölkerung. Der erste Unterschied ist, dass die synthetische Bevölkerung die Einwohner*innenzahl und das Durchschnittsalter für die Nördliche Luisenstadt überschätzt. Der zweite Unterschied ist, dass sowohl die Motorisierungsrate und das monatliche Haushaltsnettoeinkommen für Friedrichshain-Kreuzberg ebenfalls überschätzt werden. Der dritte Unterschied ist, dass die synthetische Bevölkerung die Anzahl der Transferleistungsempfänger*innen und Menschen mit dem niedrigsten ökonomischen Status in der Nördlichen Luisenstadt unterschätzt. Folglich bildet die syn. Bevölkerung die reale Bevölkerung im Gesamtbild gut ab, die Region wird jedoch finanziell überschätzt und vor allem Menschen mit niedrigem Einkommen nicht akkurat abbildet.

Die Datenquellen, auf denen die syn. Bevölkerung basiert und die Daten, die zur Beschreibung der realen Bevölkerung genutzt wurden (vgl. Kapitel 5.2), basieren auf den gleichen oder ähnlichen Datenquellen vor allem aus den Jahren 2017 und 2018. Das macht eine Untersuchung der Vergleichbarkeit möglich. Die offen verfügbare Datenquellen sind für die reale Bevölkerung vor allem bei solch sensiblen Themen wie Einkommen nicht hoch genug aufgelöst, um direkte Vergleiche für die Nördliche Luisenstadt zu ziehen (vgl. Beil et al., 2020).

9.1.2 Vergleichbarkeit der Modal Splits in Berlin und Friedrichshain-Kreuzberg

Bei der Betrachtung der Modal Splits im Modell, der SrV 2018 und der MiD 2017 für ganz Berlin (Kapitel 8.2.1.1) wird deutlich, dass das Modell die reale Verkehrsnachfrage aus beiden Studien sehr gut simuliert, da die Ergebnisse aus allen drei Quellen sehr ähnlich sind. Wenn nur die Daten für Friedrichshain-Kreuzberg verglichen werden, fällt jedoch auf, dass die Modellergebnisse weniger nah an den Studienergebnissen sind. Im Vergleich zu den beiden realen Studien überschätzen die Modellergebnisse den MIV-Anteil und unterschätzen den Fuß- und Radverkehrsverkehrsanteil (Kapitel 8.2.1.2). In den beiden Studien sind sehr unterschiedliche Werte für alle Modi außer den Fußverkehr angegeben. Der Modal Split der MiD 2017 weist einen unerwartet geringen ÖPNV-Anteil vor, was sehr ungewöhnlich ist für einen Innenstadtbereich, vor allem im Vergleich zum Gesamtberliner Modal Split. Die MiD 2017 veröffentlicht keine offiziellen Berechnungen für Friedrichshain-Kreuzberg. Die hier verwendeten Daten sind deshalb aus eigener Berechnung mit den angegebenen Wegegewichten entstanden (aus Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Clearingstelle für Verkehr, 2020). Deshalb könnte es sein, dass trotz richtiger Berechnung, die Aufarbeitung der MiD 2017-Daten nicht so kleinräumig vorgesehen ist. Nichtsdestotrotz ist festzuhalten, dass die Modellergebnisse die Ergebnisse der Studien auf Bezirksebene nicht so gut widerspiegeln, wie auf der Ebene von gesamt Berlin.

Auch die Modelldaten aufgeschlüsselt nach sozioökonomischen Eigenschaften der Agent*innen (Kapitel 8.4.1.1) sollten mit der realen Situation vergleichbar sein. Im Basisszenario kann man beobachten, dass höhere ökonomische Statusgruppen (öSg) mehr Fahrradverkehr und MIV nutzen im Vergleich zu niedrigeren öSg und letztere wiederum deutlich mehr den Fußverkehr nutzen. Den ÖPNV nutzen mittlere öSg am wenigsten. Diese Tendenzen decken sich mit Daten des Modal Splits für Friedrichshain-Kreuzberg aus der SrV 2018 (siehe Tabelle 13-13 im Anhang A8), wobei die konkreten Anteile unterschiedlich sind. Weder für das Untersuchungsgebiet noch für gesamt Berlin liegen aus der MiD 2017 oder der SrV 2018 Erkenntnisse zur Verkehrsnachfrage nach anderen sozioökonomischen Charakteristika (wie Alter oder Erwerbsstatus) vor. Es liegen zwar Daten für gesamt Deutschland vor (vgl. Follmer & Gruschwitz, 2019), jedoch lohnt sich durch die besondere Innenstadtlage des Untersuchungsgebiets dieser Vergleich nicht. Die Gegenüberstellung der Modellergebnisse mit realen Studiendaten für diese weiteren Charakteristika ist deshalb nicht möglich.

9.1.3 Limitationen der Vergleichbarkeit

Als Fazit lässt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass sowohl in der Bevölkerung, als auch in der Verkehrsnachfrage Unterschiede zwischen Modell und Realität bestehen. Diese Unterschiede werden größer, je kleinräumiger die Modelldaten betrachtet werden. Das Ursprungsszenario, auf dem die Szenarien in dieser Arbeit aufgebaut sind, ist durch einen Kalibrierungs- und Validierungsprozess gegangen. Dieser Prozess zielte auf Genauigkeit und Vergleichbarkeit für ganz Berlin ab. Das Modell wurde jedoch nicht zusätzlich auf Bezirksebene oder anderen, kleinräumigeren Ebenen kalibriert und validiert. Das erklärt, warum die Vergleichbarkeit für ganz Berlin beim Modal Split gegeben ist, jedoch weniger auf Bezirksebene. Da die Studienergebnisse nicht so kleinräumig vorliegen, ist eine Auswertung der Vergleichbarkeit nur für das Untersuchungsgebiet nicht möglich. Es ist wahrscheinlich, dass auch bei einer sehr kleinräumigen Betrachtung erhebliche Unterschiede zwischen Studien- und Modellergebnissen zu sehen sind. Die Verlässlichkeit der Genauigkeit des Modells für das Untersuchungsgebiet wird zwar durch diese Ergebnisse geschwächt. Die Anwendbarkeit der

Modelldaten für die hier betrachteten Fragestellungen für das Untersuchungsgebiet ist jedoch weiterhin gegeben, da das Modell weiterhin über wichtige Zusammenhänge und Tendenzen informieren kann (vgl. Gilbert et al., 2018).

9.2 Allgemeine Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen

Die Ergebnisse wurden nach Verkehrsteilmengen ausgewertet (Binnen-, Quell- und Zielverkehr; Binnenverkehr; Verkehr der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets). Zusammenfassend, über alle betrachteten Mengen hinweg lassen sich zwei Haupteffekte beobachten.

1. Der Modal Split im 2. Maßnahmenzenario unterscheidet sich zum Basisszenario durch einen deutlich geringeren MIV-Anteil und eine hauptsächliche Verlagerung auf den Fußverkehr. Außer beim Modal Split des Binnenverkehrs geschieht außerdem eine Verlagerung auf den Fahrradverkehr und den ÖPNV. Das 1. Maßnahmenzenario zeigt meist ähnliche, wenn auch nur geringe, Tendenzen. Dieser Effekt ist das Ergebnis der implementierten Maßnahmen, die den MIV einschränken und eine Verlagerung auf die anderen Modi bewirken. Die geplanten Maßnahmen können durch ihre Charakteristika direkte Effekte nur auf die Reisezeiten und Wegstrecken des MIV haben. Deshalb wurden in den Maßnahmenzenarien jeweils nur die Reisezeitmatrizen des MIV verändert, was sich in den Ergebnissen widerspiegelt. Diese erhöhten Reisezeiten führen wiederum dazu, dass weniger der MIV genutzt wird. Dieses Ergebnis stützt somit die Hypothese zur Fragestellung (1) und bestätigt, dass die Maßnahmen zur Reduktion des MIV im Untersuchungsgebiet führen. Dieses Ergebnis verdeutlicht außerdem, dass die Maßnahmen aus ökologischer Sicht geeignet sind Teil der Verkehrswende in der Nördlichen Luisenstadt zu sein.
2. Über alle unterschiedlichen Verkehrsteilmengen hinweg ist der Unterschied zwischen dem Basisszenario und dem 1. Maßnahmenzenario sehr gering, der Unterschied zwischen dem Basisszenario und dem 2. Maßnahmenzenario hingegen groß. Somit ist auch der Unterschied zwischen den beiden Maßnahmenzenarien groß. Dieser Punkt führt zu der Schlussfolgerung, dass die Maßnahmen, die im 2. Maßnahmenzenario zusätzlich implementiert wurden, besonders große Effekte auf die Verkehrsnachfrageänderungen haben. Diese Maßnahmen sind Diagonalsperren, Fußgänger*innenzonen und „nur Bus“-Straßen. Außerdem reduzieren sich durch die Einführung der Fußgänger*innenzonen und „nur Bus“-Straßen die Parkplätze in zwei der 5 Teilverkehrszellen um 12%, beziehungsweise 15%, was deutliche Effekte auf die Zu- und Abgangszeiten des MIV hat. Zusammenfassend bewirken die Maßnahmen in Szenario 2 in ihrer Art und ihrer Menge durch Durchfahrtsverbote und Parkverbote besonders große Effekte auf den MIV. Diese Beobachtung wird davon bestätigt, dass besonders in den Teilverkehrszellen, in denen besonders viele MIV-einschränkende Maßnahmen implementiert wurden (Tvz 137, 138, 139), die MIV-Reisezeiten deutlich ansteigen und die Anzahl der MIV-Fahrten deutlich reduziert werden. Daraus lässt sich ableiten, dass größere Einschränkungen des MIV zu größeren Reduktionen im MIV-Anteil führen. Dieses Ergebnis stützt somit die Hypothese zur Fragestellung (1) besonders für Szenario 2. Das bedeutet, dass nicht alle Teilmengen an Maßnahmen gleichmäßig zur Reduktion des MIV im Untersuchungsgebiet führen. Besonders MIV-einschränkende Maßnahmen führen demnach zu einer Verlagerung

der Verkehrsnachfrage auf den Umweltverbund und sind deshalb förderlich für die Verkehrswende.

Eine nähere Betrachtung der Modal Splits der Verkehrsteilmengen führt zu weiteren Erkenntnissen über die Szenarien. Bei der Untersuchung des Binnenverkehrs wird deutlich, dass schon im Basisszenario der MIV-Anteil sehr gering ist und bei unter 5% liegt und der Fußverkehr das Verkehrsmittel der Wahl ist. Im 2. Maßnahmenzenario ist der Anteil des MIV innerhalb des Gebiets fast halbiert und diese Wege werden hauptsächlich auf den Fußverkehr verlagert. Das bestätigt die Argumentation der Maßnahmen, die zur Verkehrsberuhigung innerhalb des Kiezes führen sollen, wie in Kapitel 5.5.3 dargestellt.

Die Verkehrsteilmenge der Wege der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets beinhaltet ebenfalls aussagekräftige Erkenntnisse. Denn, während die Effekte der Maßnahmen groß sind bei der Betrachtung der Wege, die zumindest potentiell direkt von den Maßnahmen betroffen sind (Binnen-, Quell- und Zielverkehr; Binnenverkehr) ist das bei der Verkehrsnachfrage der Anwohner*innen nicht der Fall. Aus den Ergebnissen in Kapitel 8.3.1.3 wird deutlich, dass sich die Verkehrsmittelwahl der Einwohner*innen nur geringfügig verändert. Das ist dadurch bedingt, dass weniger als ein Fünftel der Wege der Einwohner*innen Start- oder/und Endpunkt im Untersuchungsgebiet haben. Daraus lässt sich ableiten, dass zwar die Maßnahmen Auswirkungen haben auf die Verkehrsmittelwahl, Anwohnende jedoch nur gering von ihrem Verkehrsverhalten abweichen (müssen).

In der Auswertung des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs des Untersuchungsgebiets, also von allen Wegen, deren Start- und/oder Endpunkt im Untersuchungsgebiet liegen, sind starke Effekte zu sehen. Das Besondere daran ist, zu zeigen, dass die Maßnahmen die Verkehrsmittelwahl weit über das Planungsgebiet hinaus beeinflussen und ähnlich wie in der Studie von Liu et al. (2021) ausstrahlende Wirkung haben. Die anteilige Halbierung des MIV-Anteils zwischen Basisszenario und 2. Maßnahmenzenario ist ein bedeutender Unterschied. Bei dieser Verkehrsteilmenge lohnt sich auch die genauere Interpretation der Modal Splits je nach Wegstrecke (Kapitel 8.3.3). Auch hier ist die gleiche Tendenz, dass der MIV-Anteil deutlich sinkt über alle Entfernungen hinweg, erkennbar. Besonders hoch ist das Ausmaß der Reduktion jedoch bei mittleren Entfernungen. Dadurch, dass keine einzelnen Strecken in allen drei Szenarien mit den gleichen Modi simuliert werden, sondern in jedem Szenario andere Wege durchgeführt werden, ist die niedrige Reduktion des MIV-Anteils bei Entfernungen unter 5 km folgerichtig. In den Fällen, in denen der MIV im Basisszenario das Verkehrsmittel der Wahl ist, wird in Szenario 2 durch die erschwerte Verkehrssituation für den MIV auf kurzen Strecken viel seltener der Modus MIV gewählt, da andere Verkehrsmittel bessere Bedingungen bieten. Nur Wege, die nicht betroffen sind von Verkehrseinschränkungen für MIV werden deshalb auf diesen Entfernungen weiterhin mit dem MIV zurückgelegt. Der MIV hat auf mittleren Entfernungen MIV den größten Kosten-Nutzen-Abstand zu dem anderer Verkehrsmittel. Deshalb wird auf diesen Entfernungen dennoch der MIV gewählt, da andere Verkehrsmittel trotz deutlicher Reisezeiterhöhung im MIV noch immer schlechtere Bedingungen bieten. Bei langen Entfernungen jedoch ist der Kosten-Nutzen-Abstand des MIV zu den anderen Verkehrsmitteln wieder geringer, weshalb die Verkehrseinschränkungen und Reisezeiterhöhungen wieder mehr zum Verkehrsmittelwechsel führen.

Die weiteren Ergebnisse beziehen sich nur auf die Verkehrsteilmenge des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs. Diese Entscheidung in der Auswertung wurde getroffen, weil damit in die Stadt ausstrahlende Wirkungen der Maßnahmen untersucht werden können, da alle diese Wege tendenziell von den Maßnahmen im Untersuchungsgebiet betroffen sind, während gleichzeitig eine aussagekräftige Wegeanzahl vorliegt. Deshalb sind die im Folgenden diskutierten Ergebnisse immer auf diese Verkehrsteilmenge bezogen.

9.3 Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen nach sozioökonomischen Dimensionen

Um den Aspekt der sozialen Gerechtigkeit bei der Analyse der Maßnahmen explorativ zu betrachten, wurden die Simulationsdaten in Kapitel 8.4 spezifisch nach fünf sozioökonomischen Charakteristika ausgewertet: Ökonomischer Status, Alter, Erwerbsstatus, Alleinerziehende und Gender. Im Folgenden wird auf die Verkehrsmittelwahl unter besonderer Betrachtung dieser Charakteristika eingegangen.

Die Ergebnisse der Modelldaten nach ökonomischen Statusgruppen (öSg) in Kapitel 8.4.1 zeigen auf, dass bedeutende Unterschiede in der Verkehrsmittelwahl und dementsprechend zwischen den öSg gibt, sodass die niedrigen öSg eher langsame, aber kostengünstige aktive Mobilität³⁴ nutzen im Vergleich zu höheren öSg. Im Vergleich zwischen den Szenarien fällt jedoch auf, dass die Unterschiede im Modal Shift zwischen den öSg gering sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die Maßnahmen keine besonderen Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage der unterschiedlichen öSg haben, also auch ökonomisch Schwächere nicht besonders von den Maßnahmen betroffen sind.

Die Ergebnisse der Modelldaten nach Altersgruppen in Kapitel 0 zeigen, dass im Modell Agent*innen unterschiedlicher Altersgruppen unterschiedliche Modal Splits haben. Auch beim Modal Shift zum 2. Maßnahmenzenario fällt auf, dass zwar alle Altersgruppen eine ähnliche relative Reduktion des MIV-Anteils um ca. 45% aufweisen, Personen unterschiedlicher Altersgruppen jedoch auf andere Verkehrsmittel umsteigen. Vor allem ältere Agent*innen steigen dabei überproportional auf den Fußverkehr um. Die Fußverkehrsinfrastruktur im Untersuchungsgebiet hat ähnlich wie in gesamt Berlin große Verbesserungspotentiale in den Aspekten Barrierefreiheit, Sicherheit, Luft- und Lärmbelastung und Aufenthaltsqualität (vgl. FUSS e.V. Fachverband Fußverkehr Deutschland, 2023; Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin, 2023a). Ältere Menschen sind noch mehr als jüngere auf diese Aspekte im öffentlichen Raum und im Fußverkehr angewiesen. Deshalb fordern diese Erkenntnisse eine erhöhte Aufmerksamkeit und Maßnahmen für die Verbesserung des Fußverkehrs im Untersuchungsgebiet.

In den Ergebnissen der Modelldaten nach Erwerbsstatus in Kapitel 8.4.3 fällt auf, dass die Modal Splits der unterschiedlichen Erwerbsstatusgruppen sehr unterschiedlich sind. Die Modal Shifts zum 2. Maßnahmenzenario aller Erwerbsstatusgruppen sind in der relativen Reduktion des MIV-Anteils homogen. Bei der Analyse der Veränderungen zwischen den Szenarien sollte laut den Erkenntnissen aus Kapitel 5.2 besonders auf die Gruppen der Erwerbslosen und Rentner*innen geachtet werden. Erwerbslose und Rentner*innen zeigen eine besonders starke absolute und relative Verlagerung auf

³⁴ Definition aktive Mobilität: „Unter aktiver Mobilität versteht man Fortbewegung mit Hilfe der eigenen Muskelkraft, also insbesondere Zulußgehen und Radfahren, aber auch das Fahren mit Tretrollern, Inlineskates oder Pedelects“ (VCÖ - Mobilität mit Zukunft, 2023).

den Fußverkehr. Die Überlappung der Gruppen der Rentner*innen und der älteren Altersgruppen aus dem vorherigen Absatz, bestätigen diese Beobachtungen. Auch hier gilt die Schlussfolgerung, dass der Fußverkehr besondere Aufmerksamkeit verlangt, um die Verkehrsqualität und Gesundheit dieser benachteiligten Gruppen besonders zu fördern.

Die nächste Gesellschaftsgruppe, die besonders untersucht wurde ist die der Agent*innen, die in Alleinerziehendenhaushalten leben. Diese Personen verdienen in der Nördlichen Luisenstadt besondere Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 5.2). In Kapitel 8.4.4 werden deshalb die Ergebnisse vorgestellt, die zeigen, dass Personen aus Alleinerziehendenhaushalten einen deutlich geringeren MIV-Anteil im Basisszenario haben. Der Modal Shift durch die Maßnahmen in Szenario 2 zeigt, dass Personen aus Nicht-Alleinerziehendenhaushalten größere Veränderungen in ihrer Verkehrsmittelwahl haben. Im relativen Vergleich reduzieren jedoch beide Gruppen ihren MIV-Anteil um fast den gleichen Anteil. Diese Ergebnisse können so interpretiert werden, dass die sowieso eher benachteiligten Personen aus Alleinerziehendenhaushalten weniger große Veränderungen in ihrer Verkehrsmittelwahl machen (müssen), sie also vergleichsweise weniger belastet werden durch die Maßnahmen.

Als letzte Dimension wurde Gender betrachtet. Die Ergebnisse, die in Kapitel 8.4.5 vorgestellt werden, legen nahe, dass sich nur minimale Unterschiede sowohl im Modal Split als auch im Modal Shift zwischen Männern und Frauen ergeben.

Abschließend kann nach der Betrachtung der Modellierungsergebnisse nach diesen fünf sozioökonomischen Charakteristika geschlossen werden, dass die Reduktionen des MIV-Anteils sich anteilig auf alle betrachteten Bevölkerungsgruppen sehr ähnlich verteilt. Außerdem kann abgeleitet werden, dass sich durch die Maßnahmen keine überproportionalen Belastungen durch Veränderungen der Verkehrsmittelwahl für eher benachteiligte Gruppen in der Nördlichen Luisenstadt ergeben. Damit schaden die Maßnahmen der Zielsetzung des MobG BE in § 3 Nr. 3, dass „Mobilität in Berlin [...] bezogen auf die wesentlichen Wegezwecke [...] unabhängig von Alter, Geschlecht, Einkommen und persönlichen Mobilitätsbeeinträchtigungen, sowie von Lebenssituation, Herkunft oder individueller Verkehrsmittelverfügbarkeit gewährleistet werden“ soll, nicht. Die Folgerung, die aus mehreren betrachteten Dimensionen gezogen werden kann, ist, dass besonders benachteiligte Gruppen auf den Fußverkehr angewiesen sind. Daraus lässt sich schließen, dass eine Förderung des Fußverkehrs wichtig ist, besonders aus einer sozialen Gerechtigkeitsperspektive. Das ist eine Erkenntnis, die sich mit Studien zur sozialen Gerechtigkeit in der Verkehrswende deckt (vgl. Anciães, 2011; Mullen, 2021). Gemeinsam mit den Erkenntnissen aus Kapitel 9.2 bedeutet das, dass die geplanten Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt einen bedeutenden Beitrag zu einer sozialen und ökologischen Mobilitätswende leisten können und aus sozialer Sicht – nach den Kriterien und Analysen dieser Arbeit – keine Gründe gegen die Umsetzung sprechen.

9.4 Eignung der Modellierung für die Untersuchung der Fragestellungen

Diese Forschung ist im Rahmen einer Kollaboration zwischen dem Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg und dem DLR-VF entstanden zur Untersuchung der geplanten Maßnahmen auf ihre Auswirkungen auf Verkehrsnachfrage, Verkehrsfluss und Verkehrsemissionen. Diese Kollaboration hat unter anderem das Ziel, die Bezirksverwaltung über die modellierten Auswirkungen der Maßnahmen zu informieren. Diese Masterarbeit behandelt dabei die Untersuchung der Verkehrsnachfrage. Für diese Analyse ist TAPAS und mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodellierung gut geeignet, da sowohl

Bevölkerung, als auch Verkehrsverhalten detailliert simuliert werden können. Vor allem in einem so kleinen Gebiet, wie der Nördlichen Luisenstadt, würden beispielsweise makroskopische Modelle nicht so geeignet sein. Ähnlich wie in der Arbeit von Krajzewicz et al. (2016a) in der TAPAS zur Simulation von Emissionsmanagementmaßnahmen genutzt wird, ist auch für diese Arbeit die mikroskopische Auflösung von TAPAS notwendig, um das Verkehrsnutzungsverhalten angemessen replizieren zu können. TAPAS erlaubt außerdem die Simulation von vielfältigen Maßnahmen und Szenarien (Heinrichs, Cyganski, et al., 2016). Die Möglichkeit neue Funktionalitäten und Begebenheiten zu integrieren (wie in Heinrichs et al., 2017) ist ein weiterer großer Vorteil von TAPAS, genauso wie die hohe Informationsdichte der Ausgabedaten. Letzteres macht den anderen Teil dieser Arbeit, die Untersuchung der Ergebnisse nach einzelnen sozioökonomischen Dimensionen, möglich. Obwohl TAPAS nicht dazu entworfen wurde, zeigt sich in der Auswertung der Ergebnisse, dass die durchgeführte Analyse durchaus sinnvoll und erkenntnisbringend ist. Diese Ergebnisse können deshalb zusätzlich die Planungsentscheidungen des Bezirks informieren und die sozial-ökologische Mobilitätswende begründen.

Damit reiht sich diese Arbeit ein in Forschungen an Klimaschutz- und Verkehrsmaßnahmen mit (mikroskopischer) Personenverkehrsnachfragemodellierung, wie in Kapitel 4.2 beschrieben. Ähnliche Erkenntnisse zur Anwendbarkeit von Verkehrsmodellen wurden von Yun et al. (2022) und Yagi et al. (2014) in ihren Forschungsarbeiten beschrieben. Sie betonen, ähnlich wie diese Arbeit, dass die Qualität der Modellierung und der Ergebnisse sehr stark von den Eingabedaten abhängig ist und wie gut diese Daten die reale Heterogenität abbilden.

Trotz der ähnlichen Forschungsfragen dieser Arbeit und den Arbeiten von Bindzar et al. (2021) und Chow et al. (2021) – alle drei Arbeiten untersuchen Einbahnstraßen und ihre Auswirkungen – fällt auf, dass die Schlüsse, die aus den Arbeiten gezogen werden, entgegengesetzt sind. Das liegt vor allem darin begründet, dass die gewünschten Auswirkungen der Maßnahmen in den beiden genannten Studien und in dieser Masterarbeit unterschiedlich sind: In ebendiesen Studien zielen Maßnahmen auf Stauverringerung ab, in dieser Masterarbeit auf Verkehrsberuhigung. Dieser Vergleich betont, wie wichtig es für die Modellierung, aber vor allem für die Auswertung ist, mit welchem Zweck die Maßnahmen geplant werden.

9.5 Limitationen der Ergebnisse

Diese Arbeit ermöglicht wichtige Erkenntnisse über die Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt. Sowohl aus der Modellierung selbst als auch aus der Auseinandersetzung mit dem Themenkomplex haben sich einige Limitierungen herauskristallisiert. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Die Modellierung der Szenarien hat sich im Prozess dieser Arbeit als Herausforderung gezeigt, da durch interne Prozesse mit der Kopplung von SUMO, UrMoAC und TAPAS einige Verzögerungen aufgetreten sind. Das hat aus Zeit- und Personalgründen schließlich dazu geführt, dass die Rückkopplungsschleife von TAPAS und SUMO nicht mehrmals durchlaufen wurde. Diese Rückkopplung ist ursprünglich dazu gedacht, die Verkehrsnachfrage und die Netzbelastung, die sich vor allem beim MIV gegenseitig stark bedingen, durch wiederholte Simulationen in ein Gleichgewicht zu bringen. Das wurde für diese Arbeit jedoch nicht gemacht. Von Erfahrungswerten mit TAPAS wurde jedoch abgeleitet, dass die untersuchten Maßnahmen keinen so großen Effekt auf die Netzbelastung haben würden und deshalb

die Ergebnisse auch ohne mehrere Simulationsschleifen aussagekräftig seien. Diese Annahme muss jedoch hier benannt werden als mögliche Limitation der Ergebnisse.

Friedrich (2011) betont, dass selbst aus den optimalsten und mikroskopischsten Nachfragemodellen nur aggregierte Schlüsse gezogen werden können, wobei die Aussagegenauigkeit mit zunehmender Aggregation steigt. Wie groß die Aggregation sein muss, um aussagekräftige Schlüsse ziehen zu können, müssen jedoch die Modellierer*innen je nach Modell und Anwendungsfall entscheiden. Für diese Forschung bleibt zu betonen, dass die detaillierte Betrachtung der unterschiedlichen Personengruppen weniger aussagekräftig ist, als die, der gesamten Personen. Ebenfalls trifft das auf die räumliche Detailliertheit zu. Während der Forschung ist außerdem aufgefallen, dass die Daten für eine umfangreiche Analyse von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen auf Personen aus benachteiligten Gruppen nach sozioökonomischen Charakteristika nicht in der notwendigen Auflösung und Spezifikation im Modell vorliegen. Wie (Lucas et al., 2016) für das in deren Studie untersuchte Modell bemerkt, ist auch TAPAS nicht per se ideal geeignet, um solche Untersuchungen zu machen.

Es ist bei der Auseinandersetzung mit Modellierung zur Politikberatung außerdem deutlich geworden, dass trotz komplexer Eingabedaten, Kalibrierung und sorgfältiger Auswertung die Ergebnisse nicht prognostisch verstanden werden sollten (vgl. Yagi et al., 2014; Yun et al., 2022). Trends und Tendenzen können jedoch aus den Ergebnissen abgeleitet werden. Das ist unter anderem dadurch bedingt, dass alle drei Szenarien mit der gleichen synthetischen Bevölkerung und Stadtstruktur arbeiten. Die Szenarien simulieren also „Ist“-Zustände, jedoch keine zukünftigen. Anpassungsphasen werden nicht mit abgebildet. Um realistische Ergebnisse für die Verkehrsnachfrage nach den Anpassungsphasen zu erhalten, müssten demnach zumindest zukünftige Bevölkerungs- und Stadtentwicklungen mit im Modell simuliert werden. Das bedeutet, dass in den Szenarien viele Unsicherheiten bestehen. Welch und Mishra (2014) betonen in ihrer Forschung, besonders behutsam Ableitungen aus Modellen mit vielen Unsicherheiten zu ziehen. Aber auch von den konkreten Szenarien abgesehen gibt es in der Literatur Kritik an der Nutzung von Verkehrsmodellen für Prognosezwecke für die Politikberatung. Nach Gilbert et al. (2018) und Næss et al. (2014) sollten Modelle zur Politikberatung für zwei Zwecke genutzt werden. Erstens zur Designhilfe, indem explorativ unterschiedliche Szenarien modelliert und verglichen werden können. Zweitens zur Evaluation, indem rückwirkend Veränderungen auf ihre Ursachen hin mithilfe von Modellen analysiert werden können. Die Autor*innen betonen außerdem, dass die enge Kollaboration in Projekten zwischen Modellierer*innen und Entscheidungsträger*innen ihren Erfahrungen nach an sich schon ein Mehrwert darstellen (Gilbert et al., 2018).

9.6 Weiterführende Forschungen

Trotz dieser Limitationen und über die erlangten Erkenntnisse hinaus, stellt diese Arbeit einen Startpunkt für weitere Forschungen und Entwicklungen dar. Auf einige Vorschläge wird in diesem Unterkapitel eingegangen.

Für TAPAS ergeben sich aus dieser Arbeit mehrere, vielversprechende Weiterentwicklungsmöglichkeiten: Einerseits ist eine bessere Integration von Verkehrsnachfragesimulation und Umlegung notwendig, um einfach und schnell mehrere Simulationsdurchläufe rechnen zu können und stabilere Simulationsdaten zu erhalten. Eine Weiterentwicklung der Szenarienimplementierung könnte es ermöglichen, in TAPAS schnell einzelne Maßnahmen und Maßnahmenbündel gegeneinander zu testen, um weitere Erkenntnisse zu erlangen.

Außerdem sollten gebietsübergreifende Veränderungen im Mobilitätssystem auch in den Szenarien regelmäßig aktualisiert werden, um realistische Abbilder des Verkehrssystems zu erhalten. Beispiele dafür wären das Deutschlandticket oder gestiegene Spritpreise. Ein weiterer Aspekt für eine weitere Forschung wäre eine Neuevaluation des Expert*innenwissens darüber, wie sich allgemein die gesellschaftspsychologischen Einstellungen gegenüber unterschiedlichen Verkehrsmitteln ändern und geändert haben.

Der Fokus dieser Arbeit ist nicht die Analyse der aktuellen Verkehrssituation aus einer sozialen Gerechtigkeitsperspektive, weshalb nur die Modal Shifts daraufhin untersucht wurden, ob einzelne, vor allem besonders benachteiligte Gruppen anders betroffen sind von den Maßnahmen. Eine Untersuchung der Modal Splits unterschiedlicher gesellschaftlicher Gruppen wäre jedoch auch nur im Basisszenario spannend. Das würde weitere Forschungen über die Qualität der unterschiedlichen Verkehrsmittelnutzung per se erfordern. Zum Beispiel würde sich die gesellschaftsphilosophische Frage stellen, ob Menschen, die mehr aktive Mobilität nutzen bevorteilt sind, da aktive Mobilität gesundheitsfördernde Wirkungen haben kann, oder ob diese Menschen benachteiligt wären, da aktive Mobilität meist langsamer ist und diese Menschen damit längere Reisezeiten haben (auf vergleichbaren Strecken). Ein Ansatz, der sich deshalb für weitere Forschungen eher lohnen würde, wäre eine Untersuchung der Zugangsgerechtigkeit zu den Verkehrsmitteln. Doch auch hier würden sich weitere Fragen und Unklarheiten eröffnen, wie die Frage, ob alle Menschen Zugang zu einem privaten Pkw haben sollten, oder eher im Sinne einer Mobilitätswende nur die, die darauf angewiesen sind und wie dieses „angewiesen sein“ dann definiert werden sollte. Wie in Kapitel 2.5 zu sozialer Gerechtigkeit und der Verkehrswende beschrieben, sind Gerechtigkeitsfragen in der Verkehrsplanung sehr wichtig, jedoch auch sehr komplex.

Ein weiterer Aspekt, der in dieser Arbeit nicht abgedeckt werden kann, jedoch weiterer Forschung bedarf ist eine verschränkte (intersektionale) Betrachtung der sozioökonomischen Dimensionen, bei der Analyse der Verkehrsnachfrage. Zum Beispiel sind in dieser Arbeit die Dimensionen ökonomischer Status und Alter einzeln analysiert worden, die weitere Untersuchung der Ergebnisse unter Berücksichtigung beider Charakteristika zusammen, könnte noch deutlich präzisere Informationen darüber liefern, welche Gruppen wie von den Verkehrsmaßnahmen beeinflusst werden. In Anlehnung an die Studie von Lucas et al. (2016) sollten außerdem bei der Untersuchung von Verkehrsverhalten nach sozioökonomischen Dimensionen außer individuellen und haushaltsbezogenen Eigenschaften außerdem Faktoren auf nachbarschaftlicher Ebene der Nachbarschaft einbezogen werden.

10 Fazit und Ausblick

Um die Mobilitätswende in Berlin umzusetzen, werden in ganz Berlin viele kleine und große Veränderungen am Verkehrssystem vorgenommen. Diese Arbeit hatte den Zweck die Planung solcher Veränderungen beispielhaft zu begleiten und auf die sozial-ökologischen Ziele der Mobilitätswende zu überprüfen. Das Hauptziel dieser Masterarbeit war es, zu untersuchen, wie die geplanten Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt sich auf die Verkehrsnachfrage auswirken. Zur Untersuchung dieser Fragestellung, wurde die Methode der mikroskopischer Personenverkehrsnachfragemodellierung gewählt. Sie erlaubte außerdem die Untersuchung des Einflusses der Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage unterschiedlicher Personengruppen nach sozioökonomischen Dimensionen um die Maßnahmen auf die Ansprüche einer sozial-ökologischen Verkehrswende zu untersuchen.

Die Reflektionen über den Prozess und die Erkenntnisse aus den Szenarien führen zu dem Fazit, dass eine generelle Untersuchung von Maßnahmen in der Nördlichen Luisenstadt eher explorativ als prognostisch sinnvoll sein kann, um die Wirksamkeit und Auswirkungen von Maßnahmen zu testen. Da außerdem die Validierung des Modells nicht so kleinräumig gegeben ist, sind die in dieser Arbeit beschriebenen genauen Zahlen nicht dazu geeignet, ausschlaggebend für den Beschluss von Maßnahmen zu sein. Denn eine sichere Antwort auf die Frage, wie genau sich die Maßnahmen in der echten Welt auswirken würden, kann nicht gegeben werden.

Zur allgemeinen Einschätzung, wie die Maßnahmen sich auswirken können, ist diese Forschung hingegen sehr hilfreich. Die zu Beginn aufgestellte Hypothese, dass sich der MIV-Anteil reduziert durch die geplanten Maßnahmen kann bestätigt werden. Es lässt sich schließen, dass vor allem die Straßensperrungen für den MIV und die Parkplatzreduktion auf diesen Straßen zu diesem Effekt führen. Es lässt sich außerdem ableiten, dass die Maßnahmen vermutlich keine Personengruppen nach den Dimensionen Alter, ökonomischem Status, Erwerbsstatus, Alleinerziehendenstatus oder Gender besonders belastet. Darüber hinaus kann abgeleitet werden, dass besonders der Fußverkehr zusätzlich gefördert werden sollte, um benachteiligte Gruppen in den genannten Dimensionen zu unterstützen.

Diese Arbeit in dem Bereich der Untersuchung sozial-ökologischer Dimensionen bei der Analyse von Verkehrsmaßnahmen mithilfe von mikroskopischer Verkehrsnachfragemodellierung zeigt deutlich auf, welche Wichtigkeit und Möglichkeiten diese Forschung hat. Im Sinne der Integration von sozialen Gerechtigkeitsüberlegungen in die moderne Verkehrsplanung hin zu einer sozial gerechten und ökologischen Mobilitätswende ist weitere Forschung wie diese notwendig.

11 Persönliche Reflektion

Diese Masterarbeit hat für mich eine wissenschaftliche Herausforderung dargestellt. Als mein erster Kontaktpunkt mit Verkehrsmodellierung und verkehringenieurwissenschaftlichen Fragen, bin ich mit sehr viel Neugierde und Wissenslücken in die Arbeit gestartet. Vor allem die Einarbeitung und Szenarienmodellierung in TAPAS hat sich als eine der größten Herausforderungen hervorgetan. Für diese Arbeit war es schwierig alle notwendigen Informationen zum Verständnis, der Anwendung und der Auswertung des Modells zu finden. Besonders die Dokumentation des Modells war nicht ausreichend für mich, um ein tiefes Verständnis für das Modell zu entwickeln. In unterschiedlichen Publikationen, internen Dokumenten, Datenbanken-Tabellen und internen Wiki-Einträgen waren meiner Erfahrung nach, unterschiedliche, oft lückenhafte Informationen aus unterschiedlichen Entwicklungsstufen und Anwendungen zu finden, ohne klare Einordnung. Vor allem in Wiki-Einträgen war an der Stelle von wichtigen Informationen oft der Vermerk „ToDo“ zu finden. Außerdem existierten starke Wissensmonopole bei einzelnen Mitarbeiter*innen des DLR, die die regelmäßig zu findenden Informationslücken auf Nachfrage füllen konnten. Der Mehraufwand, der sich dadurch jedoch ergab, sowohl auf meiner Seite als auch auf der der Mitarbeiter*innen wäre durch eine bessere Dokumentation vermeidbar. Trotz, dass das Modell Open Source ist, bedeuten diese Informationslücken, dass realistisch ohne die Mitarbeit des DLR, kaum jemand mit TAPAS arbeiten könnte. Des Weiteren sind mehrere Bugs und Fehler im Modell und in den verwandten Modellen aufgetreten. Viel weitere Arbeit ist deshalb erforderlich in der Verbesserung und Dokumentation des Modells selbst und der damit modellierten Szenarien. Nichtsdestotrotz hat mich persönlich die Arbeit am Modell und mit den Mitarbeiter*innen des DLR weiter gebracht und ich habe viel dazu gelernt.

Eine weitere Schwierigkeit für diese Arbeit war, dass besonders in diesem Bereich sich wissenschaftliche Forschung sehr nah an wirtschaftlicher Forschung von Beratungsinstituten bewegt. Obwohl in dieser Arbeit also nicht benannt, ist es gut möglich, dass vergleichbare Forschungen schon gemacht wurden, diese jedoch nicht publiziert wurden, sondern Teil der Weiterentwicklung proprietärer Modelle waren. Aus dieser Überlegung will ich die besondere Wichtigkeit von offener Forschung in diesem Bereich betonen, die gesellschaftliche Nachvollziehbarkeit von Verkehrsmodellierung und ihren Konsequenzen ermöglicht.

12 Bibliographie

- Agora Verkehrswende (Hrsg.). (2022). Mut zur lebenswerten Stadt. Anregungen für Kommunen, sich mit Nachdruck für bessere Mobilität einzusetzen.
- Agora Verkehrswende. (2023, Mai 31). Die Verkehrswende gelingt mit der Mobilitäts-wende und der Energiewende im -Verkehr. <https://www.agora-verkehrswende.de/12-thesen/die-verkehrswende-gelingt-mit-der-mobilitaetswende-und-der-energiewende-im-verkehr/>, <https://www.agora-verkehrswende.de/12-thesen/die-verkehrswende-gelingt-mit-der-mobilitaetswende-und-der-energiewende-im-verkehr/>
- Alvarez Lopez, P., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., & Wießner, E. (2018). Microscopic Traffic Simulation using SUMO. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2575–2582. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938>
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (2019a). Statistischer Bericht A I 11 – j / 18 | Ergebnisse des Mikrozensus im Land Berlin 2018 – Haushalte, Familien und Lebensformen.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (2019b, Januar 1). Lebensweltlich orientierte Räume (LOR)— Bezirksregionen. https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=zoomStart&mapId=lor_bez@senstadt&bbox=391553,5816981,395417,5819213
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (2023a, August 2). Raumbezüge. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/raumbezeuge>
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (2023b, August 15). Einwohnerbestand Berlin. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/kommunalstatistik/einwohnerbestand-berlin>
- Anciães, P. R. (2011). Urban transport, pedestrian mobility and social justice: A GIS analysis of the case of the Lisbon Metropolitan Area [Phd, London School of Economics and Political Science]. <http://etheses.lse.ac.uk/142/>
- Audenhove, F.-J. V., Bettati, A., Smith, A., Rominger, G., Steylemans, N., Haon, S., Korn, A., & Zintel, M. (2018). The Future of Mobility 3.0.
- Barrios, J. A., & Godier, J. D. (2014). Fleet Sizing for Flexible Carsharing Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2416(1), Article 1. <https://doi.org/10.3141/2416-01>
- Baustopp für Radwege in Berlin: Verkehrssenatorin verteidigt Entscheidung – mit einer Einschränkung. (2023, Juni 16). *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/berlin/baustopp-fur-radwege-berlins-verkehrssenatorin-verteidigt-entscheidung--mit-einer-einschrankung-9999256.html>
- Becker, S., von Schneidemesser, D., Caseiro, A., Götting, K., Schmitz, S., & von Schneidemesser, E. (2022). Pop-up cycling infrastructure as a niche innovation for sustainable transportation in European cities: An inter- and transdisciplinary case study of Berlin. *Sustainable Cities and Society*, 87, 104168. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104168>

- Beckman, R. J., Baggerly, K. A., & McKay, M. D. (1996). Creating synthetic baseline populations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(6), Article 6. [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(96\)00004-3](https://doi.org/10.1016/0965-8564(96)00004-3)
- Beckmann, K. J., Thiemann-Linden, J., Preuß, T., & Gies, J. (2011). Leitkonzept—Stadt und Region der kurzen Wege. Gutachten im Kontext der Biodiversitätsstrategie. <https://repository.difu.de/handle/difu/129786>
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., & Krajzewicz, D. (2011). SUMO – Simulation of Urban MObility: An Overview. In S. & U. of O. Aida Omerovic, R. I.-R. T. P. Diglio A. Simoni, & R. I.-R. T. P. Georgiy Bobashev (Hrsg.), *Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*. ThinkMind. <http://www.thinkmind.org/index.php?view=instance&instance=SIMUL+2011>
- Beige, S., Heinrichs, M., Krajzewicz, D., & Cyganski, R. (2017). Who gets the key first? Car allocation in activity-based modelling. *International Journal of Urban Sciences*, 1–15.
- Beil, Qanjary, Beckert, Fuhrmann, Penski-Ghani, Fißler, & MESSSKI – P. Messinger & B. Ignaszewski GbR. (2020). *Bezirksregionenprofil Teil I, Ausgabe 2020, Nördliche Luisenstadt* (S. 81).
- Berliner Verkehrsbetriebe. (2022, April 7). Nächste Schritte der Elektrifizierung der BVG-Busflotte gesichert. BVG Unternehmen. <https://unternehmen.bvg.de/news/naechste-schritte-der-elektrifizierung-der-bvg-busflotte-gesichert/>
- Berliner Verkehrsbetriebe (BVG). (2023). *Zahlenspiegel 2023*. <https://unternehmen.bvg.de/wp-content/uploads/2023/05/BVG-Zahlenspiegel-2023.pdf>
- Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin. (2022). Drucksache: DS/0299/VI - Vorgehen zur Umsetzung flächendeckender Verkehrsberuhigung und Umgang mit der Beschlusslage sog. Kiezblocks.
- Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin. (2021, April 26). Erweiterung der Fußgänger*innenzone am Lausitzer Platz. <https://www.berlin.de/ba-friedrichshain-kreuzberg/aktuelles/pressemitteilungen/2021/pressemitteilung.1078785.php>
- Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin. (2023a, Mai 24). Drucksache—DS/0082-01/VI - Begleitantrag zum EwA Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt. <https://www.berlin.de/ba-friedrichshain-kreuzberg/politik-und-verwaltung/bezirksverordnetenversammlung/online/vo020.asp?VOLFDNR=10323#allrisBV>
- Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin. (2023b, Juni 27). Xhain beruhigt sich: Friedrichshain-Kreuzberg legt berlinweit erstes gesamtbezirkliches Konzept für Verkehrsberuhigung vor. <https://www.berlin.de/ba-friedrichshain-kreuzberg/aktuelles/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung.1339045.php>
- Bezirksamt Mitte von Berlin. (2020, Mai 26). Sanierungsgebiet Nördliche Luisenstadt. <https://www.berlin.de/ba-mitte/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/stadtplanung/staedtebaufoerderung/sanierungsgbiete/artikel.174904.php>

- Bindzar, P., Saderova, J., Sofranko, M., Kacmary, P., Brodny, J., & Tutak, M. (2021). A Case Study: Simulation Traffic Model as a Tool to Assess One-Way vs. Two-Way Traffic on Urban Roads around the City Center. *Applied Sciences*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/app11115018>
- BMDV - Radschnellwege bringen Fahrradfahrer zügig & sicher ans Ziel! (o. J.). Abgerufen 23. August 2023, von <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Radverkehr/radschnellwege.html>
- Bonabeau, E. (2002). Agent-Based Modeling: Methods And Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 Suppl 3, 7280–7287. <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- Brakel, J. (2020, November 10). Abschlussbericht: Verbundvorhaben ENavi - Energiewende-Navigationssystem zur Erfassung, Analyse und Simulation der systemischen Vernetzungen. Reiner Lemoine Institut. <https://reiner-lemoine-institut.de/abschlussbericht-verbundvorhaben-enavi-energiewende-navigationssystem-zur-erfassung-analyse-und-simulation-der-systemischen-vernetzungen/>
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausführkontrolle. (2023, August 23). BAFA - Einzelantrag stellen. https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/Neuen_Antrag_stellen/neuen_antrag_stellen_node.html
- Bundes-Klimaschutzgesetz. (2021). <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2023, April 3). BMDV - Mobilität in Deutschland (MiD). <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>
- Campisi, T., Akgün, N., Ticali, D., & Tesoriere, G. (2020). Exploring Public Opinion on Personal Mobility Vehicle Use: A Case Study in Palermo, Italy. *Sustainability*, 12(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su12135460>
- Canzler, W. (2013). Verkehr und Mobilität. In S. Mau & N. M. Schöneck (Hrsg.), *Handwörterbuch zur Gesellschaft Deutschlands* (S. 922–935). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18929-1_64
- Canzler, W., & Knie, A. (2002, Mai 26). „New Mobility“? Mobilität und Verkehr als soziale Praxis. <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/25355/new-mobility-mobilitaet-und-verkehr-als-soziale-praxis/>
- Canzler, W., & Knie, A. (2023, März 13). Mobilitätswende aktiv gestalten – was darf, kann und soll Wissenschaft tun? <https://www.wzb.eu/de/veranstaltungen/mobilitaetswende-aktiv-gestalten-was-darf-kann-und-soll-wissenschaft-tun>
- Cervero, R., & Duncan, M. J. (2003). Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence From the San Francisco Bay Area. *American Journal of Public Health*, 93(9), Article 9. <https://doi.org/10.2105/ajph.93.9.1478>
- Changing Cities. (2021a, März 7). #Kiezblocks—Kreuzberger Luisenstadt-Kiezblock. <https://www.kiezblocks.de/kreuzberg-luisenstadt/>

- Changing Cities. (2021b, Juni 5). #Kiezblocks—Kiezblock Nördliche Luisenstadt. kiezblocks.de.
<https://www.kiezblocks.de/noerdliche-luisenstadt/>
- Changing Cities e.V. (2023a, Juli 6). Die Depublizierung der Verkehrswende. Changing Cities.
<https://changing-cities.org/die-depublizierung-der-verkehrswende/>
- Changing Cities e.V. (2023b, August 7). #Kiezblocks—Konzept. kiezblocks.de.
<https://www.kiezblocks.de/konzept/>
- Chow, Y. H., Tan, Q., Bhuiyan, M. A. A., Kumar, B. V. D., Reaz, M., Yuen, C. W., & Ooi, K. (2021). Urban Traffic Network Sustainability of One-Way and Two-Way Streets: A Case Study in Downtown Brickfields, Kuala Lumpur. <https://www.semanticscholar.org/paper/Urban-Traffic-Network-Sustainability-of-One-Way-and-Chow-Tan/4b9c9cd2375485b6f8e6d5017b9a114421eeda08>
- Cole, H. V. S., Lamarca, M. G., Connolly, J. J. T., & Anguelovski, I. (2017). Are green cities healthy and equitable? Unpacking the relationship between health, green space and gentrification. *J Epidemiol Community Health*, 71(11), 1118–1121. <https://doi.org/10.1136/jech-2017-209201>
- Creutzig, F., Javaid, A., Soomauroo, Z., Lohrey, S., Milojevic-Dupont, N., Ramakrishnan, A., Sethi, M., Liu, L., Niamir, L., Bren d'Amour, C., Weddige, U., Lenzi, D., Kowarsch, M., Arndt, L., Baumann, L., Betzien, J., Fonkwa, L., Huber, B., Mendez, E., ... Zausch, J. M. (2020). Fair street space allocation: Ethical principles and empirical insights. *Transport Reviews*, 40(6), 711–733.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1762795>
- Cyganski, R., von Schmidt, A., & Heldt, B. (2017). Generierung synthetischer Bevölkerungen für Berlin—Möglichkeiten und Grenzen. In N. Mathys & A. Justen (Hrsg.), Workshopbericht „Synthetische Populationen für die Politikberatung in der Schweiz“ (S. 18–23). Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Sektion Grundlagen.
https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/grundlagen/dokumente/synpop_workshopbericht.pdf.download.pdf/2017-12-08_ARE_SynPop_Workshopbericht_inkl_Anhang.pdf
- Dangschat, J. S. (2022). Verkehrswende – sozial und räumlich ausgewogen. *Journal für Mobilität und Verkehr*, 14, 2–10. <https://doi.org/10.34647/jmv.nr14.id87>
- Daubitz, S. (2011). Mobilität und Armut – Die soziale Frage im Verkehr. In *Verkehrspolitik* (S. 181–193). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92843-2_9
- Daubitz, S. (2016). Mobilitätsarmut: Die Bedeutung der sozialen Frage im Forschungs- und Politikfeld Verkehr. In *Handbuch Verkehrspolitik* (S. 433–447). Springer VS, Wiesbaden.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-04693-4_20
- de Dios Ortuzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport—4th Edition*.
<https://trid.trb.org/view/1126997>
- Der Regierende Bürgermeister von Berlin & Landesregierung Brandenburg. (2023, August 15). Daten und Fakten. Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. <https://www.berlin-brandenburg.de/hauptstadtregion-berlin-brandenburg/daten-und-fakten-zur-hauptstadtregion/>
- Deutscher Wetterdienst. (2023, Juni 23). Wetter und Klima—Deutscher Wetterdienst—Städtische Wärmeinsel.

https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadtpl/projekt_warmeinseln/projekt_waermeinseln_node.html

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). (2023a, August 23). DLR - Institut für Verkehrsforschung—Move Urban: Flächeneffiziente Siedlungs- und Mobilitätskonzepte in wachsenden urbanen und neuen suburbanen Quartieren.

https://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabid-2974/1445_read-53435/

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). (2023b, August 23). DLR - Institut für Verkehrsforschung—RAMONA: Realisierung automatisierter Mobilitätskonzepte im Öffentlichen Nahverkehr. <https://www.dlr.de/vf/RAMONA>

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Clearingstelle für Verkehr. (2020). Mobilität in Deutschland 2017 / Zeitreihendatensatz (MiD 2017)—B3: Lokal-Datensatzpaket [dataset]. <https://daten.clearingstelle-verkehr.de/279/>

Din, A., Rahman, I., Vega, A., Elahi, E., Salazar, G., Contreras-Barraza, N., & Alhrahshah, R. (2023). How Sustainable Transportation Can Utilize Climate Change Technologies to Mitigate Climate Change. *Sustainability*, 15, 9710. <https://doi.org/10.3390/su15129710>

DLR - Institut für Verkehrsforschung. (o. J.). TAPAS: Modell für die zukünftige Nachfrage des Personenverkehrs im urbanen Raum. Abgerufen 27. August 2023, von https://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabid-12751/22270_read-29381

Dudenredaktion. (2023a, Juni 23). „Mobilität“ auf Duden online. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Mobilitaet>

Dudenredaktion. (2023b, Juni 23). „Verkehr“ auf Duden online. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Verkehr>

DWDS. (2020, Mai 26). Pop-up-Radweg – Schreibung, Definition, Bedeutung, Beispiele. DWDS – Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. <https://www.dwds.de/wb/Pop-up-Radweg>

Ecke, L. (2023, Mai 22). Deutsches Mobilitätspanel (MOP)—Startseite (KIT) [Text]. Lisa Ecke. <https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/>

Elvers, H.-D. (2011). Umweltgerechtigkeit. In M. Groß (Hrsg.), *Handbuch Umweltsoziologie* (S. 464–484). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-93097-8_22

Ermes, B., Belz, J., Brand, T., Eggs, J., Follmer, R., Gruschwitz, D., Kellerhoff, J., Pirsig, T., Roggendorf, M., & Schwehr, M. (2020). Mobilität in Deutschland – MiD Regionalbericht Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg [Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)].

Europäischer Rat - Rat der Europäischen Union. (2023, Juli 25). „Fit für 55“. <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

Fan, Y. V., Perry, S., Klemeš, J. J., & Lee, C. T. (2018). A review on air emissions assessment: Transportation. *Journal of Cleaner Production*, 194, 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.151>

- FOCUS. (2013, November 19). Zu heiß! Straßen könnten in praller Sonne schmelzen. FOCUS online. https://www.focus.de/auto/news/experten-warnen-vor-sommerhitze-zu-heiss-strassen-koennten-in-praller-sonne-schmelzen_id_3008743.html
- Follmer, R., & Gruschwitz, D. (2019). Mobilität in Deutschland – MiD Kurzreport Verkehrsaufkommen – Struktur – Trends [Ausgabe 4.0 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
- Frank, L. D., & Engelke, P. O. (2001). The Built Environment and Human Activity Patterns: Exploring the Impacts of Urban Form on Public Health. *Journal of Planning Literature*, 16(2). <https://doi.org/10.1177/08854120122093339>
- Friedrich, M. (2011). Wie viele? Wohin? Womit?: Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen? Tagungsbericht Heureka 11, FGSV 002/96. <https://trid.trb.org/view/1122691>
- Friedrich, M., Pestel, E., Heidl, U., Pillat, J., Schiller, C., & Simon, R. (2019). Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle (FE-Nr.: 70.919/2015; Nummer FE-Nr.: 70.919/2015, S. 337). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. <https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/nachfragemodelle/>
- FUSS e.V. Fachverband Fußverkehr Deutschland. (2023, August 15). FUSS e.V. Fachverband Fußverkehr Deutschland. <https://www.berlin-zu-fuss.info/>
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions. *Joule*, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.09.018>
- General Transit Feed Specification. (2023). GTFS: Öffentliche Verkehrsdaten universell zugänglich machen. <https://gtfs.org/de/>
- Gerike, R., Hubrich, S., Ließke, F., Wittig, S., & Wittwer, R. (2019). Mobilitätssteckbrief für Berlin— „Mobilität in Städten—SrV 2018“. Im Auftrag von Städten, Verkehrsunternehmen, Verkehrsverbänden und Bundesländern, bearbeitet durch die Technische Universität Dresden, Lehrstuhl Verkehrs-und Infrastrukturplanung.
- Gerike, R., Hubrich, S., Ließke, F., Wittig, S., & Wittwer, R. (2020). Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2018“ in Berlin (Friedrichshain-Kreuzberg). https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/verkehr/verkehrsdaten/zahlen-und-fakten/mobilitaet-in-staedten-srv-2018/berlin_tabellen_friedrichshain-kreuzberg.pdf
- Geschickt gendern - das Genderwörterbuch. (2019, November 16). Gendersternchen * – wie wende ich es an? – Geschickt gendern. <https://geschicktgendern.de/gendersternchen-anwenden/>
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K. P., & Wilkinson, H. (2018). Computational Modelling of Public Policy: Reflections on Practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1), 14. <https://doi.org/10.18564/jasss.3669>
- Giles-Corti, B., Lowe, M., & Arundel, J. (2020). Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities. *Health Policy*, 124(6), Article 6. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2019.03.001>

- Gleißmeyer, H. (1992). Die Verkehrsentwicklung im Raum Berlin. In H. Moser (Hrsg.), Berlin-Report: Eine Wirtschaftsregion im Aufschwung (S. 249–264). Gabler Verlag.
https://doi.org/10.1007/978-3-663-05165-7_11
- Gössling, S., Choi, A., dekker, kaely, & Metzler, D. (2019). The Social Cost of Automobility, Cycling and Walking in the European Union. *Ecological Economics*, 158.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.016>
- hamburg.de GmbH & Co. KG. (2023, August 11). Was bedeutet eigentlich? hamburg.de.
<https://www.hamburg.de/bvm/verkehrsentwicklungsplanung/12917574/glossar/>
- Heinrichs, M., Cyganski, R., & Krajzewicz, D. (2016, März 9). TAPAS under the hood.
- Heinrichs, M., Krajzewicz, D., Cyganski, R., & Schmidt, A. (2016). Disaggregated Car Fleets in Microscopic Travel Demand Modelling. *Procedia Computer Science*, 83, 155–162.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.111>
- Heinrichs, M., Krajzewicz, D., Cyganski, R., & von Schmidt, A. (2017). Introduction of car sharing into existing car fleets in microscopic travel demand modelling. *Personal and Ubiquitous Computing*, 21(6), 1055–1065. <https://doi.org/10.1007/s00779-017-1031-3>
- Hertkorn, G. (2005). Mikroskopische Modellierung von zeitabhängiger Verkehrsnachfrage und von Verkehrsflußmustern. <https://elib.dlr.de/21014>
- Hesse, M. (1995). Verkehrswende—Von der Raumüberwindung zur ökologischen Strukturpolitik. *Raumforschung und Raumordnung*, 2. <https://trid.trb.org/view/1000950>
- Holz-Rau, C. (2018). Verkehr und Verkehrswissenschaft. In O. Schwedes (Hrsg.), *Verkehrspolitik: Eine interdisziplinäre Einführung* (S. 115–139). Springer Fachmedien.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-21601-6_6
- Hörl, S., & Balac, M. (2021). Synthetic population and travel demand for Paris and Île-de-France based on open and publicly available data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 130, 103291. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103291>
- Ingenieursgesellschaft Hoffmann Leichter & Gruppe Planwerk. (2018, September 6). Integriertes Verkehrskonzept Südliche Luisenstadt—Vorstellung Ergebnisse.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926
- Jarass, J. (2012). Mobilitätsverhalten – strukturell oder individuell bedingt? In J. Jarass (Hrsg.), *Wohnstandortpräferenzen und Mobilitätsverhalten: Verkehrsmittelwahl im Raum Köln* (S. 25–32). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-94340-4_3
- Kirchhoff, P. (2002). Ermittlung und Beeinflussung der Verkehrsnachfrage. In P. Kirchhoff (Hrsg.), *Städtische Verkehrsplanung: Konzepte, Verfahren, Maßnahmen* (S. 71–96). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-84800-0_4
- Kirschstein, G. (2021, Juli 23). Erste Bilanz der Flutkatastrophe an der Ahr: Straßen, Schienen, Infrastruktur auf Jahre zerstört, nun droht Seuchengefahr. Mainz&.

<https://mainzund.de/erste-bilanz-der-flutkatastrophe-ahr-strassen-schienen-infrastruktur-zerstoert-seuchen-drohen/>

- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>
- Koopmann, L. (2018a). Die urbane Verkehrswende mit dem Fahrrad im Mittelpunkt. In L. Hageböling & N. Josipovic (Hrsg.), *Herausforderung Mobilitätswende: Ansätze in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft* (S. 27–36). BWV Verlag.
- Koopmann, L. (2018b). Die urbane Verkehrswende mit dem Fahrrad im Mittelpunkt. In L. Hageböling & N. Josipovic (Hrsg.), *Herausforderung Mobilitätswende: Ansätze in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft* (S. 27–36). BWV Verlag.
- Krajzewicz, D., Cyganski, R., Heinrichs, M., & Erdmann, J. (2016a, Januar 11). Benefits of using microscopic models for simulating air quality management measures. *Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C., USA*. <https://elib.dlr.de/102278/>
- Krajzewicz, D., Cyganski, R., Heinrichs, M., & Erdmann, J. (2016b, Oktober 5). Coupled microscopic modelling of traffic demand and traffic flow on a city level. *European Transport Conference (ETC) 2016, Barcelona, Spain*. <https://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/5033/confid/21>
- Krajzewicz, D., Hardinghaus, M., Heinrichs, M., & Beige, S. (2017). Computing spatial charging need using an agent-based demand model. In J. Kacprzyk & J. W. Owsinski (Hrsg.), *ISC'2017, 15th Annual Industrial Simulation Conference* (S. 24–29). EURO-SIS-ETI. <https://elib.dlr.de/112681/>
- Krajzewicz, D., Heinrichs, D., & Cyganski, R. (2017). Intermodal Contour Accessibility Measures Computation Using the „UrMo Accessibility Computer“. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, 10(3 & 4), Article 3 & 4. <https://elib.dlr.de/118235/>
- Kropp, A. (2019). Strategien zur Umsetzung von Nachhaltiger Entwicklung. In A. Kropp (Hrsg.), *Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung: Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung* (S. 23–25). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23072-2_7
- Książek, A. (2015). Approach to simulation assessment of area-wide traffic calming in the context of sustainable development. In C. A. Brebbia & J. L. Miralles i Garcia (Hrsg.), *Urban Transport XXI* (S. 191–203). WIT Press Southampton, UK. <https://doi.org/10.2495/UT150151>
- Kurze, K. (2020). Die internationale Klimapolitik nach Paris: EU-Leadership auf dem Prüfstand. *Zeitschrift Für Außen- Und Sicherheitspolitik*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s12399-020-00827-4>
- Lambrecht, M. (2019, Juli 31). Klimaschutz im Verkehr [Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr>
- Lange, C., & Lampert, T. (2005). Die Gesundheit arbeitsloser Frauen und Männer—Erste Auswertungen des telefonischen Gesundheitssurveys 2003. <https://doi.org/10.25646/1005>

- Lange, S., Volkholz, J., Geiger, T., Zhao, F., Vega, I., Veldkamp, T., Reyer, C. P. O., Warszawski, L., Huber, V., Jägermeyr, J., Schewe, J., Bresch, D. N., Büchner, M., Chang, J., Ciais, P., Dury, M., Emanuel, K., Folberth, C., Gerten, D., ... Frieler, K. (2020). Projecting Exposure to Extreme Climate Impact Events Across Six Event Categories and Three Spatial Scales. *Earth's Future*, 8(12), e2020EF001616. <https://doi.org/10.1029/2020EF001616>
- Latz, C. (2023). Von wegen Kreuzberg: In diesen Berliner Kiezen gibt es die wenigsten Autos. *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/berlin/statistiker-kommen-zu-uberraschendem-ergebnis-wo-es-in-berlin-die-wenigsten-autos-gibt-9658040.html>
- Lexikon der Geographie. (2014, Dezember 4). Umweltverbund. <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/umweltverbund/8423>
- Litman, T., & Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.1504/IJGENVI.2006.010889>
- Liu, B., Molan, A., Pande, A., Howard, J., Alexander, S., & Luo, Z. (2021). Microscopic Traffic Simulation as a Decision Support System for Road Diet and Tactical Urbanism Strategies. *Sustainability*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Microscopic-Traffic-Simulation-as-a-Decision-System-Liu-Molan/502747f6b62877223084a8be2593ec96c2282055>
- Lopes Toledo, A., & Lèbre La Rovere, E. (2018). Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil. *Sustainability*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su10113995>
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Lucas, K., Bates, J., Moore, J., & Carrasco, J. A. (2016). Modelling the relationship between travel behaviours and social disadvantage. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.008>
- Matplotlib—Visualization with Python. (o. J.). Abgerufen 27. August 2023, von <https://matplotlib.org/>
- Matthews, H. S., Hendrickson, C., & Horvath, A. (2001). External Costs of Air Emissions from Transportation. *Journal of Infrastructure Systems*, 7(1), 13–17. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2001\)7:1\(13\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2001)7:1(13))
- McFadden, D. (1974). Analysis of qualitative choice behavior. In *Frontiers in Econometrics*. Zarembka, Paul.
- Medina-Molina, C., Rey-Tienda, M. de la S., & Suárez-Redondo, E. M. (2022). The Transition of Cities towards Innovations in Mobility: Searching for a Global Perspective. *IJERPH*, 19(12), 1–17.
- Mehlin, M., Klein-Hitpaß, A., & Cyganski, R. (2011). Demographic Effects on Passenger Transport Demand (Bd. 51, S. 95–110). https://doi.org/10.1007/978-94-007-0458-9_5
- Mobilität in Städten – SrV. (2021). [StartpageSection]. TU Dresden. https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/startseite?set_language=de

- „Mobilität in Städten – System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) 2018“—Mobilitätsdaten für Berlin auch bezirkweise. (2021, August 16). <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/verkehrsdaten/zahlen-und-fakten/mobilitaet-in-staedten-srv-2018/>
- Moeckel, R., Spiekermann, K., & Wegener, M. (2003). Creating a Synthetic Population. 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM) 2003-05. <https://mediatum.ub.tum.de/1547122>
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, K., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S., & Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132>
- Mullen, C. A. (2021). Why Mobility Justice Means Prioritising Accessible Walking Environments. *Active Travel Studies*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.16997/ats.1066>
- Muschack, S. (2013, September 4). Woher stammen Stickstoffoxide (NOx)? [Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/woher-stammen-stickstoffoxide-nox>
- Næss, P., Andersen, J., Nicolaisen, M. S., & Strand, A. (2014). Transport modelling in the context of the ‘predict and provide’ paradigm: *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol. 14 No. 2 (2014). <https://doi.org/10.18757/EJTIR.2014.14.2.3020>
- Neumann, P. (2022a, Januar 19). Bezirk stellt Pläne vor: Für Autos wird es in Friedrichshain-Kreuzberg eng. *Berliner Zeitung*. <https://www.berliner-zeitung.de/mensch-metropole/bezirk-stellt-plaene-vor-fuer-autos-wird-es-in-friedrichshain-kreuzberg-eng-li.206948>
- Neumann, P. (2022b, Januar 19). Der Weg zu einer gezähmten Mobilität ist in Berlin noch weit. *Berliner Zeitung*. <https://www.berliner-zeitung.de/mensch-metropole/der-weg-zu-einer-gezaehmten-mobilitaet-ist-in-berlin-noch-weit-li.207005>
- Nobis, C., & Köhler, K. (2018). Mobilität in Deutschland – MiD Nutzerhandbuch. 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
- Norddeutscher Rundfunk. (2019, Mai 28). CO₂-Ausstoß in Deutschland: Welcher Sektor stößt wie viel aus? | NDR.de—Ratgeber—Klimawandel in Norddeutschland. <https://www.ndr.de/ratgeber/klimawandel/CO2-Ausstoss-in-Deutschland-Sektoren,kohlendioxiid146.html>
- NumPy. (o. J.). Abgerufen 27. August 2023, von <https://numpy.org/>
- OpenStreetMap Verkehrswende-Gruppe. (2023). OSM-Parkraumprojekt [dataset]. parkraum.osm-verkehrswende.org
- pandas—Python Data Analysis Library. (o. J.). Abgerufen 27. August 2023, von <https://pandas.pydata.org/>
- Peiseler, F., Runkel, M., & Kwasniok, R. (2020). Mobilitätsarmut: Die soziale Frage der Verkehrspolitik.

- Pendyala, R. M., Bhat, C. R., Goulias, K. G., Paleti, R., Konduri, K. C., Sidharthan, R., Hu, H.-H., Huang, G., & Christian, K. P. (2012). Application of Socioeconomic Model System for Activity-Based Modeling: Experience from Southern California. *Transportation Research Record*, 2303(1), Article 1. <https://doi.org/10.3141/2303-08>
- Polizei Berlin. (2023, Februar 24). Verkehrsunfallstatistik. <https://www.berlin.de/polizei/aufgaben/verkehrssicherheit/verkehrsunfallstatistik/>
- Prenzel, H. T. (2023, Februar 13). (S+) Berlin-Wahl: Wie die CDU erfolgreich Angst ums Auto schürte. *Der Spiegel*. <https://www.spiegel.de/auto/berlin-wahl-wie-die-cdu-erfolgreich-angst-ums-auto-schuerde-a-6f34d056-5ee3-48a8-b8dd-f74c7493a639>
- „Radwegestopp? Nicht mit uns“: 8000 Radfahrer nehmen an Demonstration gegen Berliner Verkehrspolitik teil. (2023, Juli 2). *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/berlin/radwegestopp-nicht-mit-uns-8000-radfahrer-nehmen-an-demonstration-gegen-berliner-verkehrspolitik-teil-10078069.html>
- Railsback, S., & Grimm, V. (2012). Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. In *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*.
- Rajamani, L., & Werksman, J. (2018). The legal character and operational relevance of the Paris Agreement’s temperature goal. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2119), Article 2119. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0458>
- Rich, J., & Mulalic, I. (2012). Generating synthetic baseline populations from register data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.11.002>
- Robert Follmer. (2019). Mobilität in Deutschland—Etappenkonzept. Bundesministerium für Digitales und Verkehr Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft IVT Research GmbH. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_Etappenkonzept_MiD5431.pdf
- Sander, H. (2020). Die Berliner Verkehrswende: Von der Auto-zur Mobilitätsgerechten Stadt. Rosa Luxemburg Stiftung. <http://www.zbw.eu/econis-archiv/bitstream/11159/4841/1/1741387531.pdf>
- Schmidt, A., Cyganski, R., & Krajzewicz, D. (2017). Generierung synthetischer Bevölkerungen für Verkehrsnachfragemodelle—Ein Methodenvergleich am Beispiel von Berlin: HEUREKA '17; Optimierung in Verkehr und Transport: 22./23. März 2017 Stuttgart (FGSV, Bd. 002/116, Nummer FGSV 002/116). FGSV Verlag GmbH.
- Schwanen, T., & Mokhtarian, P. L. (2005). What affects commute mode choice: Neighborhood physical structure or preferences toward neighborhoods? *Journal of Transport Geography*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.11.001>
- Schweitzer, L., & Valenzuela, A. (2004). Environmental Injustice and Transportation: The Claims and the Evidence. *Journal of Planning Literature*, 18(4), 383–398. <https://doi.org/10.1177/0885412204262958>

- Scudellari, J., Staricco, L., & Vitale Brovarone, E. (2020). Implementing the Supermanzana approach in Barcelona. Critical issues at local and urban level. *Journal of Urban Design*, 25(6), 675–696.
- Seaborn: Statistical data visualization—Seaborn 0.12.2 documentation. (o. J.). Abgerufen 27. August 2023, von <https://seaborn.pydata.org/>
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt. (2023, Juni 12). Umweltgerechtigkeit. <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/nachhaltigkeit/umweltgerechtigkeit/>
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Abteilung Verkehr. (2023). Leitfaden zur Verkehrsberuhigung in Kiezen.
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin. (2023a, Mai 25). Fußverkehr. <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/verkehrsplanung/fussverkehr/>
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin. (2023b, Juni 9). Öffentlicher Personennahverkehr. <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/verkehrsplanung/oeffentlicher-personennahverkehr/>
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin. (2023c, Juli 20). Radverkehr. <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/verkehrsplanung/radverkehr/>
- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin & Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin. (2022). Umweltatlas Berlin / Integrierte Mehrfachbelastungskarte—Berliner Umweltgerechtigkeitskarte 2021/2022 [dataset]. <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/nachhaltigkeit/umweltgerechtigkeit/>
- Berliner Mobilitätsgesetz, (2018). <https://www.berlin.de/sen/uvk/verkehr/verkehrspolitik/mobilitaetsgesetz/>
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2019). BEK 2030—Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/publikationen/bek2030_broschuere.pdf
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2020). Wirtschaftsverkehr und Neue Mobilität: Entwürfe für zwei neue Abschnitte im Berliner Mobilitätsgesetz liegen vor. <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/pressemitteilungen/2020/pressemitteilung.992993.php>
- Senatsverwaltung Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2021). StEP MoVe—Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr Berlin 2030.
- Sheller, M. (2018). Theorising mobility justice. *Tempo Social*, 30, 17–34. <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2018.142763>
- Sobald ein Auto-Parkplatz wegfällt: Berliner Senat stoppt vorerst Radwegprojekte – heftige Kritik. (o. J.). *Der Tagesspiegel Online*. Abgerufen 11. August 2023, von <https://www.tagesspiegel.de/berlin/sobald-auch-nur-ein-parkplatz-wegfaellt-berliner-senatsverwaltung-stoppt-vorerst-radwegprojekte-9992884.html>

- SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschlands, DIE LINKE, & Grüne - BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. (2016). Berlin gemeinsam gestalten. Solidarisch. Nachhaltig. Weltoffen. Koalitionsvereinbarung 2016—2021. https://www.berlin.de/rbmskzl/_assets/rbm/161116-koalitionsvertrag-final.pdf
- SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschlands, Grüne - BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, & DIE LINKE. (2021). Zukunftshauptstadt Berlin. - Sozial. Ökologisch. Vielfältig. Wirtschaftsstark. <https://spd.berlin/media/2021/11/Koalitionsvertrag-Zukunftshauptstadt-Berlin.pdf>
- Sultan, Z., Tini, N., & Moeinaddini, M. (2016). Exploring the implementation and success of green urban mobility in Asian cities. *PLANNING MALAYSIA JOURNAL*, 14. <https://doi.org/10.21837/pmjournal.v14.i4.166>
- Transdev Vertrieb GmbH. (2023, August 23). Deutschland-Ticket. Deutschlandticket. <https://deutschlandticket.de/>
- UNFFC. (2015). Paris Agreement. United Nations. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- Ungvarai, A. (2019). Modal Split – Different Approaches to a Common Term. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(4), Article 4. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042091>
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1; Nummer A/RES/70/1). <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>
- United Nations. (2021). Sustainable transport, sustainable development (Interagency report for second Global Sustainable Transport Conference). <https://sdgs.un.org/publications/interagency-report-second-global-sustainable-transport-conference>
- urbanista - Creating the Future City. (2017). Städteranking zur nachhaltigen Mobilität (3/2017; Nummer 3/2017).
- VanHoose, K., de Gante, A. R., Bertolini, L., Kinigadner, J., & Büttner, B. (2022). From temporary arrangements to permanent change: Assessing the transitional capacity of city street experiments. *Journal of Urban Mobility*, 2, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100015>
- Vasile, E., Bălan, M., Balan, G.-S., & Grabara, I. (2012). MEASURES TO REDUCE TRANSPORTATION GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN ROMANIA. *Polish journal of management studies*. <https://www.semanticscholar.org/paper/MEASURES-TO-REDUCE-TRANSPORTATION-GREENHOUSE-GAS-IN-Vasile-B%C4%83lan/388301fdc5f1f2490f55b690f3a3bc22fdb42f0>
- VCD Verkehrsclub Deutschland e.V. (2021, August 23). Verkehrswende oder Mobilitätswende – was ist der Unterschied? <https://www.vcd.org/artikel/verkehrswende-definition>
- VCÖ - Mobilität mit Zukunft. (2023, August 11). aktive Mobilität—Mobilität mit Zukunft. <https://vcoe.at/service/fragen-und-antworten/aktive-mobilitaet>

- Verbeek, T. (2018). Unequal residential exposure to air pollution and noise: A geospatial environmental justice analysis for Ghent, Belgium. *SSM - Population Health*, 7, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2018.100340>
- Volksentscheid Berlin autofrei. (o. J.). Volksentscheid Berlin Autofrei. Abgerufen 26. August 2023, von <https://volksentscheid-berlin-autofrei.de/>
- Waitt, G., & Harada, T. (2023). Towards a relational spatial mobility justice of disability as territory. *Mobilities*, 18(1), 115–131. <https://doi.org/10.1080/17450101.2022.2099753>
- Wattenberg, I., Lätzsch, R., & Hornberg, C. (2019). Gesundheit, Krankheit und Geschlecht: Ein gesundheitswissenschaftlicher Zugang zu Einflussfaktoren und Versorgungssystem. In B. Kortendiek, B. Riegraf, & K. Sabisch (Hrsg.), *Handbuch Interdisziplinäre Geschlechterforschung* (S. 1193–1202). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-12496-0_73
- Welch, T. F., & Mishra, S. (2014). Envisioning an emission diet: Application of travel demand mechanisms to facilitate policy decision making. *Transportation*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Envisioning-an-emission-diet%3A-application-of-travel-Welch-Mishra/3aa7505eba3dfdcd1bae53fe50820746a541791f>
- Wermuth. (2005). Modellvorstellungen zur Prognose. In G. Steierwald, H. D. Künne, & W. Vogt (Hrsg.), *Stadtverkehrsplanung: Grundlagen, Methoden, Ziele* (S. 243–295). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-27010-8_8
- Willy, R. (2023). Rebound-Effekte in der Mobilität (Band 178; Diverse Publikationen, Nummer Band 178). Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2466&cHash=4f5fa5e959983ac7981eac7121cfdbf1
- Xhain beruhigt sich—Verkehrsberuhigung im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg. (2023). <https://www.xhain-beruhigt.berlin/>
- Yagi, S., Nobel, D., & H. Kawaguchi. (2014). Reverification of an Activity-Based Microsimulation of Travel Demand during a Transition in the Transportation Environment in Jakarta, Indonesia. *Transportation Research Record*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Reverification-of-an-Activity-Based-Microsimulation-Yagi-Nobel/638b30e30cfcab1b2a03a9cbb3c2fd8e4ea11477>
- Ye, X., Konduri, K., Pendyala, R., Sana, B., & Waddell, P. (2009). Methodology to match distributions of both household and person attributes in generation of synthetic populations.
- Yun, T.-S., Kim, D., Moon, I.-C., & Bae, J. W. (2022). Agent-Based Model for Urban Administration: A Case Study of Bridge Construction and its Traffic Dispersion Effect. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 25(4), Article 4.
- Zawatka-Gerlach, U. (2020, Oktober 19). Unbesetzte Stellen in Berliner Verwaltung: Der Mitarbeitermangel im Öffentlichen Dienst ist dramatisch. *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/berlin/der-mitarbeitermangel-im-offentlichen-dienst-ist-dramatisch-4203595.html>

- ZDF. (2023, Juni 14). Kurswechsel beim Klimaschutz: Habeck streicht Sektorziele.
<https://www.zdf.de/uri/edce6e43-68f9-44cb-a5b3-fa2973a62735>
- Zeeb, H. (2020). Gesundheit, soziale Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. *Public Health Forum*, 28(3), Article 3. <https://doi.org/10.1515/pubhef-2020-0028>
- Zellner, M. L., Theis, T. L., Karunanithi, A. T., Garmestani, A. S., & Cabezas, H. (2008). A new framework for urban sustainability assessments: Linking complexity, information and policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6), Article 6.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.08.003>
- Zimmer, W., Hacker, F., Rausch, L., Fritsche, U., Cyganski, R., Justen, A., Knitschky, G., Lischke, A., Mehlin, M., Müller, S., Schade, W., Hartwig, J., & Sievers, L. (2013). Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewbility. Umweltbundesamt.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-des-analyseinstruments>
- Zoche, P., Kimpeler, S., & Joepgen, M. (2002). Mobilität. In P. Zoche, S. Kimpeler, & M. Joepgen (Hrsg.), *Virtuelle Mobilität: Ein Phänomen mit physischen Konsequenzen? Zur Wirkung der Nutzung von Chat, Online-Banking und Online-Reiseangeboten auf das physische Mobilitätsverhalten* (S. 7–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56234-1_2

13 Anhang

A1. Die drei Nachhaltigkeitsstrategien Suffizienz - Konsistenz - Effizienz

Bei nachhaltiger Entwicklung werden drei Nachhaltigkeitsstrategien unterschieden: Suffizienz, Konsistenz und Effizienz. Diese Strategien können auch auf die Mobilitätswende als nachhaltige Entwicklung angewandt werden. In der gesellschaftlichen Diskussion wird auch oft der Dreiklang Vermeiden, Verlagern und Verbessern genannt, der analog zu den Nachhaltigkeitsstrategien funktioniert (VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2021).

Die erste Strategie Suffizienz bedeutet dabei eine Art "Selbstbegrenzung", ein Weniger, eine "freiwillige Veränderung umweltrelevanter Verhaltensmuster zur Senkung des Ressourcen- und Umweltverbrauchs" (Kropp, 2019, S. 24). Für die Verkehrswende bedeutet das Verkehrsvermeidung. Wenn Verkehr vermieden wird, also nicht stattfindet, werden damit keine Emissionen ausgestoßen. Suffizienz in der Verkehrswende bedeutet also z.B. die Stadt der kurzen Wege, ein hoher Home-Office-Anteil und regionale Güterproduktionen und Handelsverflechtungen. Ein weiterer Aspekt der Suffizienzstrategie im Verkehrssektor ist die Reduzierung an Verkehrsmitteln und Infrastrukturen durch Sharing-Angebote und Mixed-Use Straßen (vgl. Willy, 2023).

Die zweite Strategie Konsistenz beschreibt nicht ein Weniger, sondern ein Anders. Dabei geht es darum, mit umweltfreundlichen Technologien und Rohstoffen, umweltunfreundlichere zu ersetzen. Das Ziel einer Konsistenzstrategie ist eine Kreislaufwirtschaft, in der Ressourcen wiederverwendet und Energie erneuerbar produziert wird. Dadurch zielt die Konsistenzstrategie nicht auf eine Änderung des Verhaltens ab, sondern auf die Veränderung von Energieproduktion und Materialflüssen (vgl. Kropp, 2019).

In der Verkehrswende bedeutet die Konsistenzstrategie eine Verkehrsverlagerung in zwei Dimensionen: Einerseits von umweltschädlichen Transportmitteln auf umweltfreundliche, wie vom MIV auf aktive Mobilität, ÖPNV und Sharing-Angeboten. Andererseits von fossilen Antriebsstoffen auf erneuerbare Energien (z.B. von Benzin-Autos auf E-Autos und von Diesel-Bussen zu Hybrid-Bussen). Dadurch werden Emissionen reduziert und begrenzte Ressourcen geschont. Ein weiterer Aspekt der Konsistenzstrategie im Verkehrssektor beschreibt die ressourcenschonendere Produktion von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastruktur (vgl. Kropp, 2019).

Die dritte Strategie Effizienz beschreibt die Idee, "das bestmögliche Verhältnis von Input und Output zu erreichen", da „Mehr aus Weniger“ gewonnen werden soll (Kropp, 2019, S. 23). Das bedeutet einen geringeren Energie- und Ressourcenverbrauch für die gleiche Leistung, meist erreicht mit Hilfe technischer Innovationen. Für den Verkehrssektor bedeutet das eine Verkehrsverbesserung, also Effizienzsteigerungen der Verkehrsmittel durch einen höheren Wirkungsgrad von Antriebsenergien.

Als Gesamtstrategie sollte bei der Verkehrswende auf alle drei Nachhaltigkeitsstrategien geachtet werden und danach gehandelt werden. Das bedeutet eine Vermeidung von Verkehr, eine Verlagerung von Verkehr auf nachhaltigere Verkehrsmittel und Energien und eine Verbesserung der Effizienz der genutzten Infrastrukturen. (vgl. Willy, 2023)

Die Forschung und Modellierung im Rahmen dieser Masterarbeit beschränken sich auf die Beleuchtung des Aspektes der Verlagerung von Mobilität von einem Modus auf den anderen, also die Konsistenzstrategie. Suffizienz lässt sich nicht abbilden, da die politischen Maßnahmen, die in dieser Arbeit diskutiert werden, keinen Einfluss auf die gesellschaftliche und räumliche Struktur haben, die Verkehr vermeiden könnten. Ebenfalls kann die Effizienz nicht näher diskutiert werden, da sich an der Funktionsweise der Verkehrsmittel (der Energieeffizienz, des Schadstoffausstoßes, der Zugänglichkeit, etc.) nichts ändert.

A2. Differenzierung Verkehrswende und Mobilitätswende

Die Begriffe Verkehrswende und Mobilitätswende werden im deutschen Diskurs oft austauschbar benutzt. Für diese Arbeit will ich mich für die Erklärung und Unterscheidung auf die Definitionen des VCD (VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2021) und Agora Verkehrswende (vgl. Agora Verkehrswende, 2023) stützen. Nach diesen Definitionen bilden die Mobilitätswende und die Antriebswende zusammen die Verkehrswende.

1. **Verkehrswende:** Die Verkehrswende bezieht sich auf eine grundlegende Umgestaltung des Verkehrssystems mit dem Ziel der Klimaneutralität des Verkehrssektors. Der oben beschriebene Dreiklang aus Suffizienz, Konsistenz und Effizienz beschreibt die Strategien zur Erreichung dieses Ziels bei der der Fokus auf der Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs liegt. Ziel ist es, umweltfreundlichere Verkehrsmittel wie den öffentlichen Nahverkehr, das Fahrrad oder den Fußverkehr zu fördern. Die Verkehrswende beinhaltet auch infrastrukturelle Maßnahmen wie den Ausbau von Radwegen und den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). (Agora Verkehrswende, 2023; VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2021)
2. **Mobilitätswende:** In der Analogie des Dreiklangs beschreibt die Mobilitätswende die Bereiche Suffizienz und Konsistenz. Die Mobilitätswende geht über die Verkehrsinfrastruktur hinaus und bezieht sich auf eine umfassende Transformation der gesamten Mobilität, inklusive der kulturellen und gesellschaftlichen Perspektive auf Mobilität. Sie umfasst die Neuausrichtung von Mobilitätsgewohnheiten und -mustern, einen Kulturwandel in der Bewertung unterschiedlicher Verkehrsmittel, die Verlagerung des Verkehrs vom MIV auf den Umweltverbund durch infrastrukturelle (Radwegbau oder Parkplatzreduktion) und regulative Maßnahmen (Preissenkungen im ÖPNV oder Umweltzonen), die Förderung von intermodalen Lösungen und die Integration von Digitalisierung und innovativen Mobilitätsdiensten. (Agora Verkehrswende, 2023; VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2021)
3. **Antriebswende:** Die Antriebswende bedeutet in der Analogie des Dreiklangs die Effizienz. Die Antriebswende konzentriert sich speziell auf die Umstellung der Antriebsarten im Verkehrssektor. Sie beinhaltet den Wechsel von Verbrennungsmotoren zu emissionsarmen oder emissionsfreien Antrieben wie Elektrofahrzeugen, Wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen oder anderen alternativen Antrieben. Die Antriebswende zielt darauf ab, die Treibhausgasemissionen im Verkehr zu reduzieren und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern. (Agora Verkehrswende, 2023; VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2021)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verkehrswende eine Transformation beschreibt, die den kompletten Verkehrssektor betrifft und die Energiequellen für motorisierte Verkehrsmittel auf erneuerbare verschiebt (Antriebswende), jedoch auch darüber hinaus geht und den Möglichkeitsraum der Mobilität verändert und gesellschaftliche und individuelle Mobilitätsgewohnheiten und -muster verändert (Mobilitätswende).

A3. Verkehrserhebungen MiD und SrV

Zur Erfassung des Mobilitätsverhaltens in Deutschland gibt es zwei wesentliche, regelmäßig durchgeführte Studien³⁵, die auch spezifische Daten zu Berlin liefern: Die Mobilität in Deutschland (MiD) (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023) und das System repräsentativer Verkehrserhebungen - Mobilität in Städten (SrV) (*Mobilität in Städten – SrV*, 2021). Beide Erhebungen wurden für die Forschung genutzt, weshalb sie hier kurz vorgestellt werden.

Die MiD (Mobilität in Deutschland) wird seit 1976 durchgeführt. Zurzeit wird sie von einem Konsortium aus infas, DLR Institut für Verkehrsforschung, IVT GmbH und infas360 erarbeitet. Die MiD ist nicht nur die größte bundesweite Erhebung zur Alltagsmobilität, sondern weltweit eine der größten ihrer Art. Sie wird bisher in mehrjährigen Abständen durchgeführt (zuletzt 2002, 2008 und 2017). Die MiD ermöglicht verlässliche Aussagen zum Mobilitätsverhalten ganz Deutschlands und unterschiedlicher Raumtypen, wie z.B. Metropolen oder ländlichen Regionen. Per se werden Daten jedoch nicht für einzelne Regionen oder Städte. Regionale Partner*innen können die MiD-Bundesstichprobe aufstocken, um verbesserte gebietspezifische Datengrundlagen zu erhalten. 2017 wurden deshalb für über 60 regionale Partner*innen regionale Vertiefungen erstellt. 315 000 Personen aus 155 000 Privathaushalten wurden mit der MiD 2017 insgesamt zu ihrem alltäglichen Mobilitätsverhalten befragt. Aktuell läuft die neuste Erhebung, die MiD 2023, für die zwischen April 2023 und Mai 2024 rund 185.000 Haushalte zu ihrem Mobilitätsverhalten befragt werden. (vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023)

Das SrV – Mobilität in Städten (System repräsentativer Verkehrserhebungen) wird seit 1972 regelmäßig im Abstand von ca. 5 Jahren durch den Lehrstuhl für Verkehrs- und Infrastrukturplanung an der TU Dresden organisiert und durchgeführt. Dabei erhebt die SrV im Vergleich zur MiD nicht bundesweit das Mobilitätsverhalten, sondern nur in teilnehmenden Städten. In den letzten Erhebungen waren dies zwischen 100 und 200 teilnehmende Städte. Berlin hat bereits dreimal an der Studie "Mobilität in Städten – SrV" teilgenommen, zuletzt im Zeitraum 2018/2019. Die Technische Universität Dresden führte dazu eine Haushaltsbefragung zur Verkehrsteilnahme der Wohnbevölkerung in Berlin durch, wobei über 40.000 Berliner*innen teilnahmen. Auch die SrV führt 2023 eine neue Erhebung durch. (vgl. „*Mobilität in Städten – System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) 2018*“ - *Mobilitätsdaten für Berlin auch bezirkweise*, 2021)

Beide Studien liefern detaillierte Informationen über die Alltagsmobilität der Bevölkerung, darunter Verkehrsgewohnheiten, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsmuster. Mit ihren umfassenden Datensätzen ermöglichen die Erhebungen verlässliche Aussagen über Mobilitätsaspekte in

³⁵ Es existiert außerdem die seit 1994 jährlich durchgeführte Studie „Deutschen Mobilitätspanels“ (MOP) vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT), was unter anderem das Mobilitätsverhalten im Alltag längsschnittartig erfasst. Davon liegen jedoch keine Zahlen für Berlin vor, weshalb es in dieser Arbeit keine Wichtigkeit hat (Ecke, 2023).

Deutschland und deutschen Städten und Regionen. In der SrV werden für Berlin üblicherweise höhere Anteile des Umweltverbunds gemessen, als in der MiD, in der der MIV-Anteil höher ist, was in der Befragungsart begründet liegt. Die Mobilitätsdaten werden für eine Vielzahl von Anwendungen in der verkehrsplanerischen Facharbeit genutzt. Sie dienen als Grundlage für Verkehrsstudien, die Entwicklung von Verkehrskonzepten und -strategien sowie zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturen. Auch für die verkehrspolitische Gestaltung auf regionaler und nationaler Ebene sind die Erkenntnisse aus den Studien von großer Bedeutung. (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023; *Mobilität in Städten – SrV*, 2021)

A4. Begleitantrag zum EwA Schulwegsicherheit und Verkehrsberuhigung in der Kreuzberger Luisenstadt

Der Beschluss vom 29.06.2022 beschreibt:

Die Bezirksverordnetenversammlung beschließt:

Das Bezirksamt wird aufgefordert im Laufe des Jahres 2022 mit ersten, schnell umsetzbaren Maßnahmen den Durchgangsverkehr in der Kreuzberger Luisenstadt zu reduzieren, um eine dringend notwendige Verbesserung der Schulweg- und Verkehrssicherheit zu erreichen. Diesbezüglich sollen insbesondere folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

Verhinderung des Durchgangsverkehrs auf der Manteuffelstr., indem auf dem Abschnitt zwischen Naunynstr. und Waldemarstr. der motorisierte Verkehr durch modale Filter unterbunden wird (siehe auch DS/0886/IV vom 29.01.2014 [1]). Die Strecke des Buses 140 bleibt dadurch unberührt, während die derzeit starke Verkehrslast effektiv reduziert wird. Die Manteuffelstr. wird von zahlreichen Schulwegen zur Heinrich-Zille und Nürtingen Grundschule gekreuzt und ist damit die gefährlichste Achse im Kiez [2].

Einrichtung einer Schulstr. vor dem Haupteingang der Nürtingen Grundschule am Mariannenplatz zwischen Wrangelstr. und Bethaniendamm durch Installation von modalen Filtern. Durchsetzung der Fahrradstraße auf der Mariannenstr. durch einen zusätzlichen modalen Filter zwischen Feuerwehrbrunnen und Naunynstr. Der Bereich vor der Nürtingen Grundschule ist ein wichtiger Querungspunkt für deren Schüler:innen. Begründung: Die Fahrradstr. wird weiterhin vielfach als Abkürzung des motorisierten Verkehrs genutzt, ein Ausweichen des Verkehrs von der Manteuffelstr. soll verhindert werden.

Unterbindung des Durchgangsverkehrs auf der Waldemarstr. sowie entlang des luisenstädtischen Kanals durch Diagonalsperren an den Kreuzungen der Waldemarstr. mit dem Legien- und Leuschnerdamm (Verkehr vom Oranienplatz wird über die Brücke und zurück zum Oranienplatz geleitet).

Prüfung einer weiteren Diagonalsperre an der Kreuzung Wrangelstr./Zeughofstr. und an der Kreuzung Sebastianstr./Dresdener Str., sowie eines modalen Filters an der Einmündung des Segitzdamms in die Skalitzer Str.

Schaffung zusätzlicher Fußgängerüberwege im Kiez, wie bereits im Verkehrskonzept südliche Luisenstadt von 2018 [3] gefordert. Wichtige Querungen identifiziert die von FixMyBerlin durchgeführte Analyse von Schulwegen [2]. Diese sollen durch eine Aufpolsterung zusätzlich geschützt werden und somit eine niveaugleiche, barrierefreie Querung für den Fußverkehr ermöglichen. Schaffung zusätzlicher Ampelquerungen (keine Bettelampeln) über die Köpenicker Straße.

Alle Maßnahmen sollen breit angekündigt und kommuniziert werden. Die Einrichtung der Stelle einer/s Kiezblock-Beauftragten für Information und Mediation ist wünschenswert. Die durchgeführten Maßnahmen sind anschließend zu evaluieren und gegebenenfalls anzupassen.

Darauf aufbauend soll das Bezirksamt im Laufe des Jahres 2022 ein Gesamtkonzept für den Kiezblock Kreuzberger Luisenstadt erarbeiten, das den Leitlinien aus dem Einwohner:innenantrag DS/0082/VI entspricht. Hierbei sind die Initiative Kiezblock Kreuzberger Luisenstadt und weitere Akteure aus der Zivilgesellschaft einzubinden. Die Umsetzung weitergehender Maßnahmen ist für die Jahre 2023–2024 einzuplanen. Der BVV ist regelmäßig über den Fortschritt der Umsetzung zu berichten.

Quellen:

[1] <https://www.berlin.de/ba-friedrichshain-kreuzberg/politik-und-verwaltung/bezirksverordnetenversammlung/online/vo020.asp?VOLFDNR=5696&options=4>

[2] <https://fixmyberlin.de/schulwegsicherheit/friedrichshain-kreuzberg>

[3] <https://www.berlin.de/ba-friedrichshain-kreuzberg/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/stadtplanung/gruppe-infrastruktur-und-staedtebaufoerderung/sds-luisenstadt/artikel.929819.php>

(Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2023a)

Mit der Begründung:

Die Dringlichkeit verkehrsberuhigender Maßnahmen wurde durch das Verkehrskonzept südliche Luisenstadt von 2018 und die folgende Beteiligung zur Umgestaltung der Oranienstr. von 2020 ausreichend dokumentiert. Vor allem die Situation in der Manteuffelstraße von der Skalitzer bis zur Zille-Grundschule ist hochgefährlich und muss zeitnah umgestaltet werden. Somit ist

eine zeitnahe Umsetzung erster, effektiver Maßnahmen durch das Bezirksamt gefragt. (Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin, 2023a)

A5. Personengruppen zur Aktivitätenplanzuordnung

Tabelle 13-1: Aufgliederung der 32 Personengruppen zur Aktivitätenplanzuordnung nach Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus und PKW-Besitz im Haushalt.

ID Personengruppe	Alter	Geschlecht	Erwerbsstatus	PKW-Besitz im Haushalt
1	Egal	Egal	Schüler	Egal
2	Egal	Egal	Student	Egal
3	< 25 Jahre	Männlich	Erwerbstätig	Ja
4	< 25 Jahre	Egal	Erwerbstätig	Nein
5	< 25 Jahre	Weiblich	Erwerbstätig	Ja
6	< 25 Jahre	Männlich	Nichterwerbstätig	Ja
7	< 25 Jahre	Egal	Nichterwerbstätig	Nein
8	< 25 Jahre	Weiblich	Nichterwerbstätig	Ja
9	25-<45 Jahre	Männlich	Erwerbstätig	Ja
10	25-<45 Jahre	Männlich	Erwerbstätig	Nein
11	25-<45 Jahre	Weiblich	Erwerbstätig	Ja
12	25-<45 Jahre	Weiblich	Erwerbstätig	Nein
13	25-<45 Jahre	Männlich	Nichterwerbstätig	Ja
14	25-<45 Jahre	Männlich	Nichterwerbstätig	Nein
15	25-<45 Jahre	Weiblich	Nichterwerbstätig	Ja
16	25-<45 Jahre	Weiblich	Nichterwerbstätig	Nein
17	45-<65 Jahre	Männlich	Erwerbstätig	Ja
18	45-<65 Jahre	Männlich	Erwerbstätig	Nein
19	45-<65 Jahre	Weiblich	Erwerbstätig	Ja
20	45-<65 Jahre	Weiblich	Erwerbstätig	Nein
21	45-<65 Jahre	Männlich	Nichterwerbstätig	Ja
22	45-<65 Jahre	Männlich	Nichterwerbstätig	Nein
23	45-<65 Jahre	Weiblich	Nichterwerbstätig	Ja
24	45-<65 Jahre	Weiblich	Nichterwerbstätig	Nein
25	65-<75 Jahre	Männlich	Rentner	Ja
26	65-<75 Jahre	Männlich	Rentner	Nein
27	65-<75 Jahre	Weiblich	Rentnerin	Ja
28	65-<75 Jahre	Weiblich	Rentnerin	Nein
29	>=75 Jahre	Männlich	Rentner	Ja
30	>=75 Jahre	Männlich	Rentner	Nein
31	>=75 Jahre	Weiblich	Rentnerin	Ja
32	>=75 Jahre	Weiblich	Rentnerin	Nein

A6. Aktivitäten

Die Aktivitäten, die im Modell gemacht werden sind, sind hier in Gruppen aufgelistet.

- Schulen, Hochschulen, Bildungseinrichtungen (Berufskolleg, Gesamtschule, Grundschule, Gymnasium, Hauptschule, Hochschule, Kindergarten, Musikschule, Realschule, Sonderschule, VHS)

- Freizeiteinrichtungen aller Art (Cafe, Disco, Fitnessstudio, großer_Sportplatz, Hallenbad, Kino, kleiner_Sportplatz, Museum, Sonnenstudio, Sportanlagen, Tanzen, Theater, Tierpark)
- Einkaufs- und Dienstleistungseinrichtungen (Anwalt, Autohaus, Autoreparatur, Bäcker, Bank, Baumarkt, Blumen, Buch-Musik, Elektro, Fahrräder, Fahrschule, Fleischer, Fotograf, Fotokopien, Geräte, Geschenke, Getränke, Glaser, Kaffee, Kaufhaus, Kosmetik, Kunstgewerbe, Lebensmittel, Maler, Mensa, Motorräder, Optiker, Postfiliale, Reisebüro, Restaurant, Sanitär, Schlosser, Schmuck, Schreib/Tabak, Schreiner, SecondHandShop, Spielwaren, Sportgeschäft, Stoffe, Tankstelle, Tierarzt, Versicherung, Wäscherei, Zoo/Aquarium, Zoohandlung, Arbeitsvermittler, Stadtverwaltung)
- Krankenhäuser, Ärzte, Apotheken und medizinische Versorgung soweit nicht in 3. Ämter und staatliche Behörden soweit nicht in 3. (Apotheke, Arzt)
- Kirchen und Friedhöfe soweit nicht in 2. (Friedhof, religiöse_Einrichtungen)
- Grün-, Park- und Waldflächen soweit nicht in 2. (Kleingarten, Kleingartenverein, Park, Wald)
- Arbeitsplätze (Erwerbstätigenzahlen (sozialversicherungspflichtig, selbständig, Minijobs)) (Arbeitsstelle)
- Haushalt

A7. Weiterführende Tabellen und Abbildungen zu den Ergebnissen des Modells

A7.1. Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs in und aus dem Untersuchungsgebiet

Tabelle 13-2: Absolute Zahlen des Modal Splits für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
0	34077	51218	39466	40597
1	34299	51204	38903	40841
2	34255	54719	18572	40830

A7.2. Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Binnenverkehrs innerhalb des Untersuchungsgebiets

Tabelle 13-3: Absolute Zahlen des Modal Splits für nur Binnenverkehr innerhalb des Untersuchungsgebiets.

Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
0	958	13781	813	1000
1	913	14033	746	965
2	1006	15538	450	964

A7.3. Wegeanzahlen je nach Szenario und Modus des Verkehrs der Einwohner*innen der Nördlichen Luisenstadt

Tabella 13-4: Absolute Zahlen des Modal Splits der Einwohner*innen des Untersuchungsgebiets.

Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
0	20131	39258	20280	21049
1	19963	39239	19983	20757
2	20470	40853	17909	21001

A7.4. Wegeanzahlen je nach Reisezeit, Szenario und Modus

Tabella 13-5: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Reisezeit in Minuten und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Reisezeit [min]	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
<30	0	19654	37796	28361	1702
	1	19572	38025	27908	1622
	2	19891	41608	7412	1711
<60	0	12684	9588	11081	23964
	1	12867	9349	10968	24311
	2	12629	9741	10458	24172
<90	0	1645	2088	24	12419
	1	1767	2085	27	12403
	2	1633	1897	698	12462
<120	0	90	931	0	2326
	1	83	936	0	2324
	2	97	779	4	2286
<150	0	4	351	0	179
	1	10	338	0	176
	2	5	297	0	193
>=150	0	0	464	0	7
	1	0	471	0	5
	2	0	397	0	6

A7.5. Wegeanzahlen je nach Wegstrecke, Szenario und Modus

Tabella 13-6: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Wegstrecke in Kilometern und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Wegstrecke [km]	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
<5	0	18714	48476	13609	6175
	1	18668	48524	13649	6007
	2	18939	52367	7039	6097
<10	0	12689	2176	15985	15667
	1	12797	2113	15586	16098
	2	12642	1881	7195	15708
<15	0	2373	445	7276	10697
	1	2492	439	7154	10675
	2	2337	353	3205	10668

<20	0	282	104	2136	5722
	1	313	112	2080	5767
	2	312	104	942	5778
<25	0	18	14	400	1803
	1	26	14	379	1850
	2	23	13	156	2068
>=25	0	1	3	60	533
	1	3	2	55	444
	2	2	1	35	511

A7.6. Relativer Modal Shift nach Wegstrecke

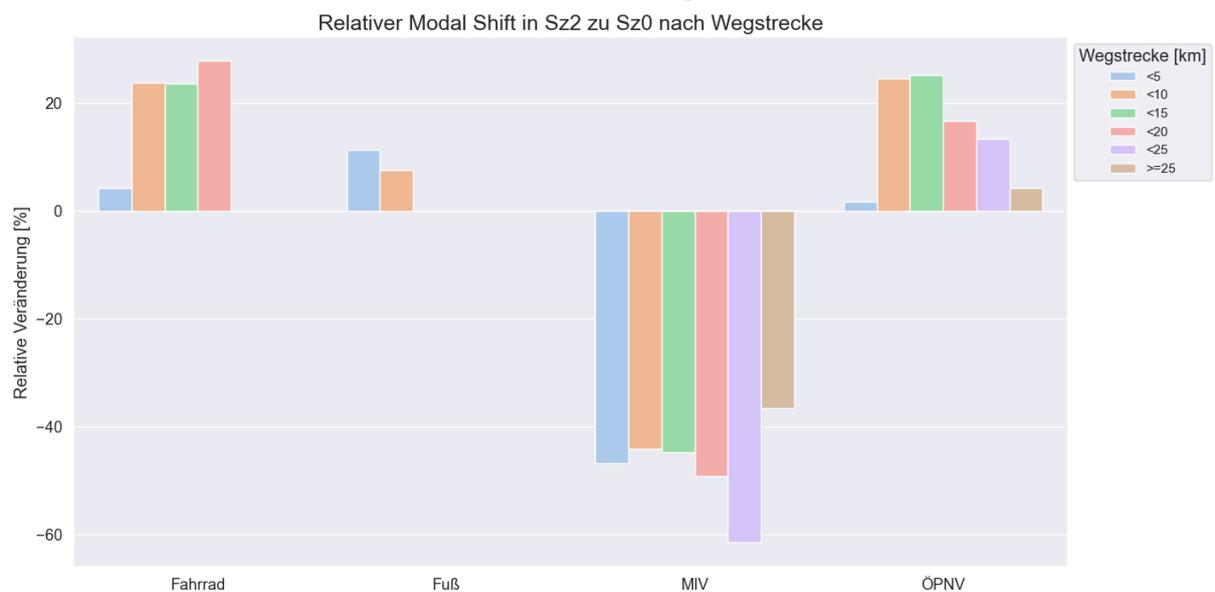


Abbildung 13-1: Modal Shift im 2. Maßnahmenszenario relativ zum Basisszenario.

Randwerte/Ausreißer für große Entfernungen zu Fuß oder mit dem Fahrrad wurden bereinigt, um irrelevante Verzerrungen zu vermeiden. (Entfernungen mit dem Fahrrad über 20km und Entfernungen zu Fuß über 10km)

A7.7. Wegeanzahlen je nach ökonomischem Status, Szenario und Modus

Tabelle 13-7: Absolute Zahlen des Modal Splits nach ökonomischem Status der Agent*innen und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Ökonomischer Status	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
1.0	0	7316	13899	7786	9371
	1	7108	13922	7582	9412
	2	7101	14339	3622	9467
2.0	0	8376	12879	9236	9728
	1	8382	13004	9096	9930
	2	8376	14048	4453	9790
3.0	0	11915	16974	14203	13114
	1	12306	16898	14125	12954
	2	12471	18465	6689	13098
4.0	0	4388	5077	5517	5511

	1	4472	5068	5334	5643
	2	4205	5397	2501	5587
5.0	0	2082	2389	2724	2873
	1	2031	2312	2766	2902
	2	2102	2470	1307	2888

A7.8. Geschwindigkeiten nach ökonomischem Status

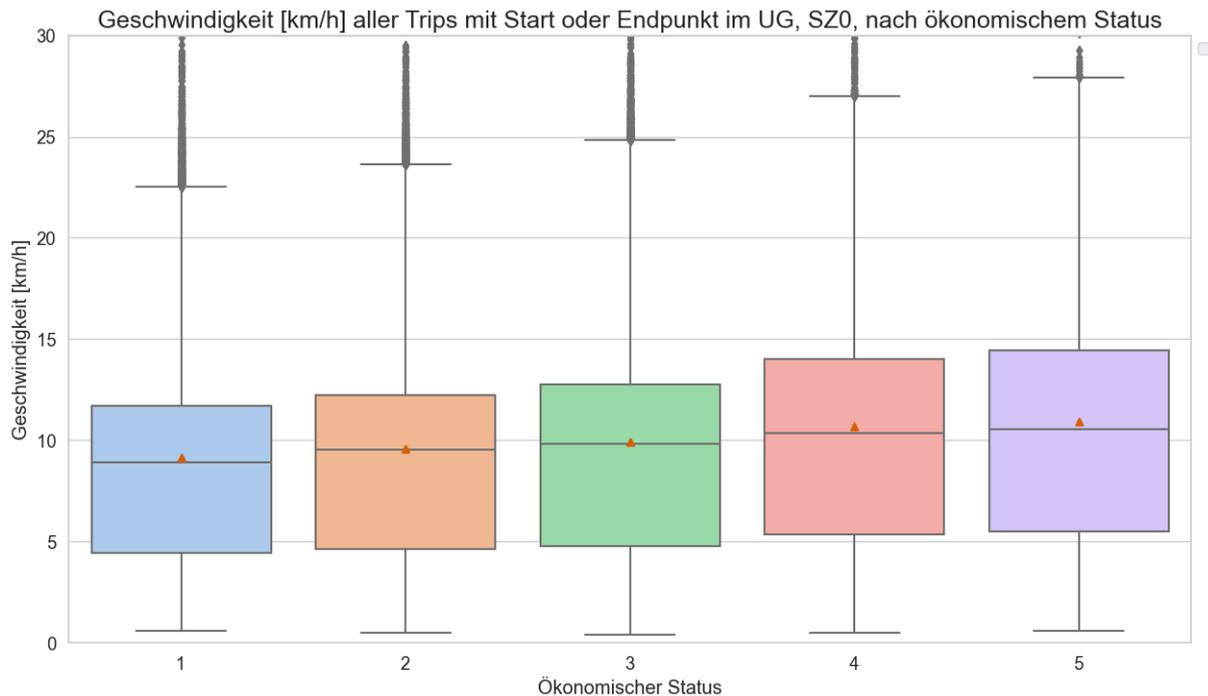


Abbildung 13-2: Die Wege im Basisszenario aufgeschlüsselt nach Geschwindigkeit und ökonomischem Status.

A7.9. Wegezahlen je nach Teilverkehrszelle, Szenario und Modus

Tabelle 13-8: Wegezahlen je nach Teilverkehrszelle, Szenario und Modus.

Teilverkehrszelle	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
136	0	4484	5783	5698	4127
	1	4397	5936	5741	4179
	2	4300	5973	5775	4124
137	0	8855	16799	10549	11467
	1	9145	16629	10514	11260
	2	9178	17859	2896	11429
138	0	8566	12900	8859	9408
	1	8660	12750	8669	9525
	2	8672	13916	2878	9423
139	0	6225	8300	7703	4735
	1	6217	8274	7544	4828
	2	6261	8987	2230	4729
140	0	5947	7436	6657	10860
	1	5880	7615	6435	11049
	2	5844	7984	4793	11125

Gesamtmenge	0	34077	51218	39466	40597
	1	34299	51204	38903	40841
	2	34255	54719	18572	40830

A7.10. Relativer Modal Shift nach ökonomischem Status

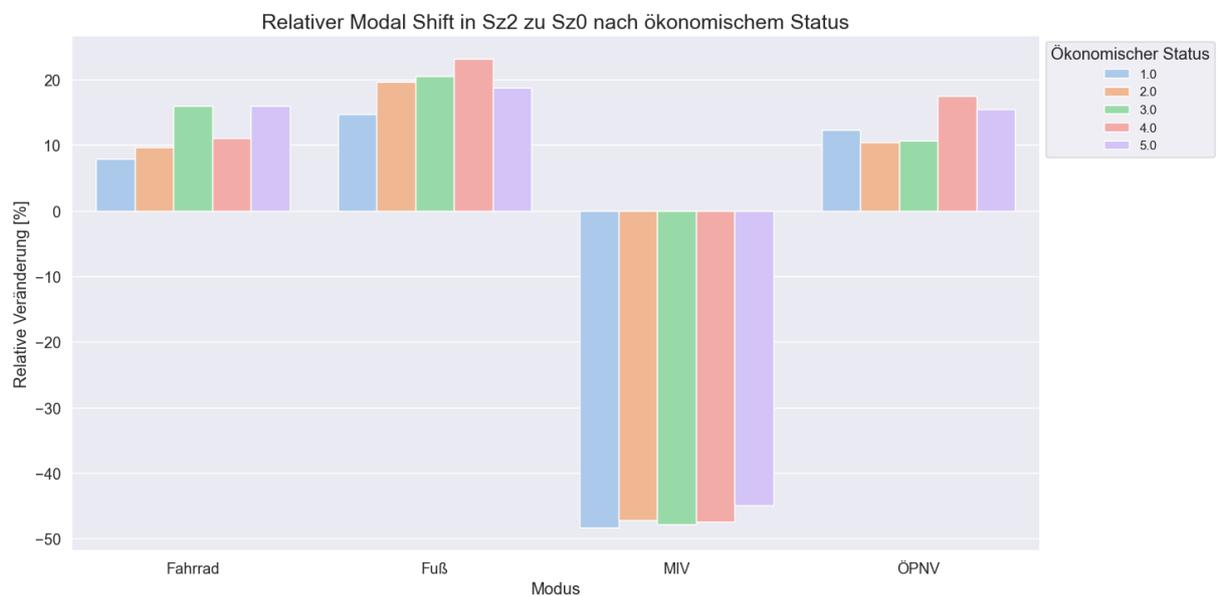


Abbildung 13-3: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach ökonomischen Statusgruppen.

A7.11. Wegeanzahlen je nach Altersgruppe, Szenario und Modus

Tabelle 13-9: Wegeanzahlen je nach Altersgruppe, Szenario und Modus.

Altersgruppe	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
<10	0	596	3800	263	4317
	1	532	3662	245	4339
	2	550	3839	151	4458
<20	0	1803	5593	1145	6182
	1	1817	5518	1147	6350
	2	1751	5756	593	6509
<30	0	4931	6429	4662	7613
	1	4921	6407	4539	7685
	2	4948	6810	2194	7633
<40	0	8463	7530	7529	6284
	1	8365	7472	7445	6411
	2	8546	7917	3500	6482
<50	0	7555	6928	6573	4583
	1	7694	7044	6512	4456
	2	7628	7412	3197	4586
<60	0	7102	9571	7909	5270
	1	7224	9587	7938	5344
	2	7291	10430	3971	5478
<70	0	2549	5165	5204	2875

	1	2591	5089	4999	2751
	2	2447	5589	2323	2627
<80	0	934	4283	4408	2308
	1	995	4417	4266	2279
	2	989	4807	1918	2059
>=80	0	144	1919	1773	1165
	1	160	2008	1812	1226
	2	105	2159	725	998
Gesamtmenge	0	34077	51218	39466	40597
	1	34299	51204	38903	40841
	2	34255	54719	18572	40830

A7.12. Relativer Modal Shift nach Alter



Abbildung 13-4: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Altersgruppen. Die starken Ausschläge bei den jüngsten und ältesten Altersgruppen beim relativen Modal Shift beim Fußverkehr ist auf statistische Ungenauigkeit durch eine geringe Fallanzahl zurückzuführen (siehe Tabelle 13-9).

A7.13. Wegezahlen je nach Erwerbsstatus, Szenario und Modus

Tabelle 13-10: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Erwerbsstatus und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Erwerbsstatus	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
Auszubildende	0	509	578	323	1019
	1	486	527	292	992
	2	490	534	167	1102
Erwerbslose	0	1697	3229	1815	1308
	1	1639	3257	1798	1318
	2	1580	3333	792	1259
Rentner*innen	0	2124	8934	8531	4339
	1	2150	9032	8338	4382
	2	2049	9848	3695	3863

Schüler*innen	0	1256	7317	615	7999
	1	1209	7122	608	8188
	2	1177	7601	344	8334
Studierende	0	1191	2564	1195	2790
	1	1300	2550	1222	2804
	2	1197	2637	551	3036
Teilzeit	0	6026	5126	6147	5416
	1	6097	5175	5988	5457
	2	6427	5762	2902	5379
Vollzeit	0	17702	14833	16841	15040
	1	17869	15013	16625	15075
	2	17955	16062	8255	15215
sonstige NEP	0	3572	8637	3999	2686
	1	3549	8528	4032	2625
	2	3380	8942	1866	2642

A7.14. Relativer Modal Shift nach Erwerbsstatus



Abbildung 13-5: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario nach Erwerbsstatusgruppen.

A7.15. Wegezahlen je nach Alleinerziehendenstatus, Szenario und Modus

Tabelle 13-11: Absolute Zahlen des Modal Splits gruppiert danach, ob die Person aus einem Alleinerziehendenhaushalt kommt oder nicht und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
Person aus einem nicht-Alleinerziehenden-Haushalt	0	30905	45062	36781	34788
	1	30989	45060	36277	35134
	2	31071	48356	17201	35167

Person aus einem Alleinerziehenden-Haushalt	0	3172	6156	2685	5809
	1	3310	6144	2626	5707
	2	3184	6363	1371	5663

A7.16. Relativer Modal Shift nach Alleinerziehendenstatus

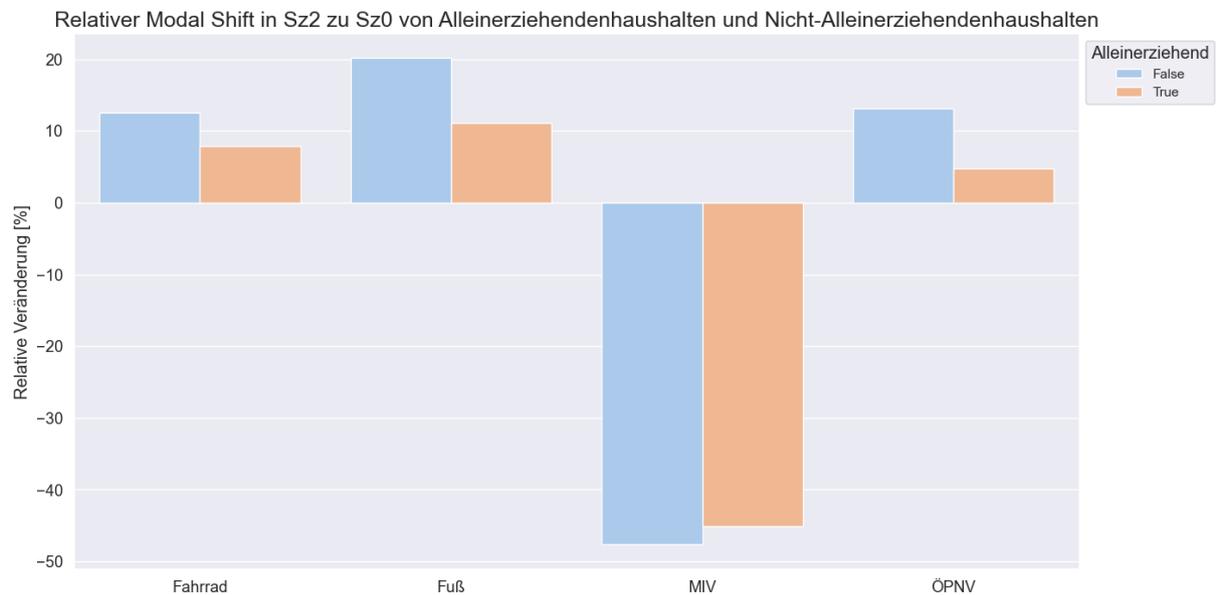


Abbildung 13-6: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenszenario und dem Basisszenario von Personen aus Alleinerziehendenhaushalten und Nicht-Alleinerziehendenhaushalten.

A7.17. Wegeanzahlen je nach Gender, Szenario und Modus

Tabelle 13-12: Absolute Zahlen des Modal Splits nach Gender und Szenario für Binnen-, Quell- und Zielverkehr in und aus dem Untersuchungsgebiet.

Gender	Szenario	Fahrrad	Fuß	MIV	ÖPNV
männlich	0	17849	24428	19334	19402
	1	17784	24161	18928	19600
	2	17794	26129	9217	19496
weiblich	0	16228	26790	20132	21195
	1	16515	27043	19975	21241
	2	16461	28590	9355	21334

A7.18. Relativer Modal Shift nach Gender

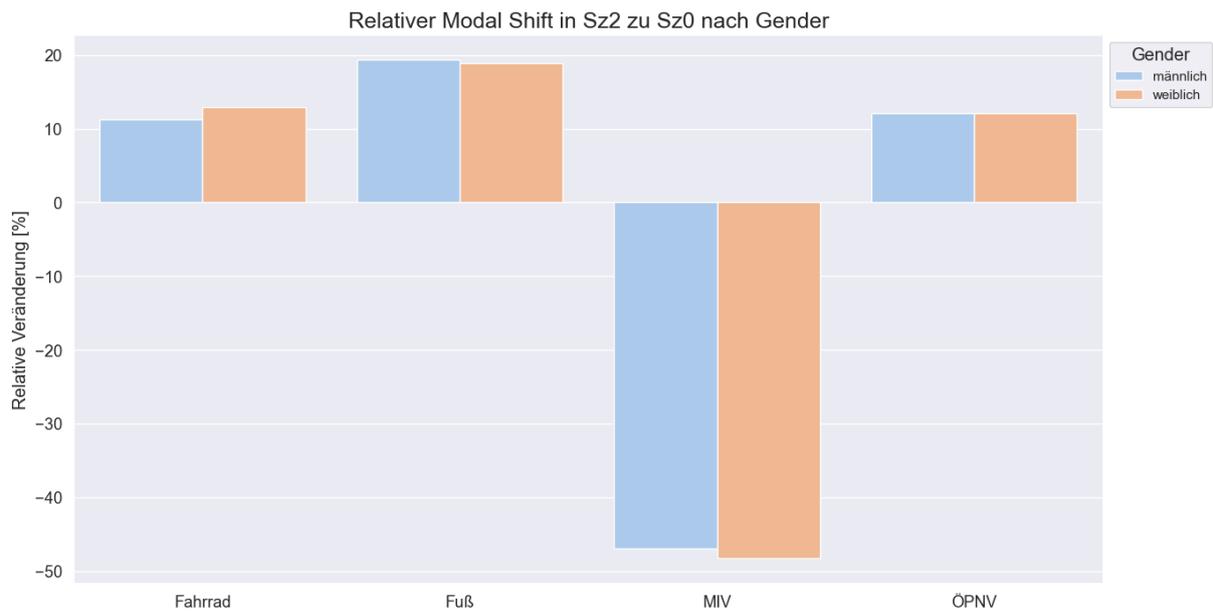


Abbildung 13-7: Relativer Modal Shift zwischen dem 2. Maßnahmenzenario und dem Basisszenario nach Gender.

A8. Modal Split nach ökonomischem Status in Friedrichshain-Kreuzberg (SrV 2018)

Tabelle 13-13: Der Modal Split für ganz Friedrichshain-Kreuzberg, aufgeschlüsselt nach ökonomischem Status aus der SrV 2018 mit gewichteten und ungewichteten Fallzahlen (Gerike et al., 2020).

Ökonomischer Status	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPNV	Summe	Ungew. Fallzahl	Gew. Fallzahl
Sehr niedrig	37,3%	27,8%	6,8%	28,1%	100%	966	1.103
Niedrig	35,2%	25,7%	13,3%	25,8%	100%	1.385	1.698
Mittel	31,9%	28,9%	14,7%	24,5%	100%	3.905	3.889
Hoch	31,3%	30,8%	12,6%	25,3%	100%	2.539	2.282
Sehr hoch	27,9%	29,7%	16,8%	25,6%	100%	1.093	852